MONOGRAPHIES
HYDROLOGIQUES



FLEUVES ET RIVIÈRES DU CAMEROUN

J.C. OLIVRY

MESRES-ORSTOM

Fleuves et Rivières du Cameroun

Fleuves et Rivières du Cameroun

J.C. OLIVRY

Hydrologue ORSTOM
Unité de Recherche 107

MESRES - ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE AU CAMEROUN

Collection « Monographies Hydrologiques ORSTOM » N° 9
Paris, 1986

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproduction strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustrations, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal ».

© MESRES-ORSTOM, 1986
ISSN 0335-6906
ISBN 2-7099-0804-2

A Danielle, ma femme,

à Christine, Nathalie et Florence, mes filles,

à mes parents.

RESUME

L'étude des régimes hydrologiques des fleuves et rivières du Cameroun proposée ici s'appuie, d'une part, sur une connaissance détaillée du milieu physique et climatologique du pays et, d'autre part, sur un ensemble de données recueillies sur plus de soixante-dix stations hydrométriques.

Après présentation des facteurs conditionnels des régimes (géologie, géomorphologie, pédologie et végétation) et des facteurs climatiques (précipitations et autres variables météorologiques), les grandes unités hydrographiques ou géographiques sont étudiées dans le détail et leurs aspects originaux sont soulignés. Un inventaire critique des données de base disponibles permet une première approche, d'accès aisé, aux principales caractéristiques de l'écoulement des cours d'eau étudiés. Il précède l'examen des principaux paramètres hydrologiques (étiages, crues, modules, déficits d'écoulement...) pour lesquels l'analyse stochastique proposée aboutit à la prédétermination d'événements de récurrences données.

Les régimes hydrologiques du Cameroun sont calqués sur les régimes pluviométriques : abondance, variabilité saisonnière et, même, irrégularité interannuelle sont intimement liées. L'analyse des variations spatiales en regard du milieu et de la zonalité latitudinale du climat conduisent à des relations précises établies entre écoulements annuels et précipitations ou superficie et morphologie des bassins ; la même démarche est faite pour les valeurs extrêmes. Le calcul des bilans hydrologiques complète cette phase d'interprétation des données propres à chaque unité régionale.

Les divisions de l'ouvrage permettent un accès direct du lecteur au domaine ponctuel susceptible de l'intéresser, domaine précis où il retrouvera une information regroupée souvent inédite. Par ailleurs, chaque variable importante a fait l'objet de synthèses cartographiques, permettant ainsi une vision globale au niveau de la région ou du Cameroun. L'ensemble constitue une contribution importante à la connaissance de l'hydrologie intertropicale et un ouvrage de référence pour les acteurs du développement.

SUMMARY : The hydrology of Cameroon's rivers

The proposed study of the hydrological regimes of Cameroon's rivers, relies both on a precise knowledge of the climatological and physiographical environment, and on a seventy stations data set.

Various factors whose influence on hydrological regimes is of utmost importance are first presented. These are geology, geomorphology, pedology, vegetal cover, rainfall and other hydrometeorological variables. Then, the main hydrological or geographical units are precisely described with their original pattern. A critical inventory of the basic available data allows a first assessment of the major features of the streamflows. A stochastic analysis of the main hydrological parameters (low water, annual flood, mean discharge, runoff deficit) is then possible and leads to the prediction of given return period events.

Cameroon's hydrological and rainfall regimes are similar. Large amounts of water, seasonal variability and, even, interrannual irregularity are strickly correlated. The spatial variability analysis facing the environment and the latitude permits the establishment of relationships between annual streamflows, precipitation, catchment area, and morphology. Extreme values are analysed from the same point of view. The computation of hydrological balance is the last step of this interpretation for each regional unit.

An easy access to any particular field of interest is permissible to the reader by a clear thematic separation of main subjects. He will find gathered data and information, a lot of it, here to unpublished. In addition, every important parameter has been mapped, thus allowing a global vision on a regional and national scale. Altogether, this work, is a main contribution to the field of tropical hydrology and a reference book for "who's working in developing countries".

Avant-propos

En 1968, Monsieur Jean RODIER, alors Responsable du Service Hydrologique de l'ORSTOM, me confiait une étude sur les régimes hydrologiques des régions volcaniques d'altitude du Pays Bamileke. Cette étude a impliqué mon installation à Bafoussam, au cœur des zones montagneuses de l'ouest du Cameroun, où j'allais travailler pendant quatre années. Il ne s'agissait pourtant pas là de mon premier contact avec le Cameroun ; curieusement, lors d'affectations précédentes au Tchad et au Congo, je découvrais par anticipation les marges nord et sud de ce pays, à l'occasion de mesures hydrologiques ponctuelles (lac Tchad et Serbewel en 1966, Ngoko en 1967). L'Ouest, le Nord et le Sud, entrevus dès l'abord, montraient trois facettes extrêmes de la diversité des paysages camerounais, du climat et des régimes hydrologiques.

Chargé en 1973 à Yaoundé de la direction du Service hydrologique au Cameroun, je me suis retrouvé confronté à une large diversité d'actions tant par rapport au milieu physique – des mangroves du Wouri aux montagnes de Mokolo – que sur le plan de la thématique – des études de bassins représentatifs, à l'hydrochimie, aux transports solides, au régime des précipitations, etc. – ou celui de la recherche fondamentale ou appliquée à des projets de développement.

A partir de 1975, l'accueil des équipes ORSTOM est assuré dans des Structures Scientifiques Camerounaises qui confirment mes responsabilités à la tête du Service Hydrologique National. Si le champ d'activités de nos études reste pratiquement identique avec, en particulier, la gestion du réseau hydrométrique du pays, les moyens d'intervention se développent rapidement en même temps que les équipes hydrologiques s'étoffent en chercheurs et techniciens nationaux.

Mes activités au Cameroun se poursuivront jusqu'en 1979 et je tiens à remercier Monsieur SOBA DJALLO, Directeur de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières, pour l'intérêt qu'il n'a cessé de montrer pour mon travail et le soutien que son Institut et ses collaborateurs m'ont apporté. Je tiens à lui témoigner ici mon amicale gratitude pour les années de collaboration intelligente que nous avons connues.

Le souvenir de ce séjour de onze années au Cameroun est source de nombreuses satisfactions. Parmi celles-ci, je mentionnerai celle d'être resté suffisamment longtemps pour voir se réaliser concrètement de grands projets de développement à l'étude desquels j'avais été associé quelques années auparavant (Barrages de Bamendjing, de Mokolo, de Lagdo, adductions d'eau de centres urbains, axes routiers, etc.).

C'est sans doute ce lien entre l'Hydrologie et le Développement qui a souligné la nécessité évidente d'un ouvrage de synthèse sur les mesures et travaux réalisés pendant trois décennies par les hydrologues au Cameroun. En acceptant d'être l'artisan de cette synthèse des régimes hydrologiques du Cameroun – malgré de nouvelles responsabilités au Sénégal – je souhaitais rester proche de mes amis camerounais et d'un pays auquel je suis toujours très attaché.

La réalisation de cette étude doit beaucoup à la confiance qui m'a été manifestée d'une part, par les Universitaires qui ont bien voulu suivre mes travaux *, d'autre part, par la hiérarchie de l'ORSTOM et les responsables de l'IRGM.

Ayant complété ma formation de géologue dans le Laboratoire du Professeur Jacques AVIAS à Montpellier par une spécialisation dans le domaine des eaux souterraines, c'est à lui que je dois mon orientation vers l'hydrologie. Depuis, le professeur J. AVIAS m'a toujours réservé un chaleureux accueil dans son laboratoire, encouragé et orienté dans les recherches entreprises. Je tiens à lui exprimer ma plus vive gratitude.

---

* Ces travaux ont donné matière à soutenance d'une thèse de Doctorat d'État en Sciences de la Terre, à Montpellier (Université des Sciences et Techniques du Languedoc) en juillet 1984, devant un jury présidé par le Professeur J. AVIAS et composé de MM. C. BOCQUILLON, J.Ch. FONTES, R. FRECAUT et M. ROCHE.

Je remercie aussi Monsieur Marcel ROCHE, Directeur du Service Hydrologique de l'ORSTOM au moment de ces travaux, pour l'intérêt porté à mes recherches. C'est à lui que je dois mon initiation première à l'hydrologie de surface ; ce sont ses encouragements et sa compréhension qui m'ont permis d'achever les travaux présentés ici. Je lui en suis très reconnaissant. Je dois également souligner les efforts consentis par l'ORSTOM pour la réalisation de cette étude et j'en remercie son Président Monsieur Pierre LAVAU et son Directeur Général, Monsieur Alain RUELLAN.

Depuis 1975, le Professeur Claude BOCQUILLON, Directeur du Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de l'Université de Montpellier, a bien voulu s'intéresser à mes recherches, tant celles réalisées en pays bamileke que celles relatives à l'ensemble du Cameroun. Je lui en suis particulièrement reconnaissant.

Je remercie aussi le professeur Jean-Charles FONTES, Directeur du Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopiques de l'Université de Paris XI-Orsay, pour ses conseils et encouragements. Ma gratitude lui est acquise car c'est à sa suite que j'ai pu connaître « d'autres chemins » de l'hydrologie, que ce soit sur les pentes du Mont Cameroun ou, plus récemment, aux îles du Cap-Vert.

La tutelle scientifique, sur le terrain, de plusieurs étudiants africains du Laboratoire d'Hydrologie Continentale de l'Université de Nancy II m'a permis de développer avec son directeur, le Professeur René FRECAUT, des échanges fructueux sur des approches naturaliste et statistique conjointes des études hydrologiques. Je lui dois de m'avoir encouragé dans les orientations prises dans le contexte géographique de la Potamologie, notamment dans cette étude du Cameroun, et d'avoir parrainé mon admission au sein du Comité National Français de Géographie Physique et du Comité National Français des Sciences Hydrologiques. Sa brutale disparition en 1985 a été unanimement regrettée et je souhaite honorer sa mémoire en lui dédiant la conception de cet ouvrage.

Pour ce qui est de la réalisation scientifique et technique de ce travail personnel, il convient de mentionner la participation collective de beaucoup d'autres : collègues ou collaborateurs, amis ou spécialistes. Je ne puis les nommer tous, mais qu'ils reçoivent ici le témoignage de ma gratitude.

A Yaoundé, je pense à Messieurs Paul CARRE, Emmanuel NAAH et Claude BERTHAULT, hydrologues qui n'ont pas ménagé leur peine pour me fournir les informations complémentaires dont j'ai eu besoin après mon départ du Cameroun, à Messieurs Godefroy AWOA, Nestor SAMBOEL qui, le plus souvent, ont particpé à mes travaux de terrain et Théophile LOBE, dessinateur d'une partie des figures présentées ici. Je pense aussi à Monsieur Robert HOORELBECKE, mon ami, avec lequel je partage le souvenir et la satisfaction d'études réalisées sur le terrain dans les meilleures conditions.

A Paris, le soutien du Bureau Central d'Hydrologie de l'ORSTOM ne m'a pas été compté ; j'ai en particulier bénéficié de l'amitié de Monsieur Jacques CALLEDE et de ses travaux dans l'élaboration des banques de données pluviométriques d'Afrique. Je réserverai une mention spéciale pour Monsieur Yann L'HÔTE ; celui-ci a accepté de se charger de travaux en calcul automatique et en particulier de la préparation d'une partie des données de base et de leur analyse fréquentielle. Il peut être assuré de ma profonde reconnaissance.

A Dakar, la participation non mesurée de mes collaborateurs immédiats doit être signalée ; l'assistance de Messieurs Jules FLORY, Yann LE TROQUER et Honoré DACOSTA mérite toute ma gratitude, de même que celle de Monsieur Taher Abdoulaye MAÏGA qui a dessiné plus de la moitié des figures, de celle de Monsieur Amadou Ndiaye CISSE qui a dessiné la carte géologique et enfin de celle de Monsieur Abdoulaye THIAM qui a composé le texte et les tableaux du manuscrit avec une patience méritoire et un soin qui n'ont pas été démentis.

A Bondy, la contribution de Messieurs F. MEUNIER et R. DERUELLE du Service cartographique de l'ORSTOM a permis la réalisation de la carte oro-hydrographique.

Je remercie aussi Messieurs Jean-Pierre DEBUICHE et Jean-Claude MARCOUREL, Dessinateurs au Laboratoire d'Hydrologie à Montpellier, pour leur contribution décisive dans la reprise de certaines figures et surtout la réalisation des planches couleurs.

Enfin, toujours à Montpellier, mes remerciements vont également à Monsieur Gabriel VIGNARD qui, pour le compte du service des Editions de l'ORSTOM et de Madame E. LORNE, a pris en charge les problèmes d'édition, de préparation des planches photos et de la jaquette et a partagé avec moi les contacts avec l'imprimeur.

Mais la valorisation de ce travail et de ces collaborations n'aurait pu aboutir à la publication présentée ici, si une volonté manifeste n'avait conclu au niveau du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRES) d'une part, et de l'ORSTOM d'autre part,

un accord de co-édition et de co-financement. Cet aboutissement reste pour une bonne part dû à Monsieur SOBA DJALLO, Directeur de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières et à Monsieur Emmanuel NAAH, chargé au sein de l'Institut de la Direction du Centre de Recherches Hydrologiques. Qu'ils trouvent ici encore le témoignage de ma gratitude et de mon amitié.

Outre ma contribution scientifique à la connaissance de l'hydrologie intertropicale, je souhaite que le travail réalisé puisse être interprété au Cameroun comme ma contribution personnelle au développement du Pays.

Introduction

Les premiers travaux hydrologiques réalisés au Cameroun remontent à 1947 comme dans la plupart des pays voisins d'expression française. Des observations antérieures ont parfois été effectuées sans toutefois avoir fait l'objet d'études spécifiques. Ces observations se rapportaient le plus souvent à la gestion au jour le jour de voies navigables, mais aussi, dès 1943, au potentiel hydro-électrique de la Sanaga à Edéa.

A partir de 1947, les hydrologues de l'ORSTOM vont rapidement améliorer ou créer les réseaux d'acquisition de données hydrologiques ; ce sera d'abord dans le cadre de structures locales, tel le service des Travaux-Publics, ou de missions ou conventions particulières, telle la « Mission Logone-Tchad », souvent en association avec des ingénieurs d'Électricité de France. Très vite, les hydrologues disposeront d'implantations permanentes dans les Centres de Recherches ORSTOM nouvellement créés et leurs travaux pourront se développer à une grande échelle tant sur le plan de l'optimisation et de la gestion de réseaux hydrométiques que sur le plan d'études ponctuelles liées à des projets d'aménagement.

Ce développement s'accompagne de nombreuses publications généralement très spécifiques et limitées au sujet étudié. Pour des chercheurs, la tentation d'exploiter, dès les premières années, les données de base recueillies sur les fleuves et rivières du pays est grande. Extrapolations et estimations ont cependant conduit généralement à une bonne approche scientifique de la Connaissance de l'hydrologie du Cameroun. De proche en proche, quelques synthèses locales ou régionales ont été faites ; si les données hydrologiques y restent souvent de trop courte durée, les renseignements climatologiques (et en particulier les précipitations) qui y sont donnés participent alors d'études sur des sujets encore inédits, tant il est vrai que le champ de l'hydrologue ne peut se limiter au seul débit des fleuves.

Cette évolution commune à des pays comme le Cameroun, le Tchad, la Centrafrique, le Congo et le Gabon, a donc abouti à une somme importante de travaux et publications sur l'hydrologie de l'Afrique Centrale. D'intérêt variable, l'ensemble est assez disparate et est resté relativement peu diffusé. L'utilisation de certaines publications par des non-spécialistes, avec l'extrapolation téméraire d'estimations que les hydrologues voulaient prudentes, a implicitement révélé la nécessité d'ouvrages de synthèse sur l'hydrologie régionale, faisant le point des connaissances acquises. Cela a été fait en particulier pour le bassin du fleuve Chari, le bassin du Lac Tchad. Après plus de trente années d'observations, cela restait à faire pour l'ensemble du Cameroun, et à compléter pour le bassin de la Sanaga.

Dans le cadre des institutions camerounaises qui ont pris le relais de l'ORSTOM en matière d'hydrologie scientifique (IRGHM, IRTISS, IRGM [1]), la nécessité d'une telle synthèse a été clairement soulignée et un programme de coopération scientifique entre l'ORSTOM et le Cameroun a été défini.

(1) Institut de Recherches Géologiques, Hydrologiques et Minières ; Institut de Recherches sur les Techniques Industrielles et le Sous-Sol, au sein de l'ONAREST (Office National de la Recherche Scientifique et Technique) ; puis Institut de Recherches Géologiques et Minières, au sein de la DGRST (Délégation générale de la Recherche Scientifique et Technique), puis du MESRES (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique).

Un problème restait posé : sous quelle forme présenter cette synthèse ? Le choix se résumait à retenir :

- soit un ouvrage condensé résumant l'essentiel des caractéristiques des régimes hydrologiques du Cameroun ;
- soit un ouvrage plus complet susceptible de servir d'ouvrage de référence en hydrologie et donnant avec précision les caractéristiques hydrologiques des différentes unités géographiques du pays.

C'est cette deuxième option qui a été retenue pour l'intérêt que présentait la diffusion d'une information aussi complète que possible pour les utilisateurs potentiels et en particulier les projeteurs et autres experts du développement.

L'organisation de l'ouvrage a été conçue suivant plusieurs préoccupations :

- constituer un ensemble facilement accessible dans le détail en dépit d'un volume global important ; conserver à l'ouvrage une unité d'ensemble tout en permettant un accès ponctuel du lecteur et une compréhension indépendante pour chaque unité hydrographique ;
- fournir le maximum de données élaborées tant dans les domaines climatique qu'hydrologique afin de permettre à d'autres chercheurs leur utilisation pour d'éventuels développements ;
- établir dans l'interprétation des données les relations sous-régionales, régionales ou même à l'échelle de la zone intertropicale, relations susceptibles d'expliquer la variabilité des paramètres hydrologiques.

Sur le premier point, les divisions de l'ouvrage ont été faites par bassins hydrographiques principaux ou ensembles régionaux individualisés d'après leur climat et surtout leur couverture végétale et pourraient constituer autant d'ouvrages indépendants. Dans chacune de ces parties le milieu physique et climatique a été défini en dégageant les aspects originaux susceptibles d'influer sur les régimes hydrologiques ; c'est ce qu'on appelle couramment les « facteurs conditionnels du régime ». Cet aspect descriptif est complété par un examen morphologique des rivières et cours d'eau principaux et de leurs bassins versants (profils, pentes, caractéristiques de forme). Bien évidemment, il n'était pas question de reprendre pour chaque unité les concepts généraux. Une première partie de généralités s'est donc imposée ; on a d'abord considéré la mise en place des paysages camerounais. L'esquisse de l'histoire géologique proposée (et sa carte hors-texte) constitue un essai original de vulgarisation basé sur les derniers travaux de géologues. Elle est suivie en continuité d'une étude géomorphologique générale puis d'un tour d'horizon des grandes unités pédologiques rencontrées au Cameroun et des principaux processus pédogénétiques observés. Une esquisse de la phytogéographie termine la description des paysages camerounais. Sur le plan de la climatologie, on s'est d'abord attaché à mentionner les mécanismes principaux responsables des climats intertropicaux sous une version simplifiée. L'aperçu global des différents paramètres, et en particulier des précipitations, souligne la grande variabilité climatique rencontrée au Cameroun. Une mention particulière doit être faite sur l'étude des précipitations journalières qui forme un tout qu'il était difficile de disperser dans les chapitres ultérieurs. Cette première partie s'achève par une présentation du réseau hydrographique du pays, des stations hydrométriques et des méthodes de traitement et d'analyse qui ont été utilisées. Les divisions ultérieures de l'étude sont rationnellement justifiées, le critère principal étant celui du climat et de la couverture végétale correspondante. Un plan-type est également proposé. Les deuxième, troisième et quatrième parties nous feront progressivement remonter des zones équatoriales humides du sud du pays aux régions sahéliennes du lac Tchad au nord. Dans la présentation de chacune de ces régions, on a déjà dit que seuls les aspects spécifiques du milieu et du climat avaient été soulignés.

La table des matières détaillée, en fin d'ouvrage, permet d'accéder facilement aux chapitres ou rubriques désirés.

Sur le deuxième point, des données numériques, l'abondance des tableaux – parfois rebutante – témoigne cependant, avec celle des figures, de notre volonté de fournir au lecteur les éléments d'appréciation et de critique de nos travaux d'interprétation. Dans ce même ordre d'idées, on a également indiqué les paramètres des lois de distribution de nos analyses fréquentielles. Il faut peut-être souligner aussi que l'essentiel des valeurs données dans les tableaux, se rapportant tant à l'hydrologie qu'à la climatologie, constitue un capital de données originales ou mises à jour qui était encore inédit. Rien que dans le domaine de l'hydrologie du réseau camerounais, plus d'un million d'informations limnimétriques ont été traitées à partir de relations hauteurs-débits établies elles-mêmes sur la base de plus de 3 000 jaugeages et dont on donne un aperçu en annexe.

Sur le troisième point, les travaux d'interprétation nous ont amené au fil des différents chapitres à proposer diverses relations qu'il serait trop long de présenter ici et qui vont de la définition d'un gradient altimétrique des températures moyennes au calcul de l'écoulement en fonction de divers paramètres. Dans une cinquième partie de conclusions, nous avons montré sous forme de graphiques et de cartes la variabilité existant au Cameroun, défini quelques relations globales et, en quelque sorte, synthétisé l'essentiel de l'acquis sur les écoulements de surface.

La place même du Cameroun au contact de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Centrale, son étalement en latitude, le passage de l'influence océanique à l'influence continentale font de ce pays un champ d'expériences exceptionnel. Aussi, est-il permis de penser que l'hydrologie camerounaise constitue un volet important dans la connaissance de l'hydrologie du milieu intertropical.

1re PARTIE

GÉNÉRALITÉS

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS SUR LE MILIEU PHYSIQUE DU CAMEROUN ET LE CADRE DE L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE

1. La mise en place des paysages camerounais
2. Climats du Cameroun
3. Réseaux hydrographique et hydrométrique, et présentation de l'étude des Régimes hydrologiques du Cameroun.

CHAPITRE I

Généralités sur le milieu physique du Cameroun et le cadre de l'étude hydrologique

Le Cameroun couvre une superficie de 465 000 km² (1), ce qui le place au 21e rang des 52 pays d'Afrique. Il est compris entre les latitudes 1° 40 N et 13° 05 N et les longitudes 8° 30 E et 16° 10 E, soit 1 250 km sur un axe nord-sud et 860 km sur un axe est-ouest. Le Cameroun a la forme approximative d'un triangle. Son grand axe orienté SSW-NNE de Campo au Lac Tchad a 1 280 km de longueur ; l'autre grand axe entre Ouesso et l'embouchure de l'Akwayafe, perpendiculaire au premier a 900 km de longueur.

Le Cameroun partage 4 700 km de frontières avec le Nigéria (1 700), le Tchad, la Centrafrique, le Congo, le Gabon et la Guinée Équatoriale et a 400 km de côtes sur l'océan Atlantique.

En 1980, sa population était estimée à 8 500 000 habitants ; elle est très diversement répartie. Le peuplement s'est particulièrement développé dans trois régions du pays : l'axe Douala-Hauts Plateaux de l'Ouest, la région de Yaoundé et la région de Maroua et des Monts Mandara dans le nord du pays.

Les mesures hydrologiques en réseau se sont développées d'abord dans le cadre de préoccupations économiques (navigation sur la Bénoué, hydro-électricité sur la Sanaga...). Le réseau hydrométrique s'est donc souvent surimposé aux régions à fort développement du réseau hydrographique. Au cours des dernières décennies, une diversification des implantations a permis une connaissance plus large de l'hydrologie des cours d'eau du Cameroun.

Dans ce chapitre, on s'attachera à donner un aperçu général du milieu physique du Cameroun et à définir le cadre de l'étude hydrologique et les méthodes employées.

Une carte donnée en annexe permet une vision d'ensemble de l'oro-hydrographie du Cameroun.

1. LA MISE EN PLACE DES PAYSAGES CAMEROUNAIS

La diversité des paysages au Cameroun a souvent été soulignée. Elle constitue un de ses atouts, sur le plan touristique bien sûr – « le Cameroun, c'est l'Afrique en miniature » –, mais aussi sur le plan agricole en élargissant l'éventail de ses ressources et produits de base. Elle explique aussi la mosaïque d'ethnies dont les habitats, l'art et les traditions variés ont doté le pays d'un patrimoine culturel exceptionnel.

Cette diversité tient à plusieurs facteurs :

- l'allongement du pays en latitude avec ce que cela implique comme variations climatiques et ses conséquences sur la végétation et la pédologie ;
- son ouverture sur l'Océan par le golfe de Guinée et son exposition au flux de mousson avec son incidence climatique ;
- son relief extrêmement varié dont les études géologiques et géomorphologiques rendent compte, avec en particulier la barrière orographique de l'Adamaoua séparant un Cameroun « humide » d'un Cameroun « sec ».

Décrire ces différents paysages qui conditionnent les régimes hydrologiques des fleuves et rivières du pays, c'est bien entendu évoquer leur mise en place en remontant à la genèse du substratum géologique, à la formation des reliefs puis des sols, en examinant enfin leur couverture végétale.

(1) D'après Morin in Atlas Jeune Afrique ; d'autre sources indiquent une superficie de 475 000 km².

1.1. Esquisse de l'histoire géologique du Cameroun

La géologie du Cameroun est bien connue grâce aux multiples travaux de prospection et de cartographie effectués par les géologues de la Direction des Mines et de la Géologie. A ces travaux, il faut ajouter les nombreuses recherches de l'Université et du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.). Certains laboratoires, comme celui de pétrographie de Clermont-Ferrand, ont permis une approche nouvelle de la compréhension des phénomènes. Il faut en particulier citer les travaux de datation de Lasserre, datations qui ont conduit à reprendre du tout au tout les conceptions de la mise en place du substratum ancien.

1.1.1. L'histoire du substratum ancien

1.1.1.1. L'évolution des théories et des méthodes

« Le Cameroun se trouve à la charnière de l'Afrique Centrale et de l'Afrique de l'Ouest. » Cet actuel constat géographique prend également tout son sens dès les origines de l'histoire géologique du pays.

A la traditionnelle conception d'un vaste bouclier africain continu depuis l'aube des temps précambriens s'est d'abord substituée la notion de cratons multiples séparés par des ceintures orogéniques plissées résultant de longues sédimentations dans de vastes géosynclinaux occupant l'essentiel des zones mobiles. L'histoire africaine du Précambrien a permis de mettre en évidence un certain nombre d'orogenèses dont l'effet dominant aurait été d'amener une cratonisation progressive du continent à partir de noyaux primitifs. Selon Clifford (1970), par auréoles successives figées après chaque orogène, on en serait arrivé vers la fin du Précambrien avec l'orogénie panafricaine à la constitution du bouclier africain ; les orogénies plus récentes n'ont concerné que l'Afrique du Nord, l'Extrême-Ouest africain et l'Extrême-Sud africain.

Reprenant G. Rocci (1965), Clifford (op. cit.) propose le schéma général du développement structural de l'Afrique ci-après.

Les noyaux primitifs des cratons résulteraient eux-mêmes d'orogènes d'âge archéen (2 500-2 800 millions d'années (M.A.)) et catarchéen (3 000 M.A.). Des travaux plus récents conduisent à modifier un peu ce schéma. Les récentes mesures géochronologiques ayant mis en évidence çà et là des roches du même âge que celles des cratons anciens, on peut penser que les noyaux archéens ou catarchéens sont en réalité les résidus d'ensembles plus vastes, non touchés ou peu touchés par les orogènes

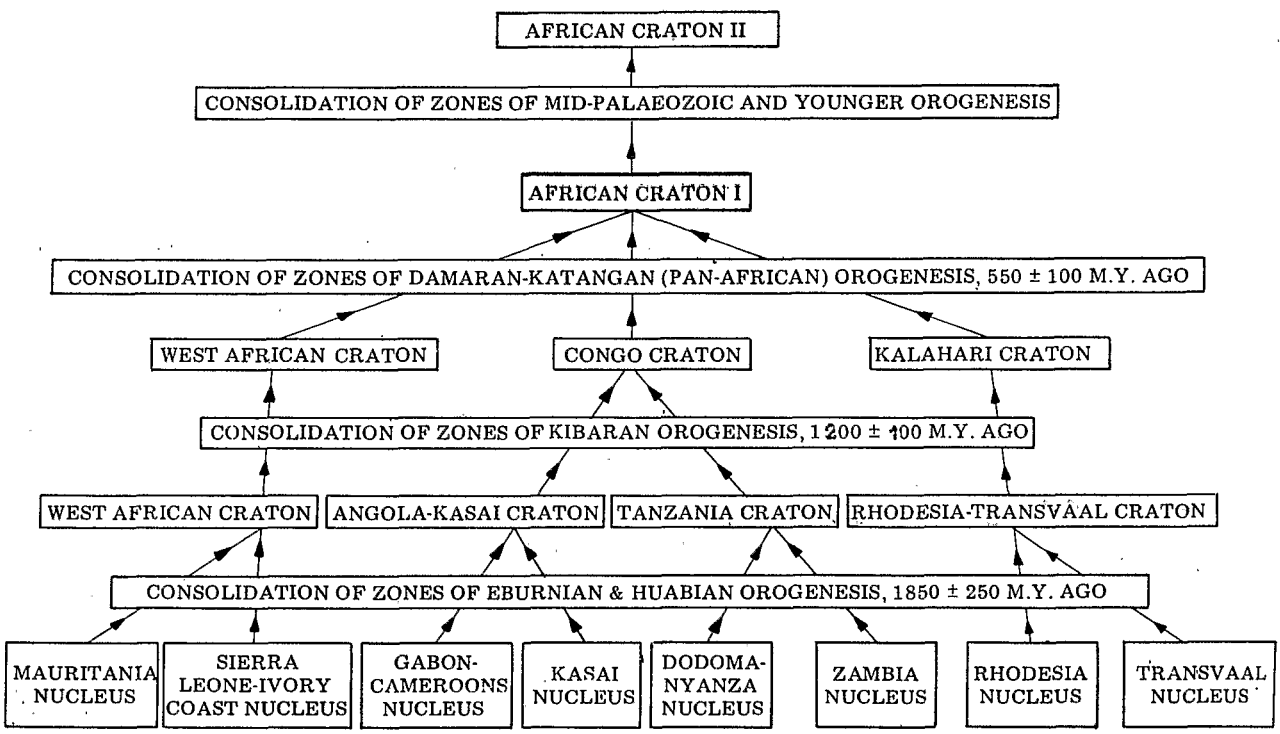


Schéma général du développement structural de l'Afrique (T.N. Clifford, 1970).

ultérieurs ; les cratons primitifs auraient eu une extension plus grande que celle qu'on leur connaît aujourd'hui.

Depuis plus de trois milliards d'années, une dizaine d'épisodes orogéniques indépendants se sont succédés reprenant souvent les matériaux ou compartiments d'orogenèses antérieures, « digérant » ou non les roches anciennes. Les continents correspondent finalement à la juxtaposition, la superposition ou l'imbrication de chaînes de montagnes successives. On en revient en définitive à un schéma peu éloigné de celui présenté par Rocci et Clifford, qui, pour ce qui concerne l'Afrique, correspond assez bien aux formes géosynclinales complexes que l'on aurait trouvées avec un continent morcelé dont les minicratons étaient séparés par des bras océaniques.

Sur la base d'un schéma structural de ce type, compte tenu des récents travaux de géochronologie mais aussi de l'identification des différents orogènes, de l'interprétation de différentes phases de métamorphisme, on peut tenter de retracer les différentes étapes de la naissance de ce que l'on continuera à appeler ici « Complexe de base » ou « socle ancien » du Cameroun, termes qu'il faudra prendre au sens large et somme toute ramener au Précambrien.

Il faut savoir que les radiodatations doivent être manipulées avec prudence [1] et ce que l'on mesure : le minéral, la roche totale, l'âge du dépôt, l'âge du métamorphisme... A ces techniques modernes, doivent être associées d'autres techniques nouvelles telle l'étude des déformations fines des roches et des terrains (microplissement, microtechnique) et l'énorme masse d'observations accumulées par les géologues en Afrique Centrale.

B. Bessoles (1981) en proposant une synthèse des études effectuées en Afrique Centrale et particulièrement au Cameroun retient un certain nombre d'hypothèses nouvelles sur la mise en place des différents termes et séries géologiques de la région. C'est cette compréhension de la mise en place des terrains anciens du Cameroun que nous avons voulu résumer ici.

1.1.1.2. Les formations du craton

A la frontière du Gabon et du Cameroun, on a mis en évidence des affleurements d'âge 2 700 à 3 000 M.A. (P.M. Hurley, 1967) donnant au cœur du noyau primitif du craton congolais un âge Archéen. Ces roches n'auraient pas été reprises dans les événements orogéniques ultérieurs (Précambrien D_2).

Dans la « zone mobile » péricratonique couvrant alors l'ensemble du territoire camerounais appartenant vraisemblablement au domaine océanique, on a des dépôts peu profonds de sédiments argilo-calcaires et gréseux, avec intrusion de roches cristallines.

Windley (1973) situe entre 2 800 et 3 200 M.A. une période de haut degré de métamorphisme dû probablement à des sources de chaleur localisées résultant de la minceur de la croûte primitive, du gradient géothermique élevé et de zones de fractures importantes. Il souligne que c'est à cette époque que le faciès granulite est le plus répandu.

La phase orogénique libérienne va aboutir aux formations du complexe calcomagnésien de la Série du Ntem à caractère charnockitique fortement granitisé, témoignant d'un métamorphisme profond intense (catazone) et constituant au Cameroun et au Gabon un noyau d'âge libérien du craton congolais.

Les isochrones obtenues sur des roches totales du complexe du Ntem lui donnent un âge de 2 700 à 2 900 M.A. (Pc. D_1), tandis que les isochrones sur roches totales et minéraux donnent des âges de 1 800 à 2 400 M.A. Ceci montre d'une part la fin d'un épisode important de l'histoire orogénique de ces roches correspondant au Libérien et d'autre part une reprise tectonométamorphique avec l'orogenèse éburnéenne à l'issue de laquelle on aboutit à la stabilité définitive de cette partie du Craton du Congo limitée aux régions sud du Cameroun. Aux bordures de ce noyau d'âge archéen (Précambrien D), des zones reprises par l'Éburnéen (Précambrien C) et de la zone mobile, on note un ensemble de roches anciennes réactivé par l'orogenèse panafricaine. C'est ainsi qu'on a cru identifier des « séries » du Nyong et de la Lokoundje qui comprennent en fait des noyaux à 3 000 M.A. et des roches plus récentes à 1 000 M.A. et même 500 M.A.

Il faut préciser que dès cette époque la zone mobile du Cameroun est déjà guidée par les cicatrices tectoniques originelles de la croûte qui s'orientent sur un axe NNE-SSW qui correspond aujourd'hui encore à l'axe tectonique « golfe de Guinée-Cameroun-Tibesti ». Des périodes de sédimentation océanique se sont poursuivies au nord de la partie « cratonisée » ; les orogénies de l'Éburnéen entre 2 300 et 1 550 M.A. avec paroxysme du cycle orogénique vers 1 800 M.A. aboutissent aux formations plissées du Birrimien d'un métamorphisme intense mais moins poussé qu'au Libérien. Sur ce Craton, côté Gabon, on a sans doute déjà des formations de couverture peu ou pas plissées contemporaines du Birrimien. En effet le Francevillien peut être attribué suivant les auteurs aux cycles éburnéen et kibarien.

Cette histoire correspond à ce que les géologues avaient appelé le « premier cycle » (Gazel, 1958) ayant formé le « Complexe de base » (Archéen, Libérien, Birrimien) dans lequel étaient alors incluses les vastes zones de migmatites et granites considérées comme archéennes ou du Précambrien C.

(1) Les méthodes de radiodatation ont elles-mêmes évolué ; certaines mesures ont été obtenues par la méthode au strontium conventionnel appliquée à des micas (biotite) et à des roches totales ; plus récemment on utilise la méthode au strontium ajusté par isochrone appliquée aux roches totales.

En fait cette notion de « Complexe de base » doit être complètement revue. Certains gneiss et micaschistes doivent être rattachés aux séries intermédiaires et les migmatites sont de formation encore plus récente.

1.1.1.3. Les séries intermédiaires

Entre l'orogénie éburnéenne (1 800 M.A.) et l'orogénie panafricaine (550 M.A.), le Cameroun ne garde pas de trace identifiée de l'orogénie kibarienne (1 200-1 300 M.A.). Par contre on a identifié pendant cette vaste période un certain nombre de séries d'âges différents, d'extension et de localisation variable. Ces séries n'ont subi qu'un métamorphisme de faible intensité et proviennent le plus souvent de dépôts de couverture continentaux ou de mers peu profondes. Ces séries ont été appelées séries intermédiaires. Un certain nombre de distinctions a été fait. Pour Bessoles, certaines distinctions ne se justifient pas et l'âge de ces séries se rattacherait au Précambrien B plutôt qu'au Précambrien C, les datations ne se rapportant qu'à la phase de métamorphisme ou de granitisation, c'est-à-dire entre 1 200 et 1 800 M.A. Ces séries intermédiaires proviendraient de dépôts dans des fosses allongées assez étroites et pourraient être l'homologue dans la zone mobile du Francevillien.

On a les séries suivantes :

- La Série de Poli dans le nord du Cameroun, dont la complexité a été montrée par Le Fur (1971), mêle une succession de sédiments de couverture, de couches volcaniques de dépôts océaniques (avec volcanites). L'ensemble lithologique comporte, originellement pour ces séries intermédiaires, à côté des roches sédimentaires, des roches volcaniques variées ainsi que des roches basites et ultrabasites. Le métamorphisme, estimé à 550 M.A., aboutit à des schistes, chloritoschistes et quartzites micacés, traversés par des rhyolites, diorites et gabbros de direction d'ensemble ENE-WSW.
- La Série du Lom dans l'est du bassin de la Sanaga et se prolongeant en Centrafrique présente des roches intensément plissées de faciès plutôt sédimentaire dont l'individualisation par rapport au « Complexe de base » repose davantage sur des critères d'intensité du métamorphisme (épizonal pour la série du Lom) que sur des discordances très évidentes. Quartzites, schistes, calcschistes, micaschistes à grenats constituent l'essentiel du matériel lithologique ; on note en plus des volcanites acides très subordonnées (métarhyolites, tufs rhyolitiques). Ce volcanisme nettement moins important que dans la série de Poli est toutefois plus marqué que dans les autres séries plus méridionales (Soba Djallo, 1971).
- La Série de Mbalmayo-Bengbis et la série d'Ayos : La première est formée essentiellement de schistes verdâtres à éclat gras ; la seconde a d'abord été appelée groupe schistoquartzeux d'Akonolinga étant composée de micaschistes, schistes, chloritoschistes avec des intercalations nombreuses de bancs de quartzites d'épaisseur variable. Les deux formations sont d'origine presque exclusivement sédimentaire et n'ont subi qu'un métamorphisme épizonal faible. Entre elles, Bessoles (op. cit.) pense que la liaison se fait sans discordance avec les micaschistes de la série grenatifère classée initialement dans le complexe de base.
  On peut admettre que ces séries sont formées de faciès pélitiques transformés en schistes et micaschistes ; elles constituent une seule unité géologique affectée par un métamorphisme variable et ayant parfois subi migmatisation et granitisation. Le contact au sud avec le Craton (Complexe du Ntem) est marqué par des mylonites et une faille probable de direction EW de 300 km de long. Enfin ces séries sont pratiquement subhorizontales ou légèrement plissées. Elles se prolongent en Centrafrique par la série de la Bolé.
- La Série schisto-quartzitique a été identifiée dans le sud-est du Cameroun près des frontières congolaise et centrafricaine par les géologues du C.E.A. (1) (Laplaine, 1971) qui l'ont définie au Congo. Elle comprend la série s.s. de pélites sombres en alternance avec les quartzites et les grès de Koka constitués d'un quartzite blanc. elle a été parallélisée avec la série de la Bolé en Centrafrique et pourrait donc être apparentée aux séries précédentes.
  Ces séries intermédiaires sont homologues au Cameroun de la partie inférieure de l'ancien ensemble défini au Congo comme série de Sembe-Ouesso laquelle se rattache au Francevillien dont les dépôts ressortent le plus vraisemblablement du cycle kibarien du Précambrien B (Protérozoïque moyen 1 800-1 200 M.A.) compte tenu de ses faibles plissements.

1.1.1.4. Les formations du protérozoïque supérieur (Précambrien A)

Ces séries se cantonnent à la limite de la zone mobile et du craton et on n'en trouve que de rares témoins dans la zone mobile. Elles correspondent en Centrafrique et au Zaïre au Lindien-Oubanguien et au Cameroun à la série du Dja et de Nola (R.C.A.). Ce sont des dépôts ayant souvent un caractère continental ou un caractère de sédimentation en mer

(1) Ces prospections du Commissariat à l'Énergie Atomique ont coïncidé sur le terrain en 1967 avec nos propres mesures hydrologiques effectuées sur la « route du Cacao » au Nord-Congo.

de plate-forme continentale. Ces séries sont considérées comme l'équivalent du Katanguien, et se rapportent au cycle du même nom qui se termine par l'orogénie katanguienne ou panafricaine.

La Série du Dja comprend trois termes lithologiques principaux : les pélites, les quartzites et le complexe schistodoléritique. La mise en place de ces puissants ensembles intrusifs basiques pourrait être liée à la position de ces séries au contact de la zone mobile camerounaise et du craton congolais et des contraintes tectoniques qui en résultent. L'ensemble est surmonté par le Complexe tillitique du Dja témoin d'un phénomène glaciaire qui se trouve aussi bien au Zaïre qu'en Centrafrique et aux confins Centrafrique-Congo et qui constitue un repère paléogéographique important de cette partie de l'Afrique au Précambrien. Au Zaïre, la datation d'une série médiane « Lindien-Complexe tillitique » d'après les stromatolithes contenus entre 950 et 675 M.A. permet de conclure que la série du Dja ante-tillitique est antérieure à 675 M.A. et remonte peut-être à 1 000 M.A. Le complexe tillitique du Dja serait postérieur à 675 M.A. et antérieur à l'orogenèse panafricaine (550 $\pm$ 100 M.A.).

1.1.1.5. La chaîne panafricaine, migmatisation et granitisation

La chaîne panafricaine occupe la zone mobile du Cameroun et couvre pratiquement tout le pays. Granitisation et migmatisation constituent les phénomènes géologiques majeurs de cette période. Leur intensité et leur généralisation à la fin de l'orogenèse panafricaine ont transformé les terrains des séries antérieures (séries intermédiaires) à une échelle telle que les séries que nous avons décrites précédemment dans la zone mobile ou à ses bordures pourraient passer pour des reliques flottant au sein des migmatites et granites ou les témoins rescapés de l'orogène panafricain.

Les roches (migmatites, gneiss, embréchites, leptynites, anatexites, granites...) paraissent constituer une lignée continue des migmatites aux granites. Les granites concordants – liés par ailleurs aux granites discordants – seraient le terme ultime de la granitisation et de la migmatisation. Cette idée d'une lignée unique des granites et migmatites paraît bien étayée par la géochronologie. Migmatisation et granitisation se seraient produits entre 650 et 500 M.A. environ. Sur 27 échantillons de migmatites réparties sur tout le territoire, la plupart des âges obtenus se situe entre 550 et 600 M.A. Les granites circonscrits se sont mis en place entre 550 et 500 M.A. ; les granites non circonscrits sont plus vieux que les précédents. Autrement dit la granitisation panafricaine constituant un stade ultime de la migmatisation aboutit dans les zones concernées à des roches d'âge ultérieur aux migmatites. Les zones les plus granitisées se trouvent dans l'est du Cameroun et constituent aussi l'énorme « batholite » de l'Adamaoua.

Mais l'orogenèse panafricaine que l'on a appelée aussi « l'événement thermotectonique panafricain » n'a pas seulement été une granitisation provoquant un « rajeunissement » des ensembles lithologiques ; elle a aussi auparavant réellement conduit à la formation d'une chaîne de montagne. Les géologues du Cameroun ont longuement cartographié ces migmatites et granites et montré, qu'à quelques virgations près, les axes des plissements et des anticlinoriums suivaient des directions NNE-SSW à ENE-WSW et même E-W.

1.1.1.6. Le paléozoïque ancien

L'orogenèse panafricaine s'est terminée au Cambrien, donc à l'ère primaire. C'est la dernière orogenèse que connaisse cette région de l'Afrique mais quelques cinq cents millions d'années nous séparent encore du Cameroun actuel alors que son substratum est pour l'essentiel déjà mis en place et que le bouclier africain est quasiment achevé.

Pendant le Cambro-Ordovicien, on note des manifestations « post-tectoniques » panafricaines avec des plutonites nettement discordantes comme les granites caractéristiques des hossérés du Nord-Cameroun, ou les syénites du pic du Mindif.

Au Silurien, enntre 370 et 490 M.A. d'après les datations, on a le dépôt dans le Nord-Cameroun d'une série volcanique et sédimentaire caractéristique d'un ensemble continental. On ignore son extension primitive et même si elle était beaucoup plus étendue qu'aujourd'hui où elle est localisée près du Lac de Léré, près de Mangbéï (d'où le nom de Série de Mangbéï) et à Hoye près de Poli. Cette série avec conglomérats et arkoses est détritique ; elle contient de puissantes intercalations de trachy-andésites et de rhyolites.

Ce sont là les derniers dépôts connus ou subsistants d'un immense continent qui va subir l'intense érosion du temps et qu'on appellera Gondwana.

1.1.2. L'évolution géologique du Cameroun depuis l'ère primaire

1.1.2.1. La lacune stratigraphique siluro-crétacée

Après les dépôts de la Série de Mangbéï et de Hoye du Silurien, on ne trouve plus trace de sédimentation, continentale ou non, sur le territoire camerounais jusqu'au Crétacé inférieur, soit pendant 250 millions d'années. Pourtant, pendant le Permien et le début du Secondaire, des sédiments continentaux se sont déposés en de nombreux endroits (Karoo en Afrique

du Sud, de l'Est et du Centre, Continental intercalaire, grès de Carnot en Centrafrique sur les bassins de la Lobaye et de la Sangha...).

Furon (1960), signalant les travaux de E. Roch et d'autres auteurs, parle de « Continental intercalaire » dans des petits synclinaux du Nord-Cameroun (Figuil) et dans le fossé tectonique de la Mbere ; mais les quelques fossiles trouvés se rapportent au Crétacé inférieur.

On peut donc considérer que pendant toute la lacune sédimentaire observée, l'ensemble du Cameroun est émergé et soumis à une longue érosion qui aboutit à ce que les géomorphologues ont appelé surface de Gondwana, qui correspond à l'aplanissement jurassique de tout le territoire.

A la fin du Jurassique, on assiste à la dislocation du continent de Gondwana. La séparation de l'Amérique du Sud de l'Afrique ne peut être antérieure – comme pour la séparation Madagascar-Afrique qui date du Lias – car aucun sédiment jurassique n'a été rètrouvé dans les forages pétroliers au large du Cameroun.

A partir du Cénomanien – et même plus tôt Albien et Aptien, côté Nigéria –, on a une transgression et une sédimentation marines dans les bassins côtiers et le golfe de Mamfe qui vont se poursuivre pendant tout le Crétacé supérieur et dont on peut suivre l'histoire grâce à une riche faune d'ammonites. Les dépôts atteignent 2 000 m d'épaisseur au cœur du bassin de Douala.

Dans le bassin de la Bénoué, le fossé de la Mberé, le haut-Djerem et quelques autres petits bassins du Nord-Cameroun, le Crétacé supérieur est continental et lagunaire ; dans ses dépôts les plus anciens (Crétacé moyen), on note partout des intercalations marines témoins d'un grand golfe de la Bénoué ouvert côté Nigéria (dont bassins Mayo Rey et pays Boubandjida) et communiquant avec le bassin intérieur du Lac Tchad. C'est de cette époque que date une faune ichtyologique marine adaptée au milieu fluvio-lacustre que l'on trouve encore dans la Bénoué [1].

Dans le bassin de la Bénoué, une formation détritique fluviatile de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur constitue les grès de Garoua dont les entablements dominent aujourd'hui la vallée (Massif du Tinguelin).

Ce cycle a conduit à l'aplanissement d'une surface post-gondwanienne qui va elle-même être érodée par un nouveau cycle d'érosion au début du Tertiaire (Éocène) comme en témoigne la sédimentation détritique du Paléocène dans le bassin de Douala. Ce cycle résulte de mouvements tectoniques ayant aussi amené le plutonisme et le volcanisme. Les dépôts marins de mer peu profonde se poursuivent dans le bassin de Douala jusqu'à l'Oligocène où il y a émersion. A cette époque, le cycle d'érosion Éocène a abouti à une nouvelle surface d'érosion, la surface Africaine I dont l'extension est très grande tant au Cameroun méridional que dans les pays voisins.

L'événement est assez considérable pour qu'on imagine les bouleversements immédiats subis par une région figée depuis l'orogenèse panafricaine. Cette dislocation du Gondwana va produire une série de fractures perpendiculaires où l'on reconnaît ligne du Cameroun et ligne de la Bénoué. La direction sensiblement ENE-WSW correspond à ce que certains ont appelé le « rift » de la Bénoué. L'orientation du horst de l'Adamaoua a été interprétée comme la poursuite sur le continent des failles transformantes reconnues dans la croûte océanique au large de la Côte d'Ivoire et du Ghana. La ligne du Cameroun est aussi représentée dans cette phase de tectonique cassante mais c'est plus tard qu'elle s'accompagnera de plutonisme et de volcanisme.

De ces bouleversements s'ensuivent des transformations entre différents panneaux continentaux et nouveau niveau de base des océans qui vont entraîner l'attaque d'un nouveau cycle d'érosion sur l'ancienne surface de Gondwana. Érosion et sédimentation du cycle Post-Gondwanien qui conduisent aux premières formations de couverture depuis le Silurien.

1.1.2.2. Les formations sédimentaires

Les premières formations de couverture datent du Crétacé inférieur. Elles débutent par des formations détritiques à éléments grossiers formant les grès sublittoraux des bassins sédimentaires côtiers (Campo, Douala), ou des grès à bois silicifiés de la région de Mamfe, ou les dépôts de cinq petits synclinaux en pays fali près de Garoua (Amakousou, Lere-Mayo Oulo, Figuil, bassin de Baouan et bassin de Kontcha), ou encore les dépôts dans le fossé tectonique de la Mbere. C'est d'ailleurs après cette période qui va jusqu'à l'Aptien – le Wealdien – que des mouvements tectoniques auraient entraîné l'effondrement du fossé de la Mbere et les plissements des synclinaux cités.

De nouveaux mouvements du socle au Miocène, coïncident avec l'orogenèse alpine et amènent une nouvelle transgression sur le bassin côtier où les dépôts se poursuivront jusqu'au Quaternaire. Ils s'accumulent, grâce à la subsidence du bassin et à une probable flexure au niveau de la plaine côtière, sur une grande épaisseur.

Pendant ce temps, la cuvette tchadienne se remplit de sables, argiles et limons d'origine fluviale et continentale sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

Le cycle d'érosion mio-pliocène aboutit à la fin du Tertiaire à la surface africaine II limitée au Cameroun aux cuirasses de la Bénoué.

(1) Dagetichthys lakdoensis, espèce de Soleidae ne dépassant pas 40 mm de longueur trouvé sur la Bénoué (Stauch A. *et al.*, 1964) près de Garoua et Lagdo, témoigne d'espèces marines confinées.

Les dépôts quaternaires sont pour une part constitués des alluvions des cours d'eau du Cameroun dont les dépôts sont limités à leur vallée. Ils ont d'autre part une grande extension dans le Nord-Cameroun (Cuvette tchadienne), dans le bassin côtier, dans le bassin de la Bénoué et quelques hautes plaines de l'Ouest.

Dans le bassin côtier de Douala, ces dépôts se partagent en sables côtiers, vases noires de mangrove et alluvions fluviatiles ; ils se sont accumulés sur une grande épaisseur en continuité avec les dépôts pliocènes et jusqu'à la période actuelle (Holocène).

Dans la vallée de la Bénoué et les plaines de Ndop ou des Mbos, les dépôts sont constitués d'alluvions d'origine fluviatile comportant des sables et des limons et quelques niveaux argileux.

L'extension du Quaternaire est la plus grande sur le bassin tchadien du Nord-Cameroun. Les dépôts quaternaires sont continus depuis le Lac Tchad jusqu'au Mayo Kébi et à l'est d'une ligne Mora, Maroua, Kaele. Ils sont représentés par un limon superficiel, des sables peu argileux, le berbéré ou terre de karral, argile grise ou noire, et parfois une cuirasse de latéritoïde conglomératique. Ces dépôts concernent notamment le domaine du Yaéré où les sédiments se partagent en limons et argiles des débordements du Logone, apports éoliens du Nord (sables dunaires) et érosion des derniers reliefs des Monts Mandara.

Un peu partout au Cameroun, on observe des formations de cuirasses latéritiques pouvant conduire aux bauxites (Dschang) de genèse quaternaire. Au nord du 9° parallèle, on observe seulement des latéritoïdes de faible extension.

1.1.2.3. Plutonisme et volcanisme récents

Les deux phénomènes apparaissent comme les conséquences des bouleversements de la dislocation de Gondwana dont les rejeux consécutifs aux mouvements alpins ont réactivé les zones de fracture ou de faiblesse de l'écorce terrestre au Cameroun.

Il est caractéristique de noter que le Plutonisme a d'abord précédé le Volcanisme même si ses dernières phases sont contemporaines du volcanisme et que les massifs mis en place sont alignés suivant la « ligne du Cameroun » qui sera aussi fondamentalement suivie par les épanchements volcaniques.

Le plutonisme concerne une quarantaine de massifs alignés sur près de 1.000 km, de l'Océan au Lac Tchad. Ils sont constitués pour la plupart de granites mais aussi de syénites avec parfois des roches intrusives d'accompagnement plus anciennes (passage Crétacé-Tertiaire) du type gabbros, microgranites, rhyolites, etc.

Les granitoïdes ultimes du Cameroun se sont mis en place à partir du Paléocène et surtout à l'Éocène. Les plus vieux sont les granites de Mayo Darle et Sabon Gari (63 M.A.) ; le granite de l'Hossere Poli date de 39 M.A. Les autres massifs ultimes ont un âge de 40 à 45 M.A. La syénite de Mboutou a 60 M.A. et le granite de Bana est le plus jeune avec 30 M.A.

On a pu aussi mettre en évidence que les magmas de Poli, Mayo Darle et Sabon Gari avaient une origine mantellique alors que ceux de Tchegui, Nlonako et Koupe ont une origine manteau-base de la croûte.

Les datations prouvent que les granitoïdes ultimes du Cameroun ont bien un âge antérieur au volcanisme principal de ce pays.

En étudiant le volcanisme, B. Gèze (1943) avait cru pouvoir dater de la fin du Crétacé supérieur les éléments volcaniques retrouvés dans les sédiments du bassin de Douala et du bassin du Mungo ; ces datations semblent incertaines et en tout état de cause ne se rapportent qu'à une faible activité volcanique.

L'ampleur géographique de cette période volcanique dépasse largement le Cameroun. La ligne du Cameroun est jalonnée par des massifs volcaniques depuis les îles du Golfe de Guinée, Annobon, Sao Thomé, Principe, Fernando Po (et peut-être même depuis l'île de Ste Hélène...), puis le Mont-Cameroun, la dorsale camerounaise, plus au nord les Kapsiki, et sans doute jusqu'au Tibesti. Au niveau des Monts Gotel, une branche importante du volcanisme va se développer vers l'est dans l'Adamaoua par le Tchabal Mbabo et le Tchabal Nganha.

Trois phases principales du volcanisme ont été reconnues :

- La première phase éruptive a été appelée Série Noire inférieure ; elle s'est étendue de l'Éocène à l'Oligocène. C'est la phase principale responsable des grandes étendues basaltiques, planèzes de l'Adamaoua ou de l'Ouest-Cameroun. Basaltes et andésites sont reconnaissables aujourd'hui par leur altération avancée. Ce sont des émissions de type fissural sans appareil volcanique identifiable.
- La seconde phase éruptive est appelée Série blanche moyenne ou intermédiaire. Elle se situe au Néogène (Mio-Pliocène) et correspond à un volcanisme généralement moins profond et acide (trachytes, phonolites, rhyolites). On parle souvent de reprise dans des chambres magmatiques peu profondes de zones d'effondrements sous le poids des basaltes anciens. Les formes orographiques vigoureuses du volcanisme datent de cette période (aiguilles péléennes, necks, caldeiras, etc.). Cette série blanche recouvre les basaltes dans les montagnes de l'Ouest, constitue aussi les pitons des Kapsikis. C'est aussi à cette époque que s'est constitué l'énorme empilement de coulées basaltiques qui constitue le Mont-Cameroun.
- La troisième phase volcanique est quaternaire. On l'a appelée la série noire supérieure. Elle est essentiellement composée de roches de type basaltique et se distinguent par la prédominance des produits pyroclastiques (cendres, lapillis) et la

bonne conservation des appareils volcaniques (puys, volcan égueulés). Elle est localisée dans la région de Penja-Mont Koupe où l'on a plus de 70 petits volcans, la région de Foumbot-Bafoussam, très riche également en appareils volcaniques, et, à un degré moindre, dans la région de Wum (Province du Nord-Ouest) et dans l'Adamaoua près des sources de la Vina-Sud ; enfin, au Mont-Cameroun, toujours en activité et dont les dernières éruptions remontent à 1959 et 1982, le volcanisme n'a pratiquement pas cessé depuis le Miocène.

Dans l'étude des différentes unités hydrographiques, on reprendra les principaux aspects de la géologie régionale en insistant sur les faits saillants d'intérêt local et sur la description du substratum, s'il joue un rôle original en hydrologie.

La figure 1.1. propose un résumé de l'histoire géologique du Cameroun.

Une esquisse géologique est donnée dans la planche couleur 1 [1] ; la carte hors-texte fournit une information plus détaillée.

1.2. Les grandes unités géomorphologiques

L'orographie variée du Cameroun tient pour une part aux régions montagneuses dont l'origine est généralement volcanique mais pour l'essentiel aux vastes surfaces aplanies constituant des gradins étagés à travers l'ensemble du pays. Largement disséqués par différentes phases d'érosion, ces plateaux peuvent parfois ne subsister qu'en petits massifs isolés, témoins d'anciennes surfaces d'érosion. Ainsi le Cameroun présente une succession de vastes plaines ou plateaux dont la monotonie des paysages tabulaires est fréquemment rompue par la présence de reliefs importants souvent vigoureux.

La caractéristique principale des surfaces aplanies est de ne présenter chacune que de très faibles variations d'altitude sur d'immenses étendues alors qu'elles sont séparées par des escarpements de plusieurs centaines de mètres. Si ces escarpements sont à l'origine des hypothèses tectoniques de la morphogenèse, l'extension des surfaces planes sur d'aussi vastes étendues suggère pour cause unique les processus généraux de l'érosion et ici de phases d'érosion successives.

Les rejeux tectoniques existent mais une explication globale par horsts et grabens (Gazel 1955, Koch, 1953) des différents gradins camerounais ne tient pas. Les grands accidents tectoniques, les grandes failles n'ont pas été identifiés là où ils auraient dû l'être et lorsqu'ils sont observés, les rejets ne correspondent pas aux escarpements existants.

Actuellement, on reconnaît que la morphogenèse des différentes unités tabulaires du Cameroun se rattache à différentes phases d'érosion. Celles-ci, relevant d'une manière générale de la dynamique de l'eau, s'expliquent par des mouvements tectoniques généraux d'amplitude variable qui ont modifié au cours des temps géologiques le niveau de base du réseau hydrographique. Ce niveau de base correspond aujourd'hui d'une part à l'océan Atlantique, mais aussi au niveau intermédiaire de la vallée de la Bénoué dans le Nord-Cameroun et, d'autre part, à la cuvette du lac Tchad.

Tectonique de failles, gauchissements et ondulations expliquent certaines observations de détail. L'histoire géologique a donné un aperçu de la chronologie de ces différentes phases d'érosion, les gradins les plus élevés correspondant aux cycles d'érosion les plus anciens. L'esquisse géomorphologique proposée dans la planche 2 indique les principales unités dont on peut tenter une description sommaire.

1.2.1. Les régions de basse altitude

Les surfaces les plus basses correspondent aux plaines côtières et aux cuvettes ou dépressions intérieures. Ce sont en fait des zones mixtes comprenant surfaces d'érosion et plaines alluviales. Elles sont d'altitude assez variées et ne constituent pas encore à proprement parler de surface d'érosion typique compte tenu des niveaux de base différents.

1.2.1.1. Les régions basses du Sud-Cameroun

Dans le Sud-Cameroun, la morphologie de détail montre un paysage de nombreuses petites collines séparées par des ruisseaux à débit lent et régulier, collines dont le profil en « demi-orange » est reconnu par les géographes comme assez classique en région équatoriale.

Ce type de paysage concerne la majeure partie des plaines sédimentaires de la façade maritime. Celles-ci sont à peine ondulées et ne dépassent généralement pas 200 m d'altitude : leur partie la plus côtière est d'ailleurs franchement alluviale et les surfaces sub-horizontales.

A l'ouest, deux ensembles s'individualisent :
- la plaine côtière de l'Akwa Yafe,
- la Cuvette de Mamfé drainée par la Cross-River.

(1) Les planches couleur ont été regroupées au sein de la 1re partie de généralités (chapitre 1).

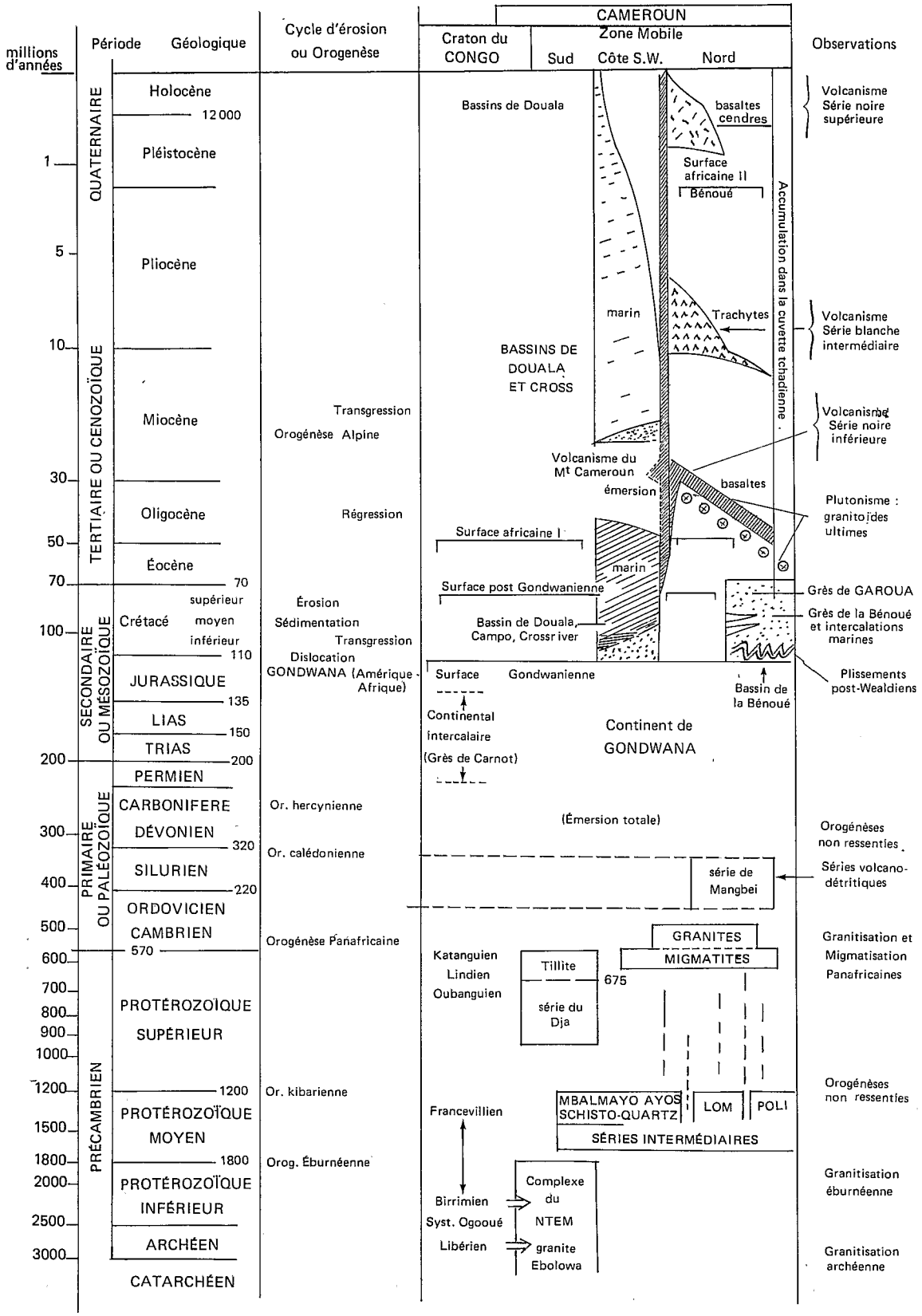


Fig. 1.1. – Résumé de l'histoire géologique du Cameroun

Entre le Mont Cameroun et Campo, la plaine littorale est continue. Elle est traversée successivement par le cours inférieur du Mungo, du Wouri, de la Sanaga, du Nyong et du Ntem, principaux fleuves de la façade atlantique du Cameroun.

Au sud-est, la cuvette congolaise constitue une entité particulière de par son altitude entre 300 et 400 m, les terrains anciens qui forment exclusivement son substratum sur la partie camerounaise et sa morphologie très vallonnée.

Toutes ces régions ont en commun d'être couvertes de forêts denses qui protègent les sols d'une érosion de surface ; c'est la ferrallitisation, processus pédogenétique qui sera évoqué plus loin, qui provoque un abaissement très lent des reliefs par hydrolyse et élimination d'une grande partie des minéraux des roches.

1.2.1.2. Les régions basses du Nord-Cameroun

Dans le nord du pays, les régions les plus basses concernent deux entités.

La première est constituée par **les vallées de la Bénoué et de ses affluents Faro et Mayo Kébi.** Il y a eu pénéplanisation de terrains anciens et sédimentaires du Crétacé et de larges dépôts alluviaux quaternaires le long des axes hydrographiques. Dans sa partie la plus basse comprise entre 170 et 250 m d'altitude, la plaine est aussi appelée Fossé de la Bénoué, ce qui suggère une origine tectonique mise en évidence par des rejets de 200 à 400 m entre plateaux gréseux du nord et du sud de la vallée. Le reste du bassin traduit davantage la notion de « Surface d'érosion ». Cela est particulièrement net dans la partie sud où l'on identifie de vastes plateaux cuirassés entre 400 et 500 m d'altitude qu'on retrouve au Tchad. Ces cuirasses ferrugineuses correspondraient à la surface Africaine II datant du Pliocène. Il semble que cette surface existe aussi dans le Diamare au pied des massifs de roches vertes de Maroua. Dans son ensemble, la région est fortement nivelée et cet aplanissement résulterait d'une pédogenèse pliocène. Conséquence de cet aplanissement, le faible enfoncement du réseau hydrographique traduit un drainage souvent médiocre conduisant à la constitution actuelle de sols hydromorphes.

La seconde unité géomorphologique du Nord-Cameroun est constituée par la Cuvette tchadienne. Celle-ci constitue une vaste zone d'épandage d'alluvions tertiaires, quaternaires et actuelles centrée sur le lac Tchad et variant de 350 à 280 m d'altitude. Elle est en particulier caractérisée par les vastes plaines du Chari inférieur et du Bas-Logone dont le Yaéré constitue un des paysages les plus typiques de l'extrême nord du pays. Les limites de la dépression tchadienne correspondent au Cameroun à l'extension maximale du Paléo Tchad marquée par un cordon dunaire de Mora à Kaélé.

1.2.2. Les reliefs intermédiaires

Entre les régions basses que l'on vient d'évoquer et le gradin immédiatement supérieur, on a distingué une zone intermédiaire pouvant se réduire au seul escarpement ou « falaise » séparant deux surfaces d'érosion.

Cette zone représente le grignotement par l'actuel cycle d'érosion des reliefs plus élevés et des surfaces anciennes. La topographie y est généralement tourmentée.

Au Sud-Cameroun, elle diffère assez peu par ses formes des zones plus basses.

Ces reliefs intermédiaires ont une extension réduite à l'ouest ; ils pénètrent par contre assez largement le bassin moyen de la Sanaga et du Mbam et se réduisent de nouveau au sud en une zone étroite de transition.

Dans la cuvette congolaise, on passe insensiblement des zones les plus basses aux zones intermédiaires ; la morphologie très vallonnée de l'ensemble constitue en effet une caractéristique du paysage de la région.

A l'exception des montagnes élevées dans les provinces ouest du Cameroun, les reliefs intermédiaires raccordent toujours au Sud-Cameroun les régions les plus basses à la surface tabulaire 600-700 m.

Au Nord-Cameroun, les zones intermédiaires sont réduites. On les observe entre le plateau de l'Adamaoua et la plaine de la Bénoué, sur l'ensemble du bassin de la Vina Nord, et plus au nord entre les Monts Mandara et la plaine de Mora Maroua. Il s'agit toujours de reliefs assez marqués avec pentes fortes et thalwegs profonds. Dans cette catégorie, peuvent être aussi rangés les inselbergs et autres chicots de reliefs défunts et dont l'apparition de loin en loin sur de vastes plaines souligne dans le paysage le cliché traditionnel de l'immensité africaine.

1.2.3. La surface d'érosion des 700 m

Cette surface est la plus vaste du Cameroun. Elle s'étend sur 600 km d'ouest en est de Yaoundé et Ebolowa jusqu'au-delà de Yokadouma et Berbérati en Centrafrique. Vers le nord, elle est limitée par les contreforts de l'Adamaoua avec des escarpements de 200 à 400 m à l'ouest. Au sud, la surface déborde largement sur le Gabon. Cette surface d'érosion décrite ici correspond à ce qu'on appellera plus loin le Plateau du Centre-Sud.

Les rebords occidentaux de ce plateau sont escarpés et le passage à la zone côtière se fait par des falaises telle celle de Matomb, entre Eséka et Yaoundé ou est encore marqué par la succession de chutes comme à Nyabessan sur le Ntem.

Mais la surface d'érosion se poursuit dans les provinces de l'Ouest où les reliefs individualisent des unités plus petites. **La plaine Tikkar** limitée par

l'Adamaoua, les Monts Mambila et le plateau Bamoun se rattache par l'est au plateau du Centre Sud. De même, **la zone de Ndikiniméki** adossée aux plateaux bamiléké et bamoun se raccorde à l'est à la dépression de Bafia. **La plaine des Mbos** enserrée entre le Massif du Manengouba, les Monts Bamboutos et le Plateau Bamiléké s'ouvre vers le sud sur la région côtière par un escarpement de plusieurs centaines de mètres.

Plus à l'ouest encore, la surface d'érosion se retrouve du plateau Akwaya à la limite du Nigéria, à la région nord de Wum, de la Katsena et de la haute Donga.

Son extension étant ainsi précisée pour le Cameroun, il convient d'ajouter que cette surface constitue une des constantes majeures de l'Afrique Centrale. Elle a été appelée Surface Africaine I et date de l'Éocène.

L'altitude moyenne de cette surface est de 700 m. Elle est voisine de 800 m au Nord, tombe à 600 m au centre, remonte à 750 m à la latitude de Yaoundé et diminue de nouveau vers le sud ; ceci laisse penser que la surface a été ultérieurement affectée par un ample mouvement d'ondulations d'origine tectonique qui, localement, on le verra, peut amener des différences sensibles dans les qualités drainantes du réseau hydrographique.

Au sein même de ces régions, les reliefs résiduels témoins de surfaces plus anciennes sont d'extension réduite et relativement rares (région de Yaoundé, Ebolowa, Yoko, Bafia, etc.). Ils correspondent généralement à des noyaux de roches dures. Cela même montre que la phase d'aplanissement a pratiquement été menée jusqu'à son terme. Pour les pédologues (Segalen, 1967), elle aurait été accompagnée d'une pédogenèse ferrallitique terminée par un cuirassement ferrugineux très généralisé indice d'un drainage médiocre.

Le réseau hydrographique est peu enfoncé ; le dépôt d'alluvions est négligeable et l'érosion latérale est très faible. Le paysage général reste pour l'essentiel du plateau du Centre Sud celui d'une multitude de petites collines dont les versants sont d'abord convexes puis concaves (demi-oranges). Les sommets sont le plus souvent arrondis et à la même altitude. Le cuirassement contribue à donner à la surface une allure plane assez générale.

1.2.4. La surface d'érosion des 1 000-1 100 m

Cette surface d'érosion est la deuxième en extension au Cameroun. Elle s'étale comme une large bande orientée ouest-est du pays Bamoun jusqu'au-delà de Bouar en Centrafrique, couvrant l'ensemble du plateau de l'Adamaoua. On la retrouve également à l'ouest des Monts de Bamenda matérialisée par les plateaux de Bafut-Bali-Batifo et de Wum, puis au Nigéria et au nord de la vallée de la Bénoué, dans les Monts Mandara, avec la surface Kapsiki.

Les reliefs résiduels de Yaoundé, Ebolowa, les inselbergs de Yoko en sont aussi des témoins.

Cette surface d'érosion a été datée du Crétacé et appelée Post-Gondwanienne. Le cycle d'érosion a concerné un soubassement entièrement cristallin du socle ancien. La surface a été ensuite protégée par des épanchements basaltiques dont l'extrême fluidité leur a permis de se répandre sur une grande partie du plateau de l'Adamaoua, des plateaux de l'ouest et du plateau Kapsiki. C'est sans doute cette protection qui explique que cette surface ait encore une extension aussi grande. Des rejeux tectoniques ou basculements légers conduisent à observer des altitudes assez variables d'une région à l'autre.

Ainsi, pour l'Adamaoua, la « Surface de Meiganga » voit son altitude varier de 800 à 1 000 m alors que les régions de Banyo et Tignere atteignent jusqu'à 1 400 m du fait des accumulations volcaniques du Tchabal Mbabo. La falaise de Banyo marquant le passage du plateau à la plaine Tikkar a 700 m de dénivelée.

Le rebord septentrional du plateau de l'Adamaoua est à 1 100-1 200 m. C'est aussi l'altitude du plateau Bamoun et de son prolongement de la Plaine de Ndop coincée entre les Massifs du Nkogan, du Mbam, de l'Oku et de Bamenda. A l'ouest de la dorsale camerounaise, les plateaux de cette surface d'érosion varient de 1 000 à 1 300 m.

La surface Kapsiki est comprise entre 800 et 1 000 m d'altitude et domine les plaines périphériques de 400 à 500 m. Une phase de dépôts détritiques recouverts par les coulées basaltiques indique peut-être que l'érosion s'est poursuivie sur le massif Mandara, dont les pointements granitiques sont vigoureux vers Mokolo, la surface d'érosion Kapsiki étant déjà formée. La ferrallitisation paraît avoir été encore ici un des processus principaux de la pédogenèse.

1.2.5. La surface de Gondwana

C'est la plus ancienne surface d'érosion que l'on puisse identifier au Cameroun ; encore a-t-il fallu les travaux de Pugh (1954) au Nigéria pour que ces surfaces soient reconnues comme gondwaniennes et non comme de simples compartiments relevés par la tectonique.

Sur le plateau de l'Adamaoua, les restes de cette surface sont compris entre 1 300 et 1 500 m, suivant une bande allongée est-ouest dominant d'environ 200 m le reste du plateau. Des thalwegs bien marqués découpent ces plateaux en lanières ; le drainage est très bon. Cette surface a, comme celle de Meiganga, été protégée par les épanchements volcaniques. Les sols de cette surface sont des sols ferrallitiques indurés et la cuirasse bauxitique atteint 30 m d'épaisseur. C'est d'ailleurs au sein de cette **surface d'érosion de**

Minim-Martap que le Cameroun dispose d'une fabuleuse réserve de bauxite (1 milliard de tonnes à 35-42 % d'alumine).

Dans l'Ouest, le **plateau bamiléké** constitue un bastion escarpé adossé aux Monts Bamboutos dont les basaltes ont protégé le plateau de l'érosion. L'altitude moyenne est de 1 400 m, mais elle se relève vers le Sud jusqu'à 1 800 m (Batie). Le plateau se prolonge certainement dans la province du Nord-Ouest mais les empilements successifs de lave ne permettent plus de l'identifier. La surface de Gondwana est-elle présente sous 600 m de laves entre Kumbo et Nkambe ? Il n'est pas interdit de le penser, d'autant que cela permettrait de raccorder le plateau bamiléké au **plateau Mambila** au Nigéria (les Monts Mambila constituant la frontière entre les 2 pays).

Un autre vestige de cette surface pénéplanisée au Jurassique ayant constitué le continent de Gondwana peut sans doute être identifié dans la chaîne des Monts Alantika où l'ensemble des sommets se situe à 1 800 m d'altitude sur plus de cent kilomètres de longueur.

1.2.6. Les montagnes

Sous ce terme vague, nous désignerons ici les reliefs les plus vigoureux d'origine volcanique ou tectonique ne se rattachant pas aux surfaces d'érosion que nous venons de voir, que ce soit sous la forme de leurs rebords escarpés ou de massifs résiduels tels les inselbergs ou les pains de sucre de la région de Yaoundé. Ces reliefs s'ordonnent suivant la Dorsale camerounaise jusqu'au nord du pays, et par sa virgation de l'Adamaoua jusqu'à la Centrafrique.

Dominant la baie de Biafra, le Fako ou Mont Cameroun élève sa puissante masse volcanique jusqu'à 4 095 m d'altitude. Des montagnes plus basses (1 764 m) comme les Monts Rumpi, massif volcanique disloqué par la tectonique se situent directement plus au nord. Au nord-est du Mont Cameroun, la trouée Bakossi marquée par des nombreux puys précède les édifices puissants du Mont Koupe (2 050 m), puis du Manengouba (2 396 m) dominant la ville de Nkongsamba et dont le sommet est occupé par deux caldeiras emboîtées.

Les Monts Bamboutos constituent un des édifices volcaniques les plus importants de la région de l'Ouest. D'aspect assez mou vu du plateau bamiléké, le massif offre la surprise à 2 740 m de déboucher sur une caldeira de près de 2 000 m de profondeur ouverte sur le bassin de la Cross River.

Mont Lefo, Pic de Santa, Monts de Bamenda et enfin Mont Oku (3 008 m) s'alignent sur la Dorsale avec leurs puissants épanchements basaltiques puis trachytiques. Le Mbapit, le Nkogam (2 263 m) et le Massif du Mbam (2 335 m) plus à l'est élargissent le domaine montagnard de la région.

La chaîne des Monts Gotel (2 418 m) puis le massif du Tchabal Mbabo (2 460 m), édifices volcaniques de l'Adamaoua occidental, se situent encore dans l'axe initial de la Dorsale camerounaise.

A l'est de Ngaoundéré, le Tchabal Nganha (1 923 m) et les Monts Mbang (1 641 m) constituent les appareils volcaniques majeurs de l'Adamaoua Oriental. Plus au nord, les Montagnes de Poli constituent un massif important où volcanisme et tectonique ont imposé des formes vigoureuses (Hossere Vokre, 2 049 m). Enfin, avant la dépression tchadienne, les Monts Mandara, avec leurs aiguilles péléennes ou culots trachytiques des Kapsiki (Mont Rumsiki, 1 224 m) et le massif granitique de Tourou (Mokolo) (1 442 m), constituent les derniers reliefs montagneux du Cameroun.

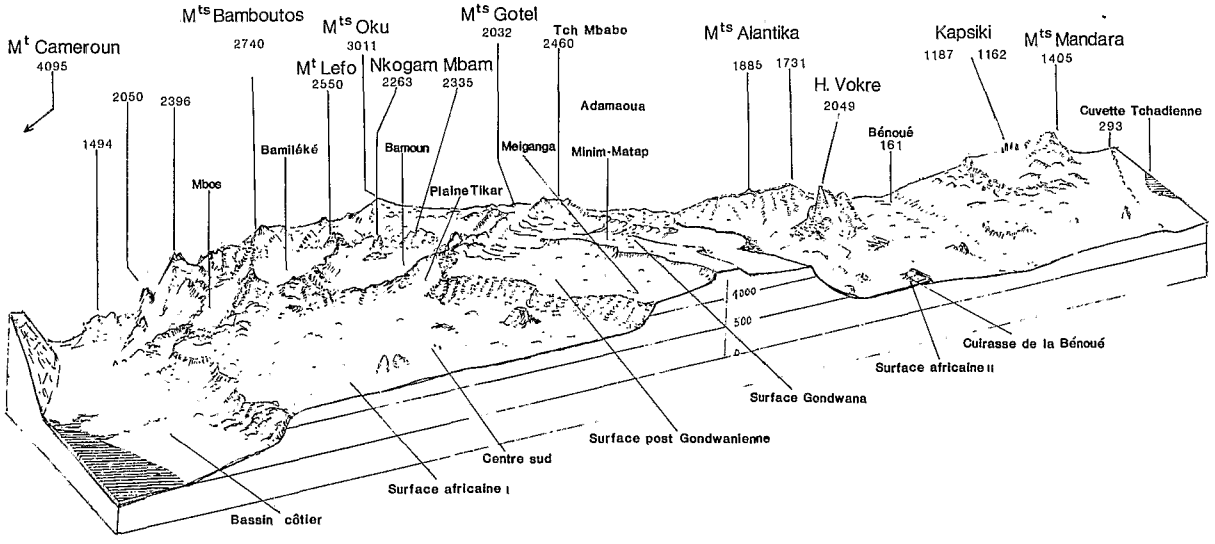


Fig. 1.2. – Coupe géomorphologique schématique du Cameroun suivant un axe SSW-NNE

1.2.7. Conclusions

La description des différentes unités géomorphologiques a montré la succession de gradins étagés depuis l'océan jusqu'à la bordure nord de l'Adamaoua. L'Adamaoua constitue en outre une virgation vers l'est de l'axe montagneux majeur du pays, l'autre branche définissant plus au nord la frontière entre Cameroun et Nigéria.

L'Adamaoua semble donc bien séparer sur le plan orographique deux unités très différentes que nous avons appelées, pour des commodités de vocabulaire, Nord-Cameroun et Sud-Cameroun. La falaise septentrionale de l'Adamaoua peut être considérée comme la limite entre les deux zones. On verra que c'est aussi une limite climatique et phytogéographique.

On a relevé aussi, paradoxalement, que les régions les plus basses étaient plus importantes au nord de l'Adamaoua, malgré l'éloignement de l'océan. Ainsi, 42 % des surfaces comprises entre 300 et 600 m sont au nord de l'Adamaoua. Mais 80 % de celles situées entre 600 et 900 m sont au sud. D'ailleurs, le Cameroun reste en moyenne un pays d'altitude élevée. L'altitude dépassée par 50 % de la superficie du pays est de 700 m, et 63 % sont situés au-dessus de 600 m. 16,5 % de la superficie du pays est comprise entre 900 et 1 500 m, mais 2 % seulement dépassent 1 800 m.

Les ensembles cités seront repris dans l'étude des différentes unités hydrographiques, mais d'ores et déjà on peut indiquer qu'on retrouvera dans le profil des cours d'eau les différents passages d'une surface à l'autre. Ces profils, d'une grande variété, attestent d'une relative jeunesse du réseau hydrographique. La figure 1.2 propose une coupe géomorphologique du sud au nord du Cameroun.

1.3. Les sols et les grands traits de la pédogenèse

Les sols du Cameroun ont été étudiés par les pédologues de l'ORSTOM. Ceux-ci ont en particulier réalisé des cartes à diverses échelles, et c'est la carte au 1/1 000 000 qui nous a servi de base à l'esquisse pédologique proposée dans la planche 3. Les travaux de D. Martin (1966), P. Ségalen (1957, 1967), M. Vallérie (1968) et plus récemment M. Gavaud et J.P. Muller ont été utilisés dans les descriptions régionales qui seront faites pour les principaux bassins hydrographiques.

Dans ces descriptions, la classification des sols utilisée est celle qui a été mise au point à l'ORSTOM par G. Aubert (1963) qui dérive de celle présentée à la VI[e] Conférence Internationale des Sols à Paris en 1956 par Aubert et Duchaufour et dont 8 des 10 classes ou catégories sont représentées au Cameroun. On pourra à l'occasion se référer à la notation alors en usage (classe en chiffres romains et subdivisions en chiffres indiciaires), mais il faut savoir que les classifications évoluent, que de nouvelles subdivisions peuvent être créées. De plus, elles sont rarement universelles ; la classification recommandée par la F.A.O. et les Nations-Unies devrait être adaptée à la cartographie pédologique du Cameroun ; elle diffère sensiblement de celle d'Aubert et n'est pas d'une transposition toujours évidente, car tout dépend du critère de classification.

1.3.1. Les différentes catégories de sols au Cameroun

La répartition géographique des principales catégories de sols est indiquée sur l'esquisse cartographique de la planche 3.

La grande variété des sols est liée au substratum, aux facteurs topographiques, à l'ancienneté de la pédogenèse et aux milieux bioclimatiques où ils se forment.

On note 8 grandes catégories représentées.

1.3.1.1. Les sols minéraux bruts

On les trouve sur les reliefs montagneux. Ils contiennent des traces de matière organique et sont constitués de quelques centimètres de débris de roche désagrégée. Si le substratum est constitué de roches meubles, ces sols sont dits **régosoliques** ; sur roches dures, ce sont des **lithosols.**

Ces sols sont localisés au nord de l'Adamaoua sur tous les reliefs : Monts Alantika, Montagnes de Poli, Tchollire, Vina-Nord, Montagnes de Guider, Monts Mandara. Ils sont associés à des sols peu évolués dont la pédogenèse est un peu plus élaborée.

1.3.1.2. Les sols peu évolués

Ceux-ci sont très variés. Ils peuvent provenir de sols bruts en étant plus altérés, plus riches en matière organique avec début de formation d'argile. Peuvent apparaître localement des faciès ferrugineux avec début d'individualisation des sesquioxydes de fer et entraînement modéré de l'argile. Plus au sud, on peut même observer un début d'évolution ferrallitique.

Mais les sols peu évolués se développent aussi sur des matériaux d'apport récent. Dans les pays bamoun et bamiléké, ces sols se développent sur cendres volcaniques et lapillis. Vers Kaélé, c'est sur des sables éoliens ; au bord du lac Tchad, sur des sables de rivages, plages ; dans les vallées des mayos de Maroua, sur alluvions récentes. Ces sols peuvent être hydromorphes, carbonatés, planosoliques et halomorphes. Le milieu est alors déterminant.

1.3.1.3. Les vertisols

Correspondant à l'évolution plus complète des sols précédents marqués par l'hydromorphie et comprenant des argiles gonflantes, ces sols sont localisés au nord de Guider. Dans les plaines de Figuil, Guider, Kaélé, ce sont des vertisols topomorphes et lithomorphes de pédiplaine. De Mora à Kousseri, en bordure du Yaéré, ce sont des vertisols topomorphes formés en zones planes et déprimées. Les vertisols lithomorphes viennent de matériaux basiques.

Ces sols sont argileux, foncés, affectés de mouvements internes de retrait et gonflement saisonniers.

1.3.1.4. Les andosols et sols bruns eutrophes

Ce sont des sols jeunes à profil homogène, développés sur les formations volcaniques basiques et généralement associés à des sols minéraux bruts ou peu évolués sur pentes fortes partiellement ferrallitisées. On les observe sur toute la Dorsale camerounnaise du Mont Cameroun, aux montagnes de l'Ouest, à l'Adamaoua dans le Mbabo et le Nganha. Les andosols, sur roche volcanique, sont légers, riches en eau et doivent leurs propriétés à la présence de minéraux non cristallisés liés à des quantités importantes de matière organique. Ils sont favorables à la culture mais vulnérables à l'érosion.

Les sols bruns eutrophes sont riches en éléments minéraux et végétaux (humus abondant) et bien oxygénés. Ils sont très fertiles et constituent en partie le capital des riches terres de culture de l'Ouest. Ces sols sont intermédiaires entre sols peu évolués et ferrallitiques.

1.3.1.5. Les sols fersiallitiques et ferrugineux, ou ferrugineux tropicaux

Ils ont une couleur très accusée (rouge, ocre ou rouille) et ont subi une hydrolyse des minéraux incomplète. La fraction argileuse prépondérante forme avec les oxydes des complexes stables et saturés dans les sols fersiallitiques relativement fertiles. Les sols ferrugineux montrent une concentration séparée des sesquioxydes. On peut distinguer des sols peu lessivés avec faible entraînement du fer et de l'argile sur piémonts colluviaux, de sols lessivés modaux de couleur ocre sur le socle, rouge sur grès, des sols à concrétions et cuirasses où les sesquioxydes sont sous forme précipitée, des sols érodés et indurés dont les cuirasses affleurent par érosion.

Les sols fersiallitiques se recontrent au nord de la Bénoué (Mayo Kébi) et dans la région de Maroua.

Les sols ferrugineux sont surtout localisés entre la latitude de Garoua et la falaise nord de l'Adamaoua. Sur cette bande de près de 200 km de large, les sols ferrugineux présentent, suivant le cas, des cuirasses en affleurement ou de simples horizons indurés ou à concrétions.

1.3.1.6. Les sols lessivés, planosoliques et solonetziques

Ces sols sont localisés à l'est et au nord des Monts Mandara sur les piémonts colluviaux ou pédiments ou sur les alluvions anciennes de bordure de la dépression tchadienne.

Les sols lessivés ont des horizons sableux épais. Dans les planosols, ces horizons sableux surmontent des argiles compactes épaisses et peu perméables. Enfin, les solonetz, sols halomorphes, contiennent du sodium toxique pour les plantes.

1.3.1.7. Les sols ferrallitiques

Ils couvrent près des deux tiers du pays et sont situés au sud du 8^{e} parallèle. Le croquis pédologique de la planche 3 montre la limite nord de leur extension, aux limites septentrionales de l'Adamaoua.

Ils font suite aux sols ferrugineux et leur pédogenèse comporte une hydrolyse complète des minéraux des roches. Nous reviendrons plus loin sur ces processus.

Les sols les plus répandus sont des sols podzoliques aérés ou orthiques, de texture cendreuse très délavée. Ils sont le plus souvent recouverts de forêts, parfois épais de plusieurs mètres, rouges argileux, très poreux et perméables avec peu d'humus.

Les sols aliatiques sont également très poreux mais se différencient des précédents par une structure grenue très fine. Ils comportent presque toujours un horizon ferrugineux induré continu (carapace friable ou cuirasse dure) ou discontinu (nodules).

L'érosion amène des transformations des sols. Ainsi, lorsque les horizons indurés se rapprochent de la surface, affleurent ou sont détruits, on aboutit à des sols remaniés. Sur les zones de reliefs (raccordements entre surfaces d'érosion), l'épaisseur des sols diminuant, il n'y a pas d'accumulation du fer et les teneurs d'argile baissent ; ces sols sont dits rajeunis et appauvris. Dans les sols pénévolués, une faible évolution relative est entretenue par l'érosion sur pentes fortes. Les sols ferrallitiques humifères peuvent être observés en altitude (provinces de l'Ouest).

Enfin, ces sols peuvent être rouges ou jaunes. Certains ont voulu voir dans le jaunissement progressif des couches supérieures le passage du climat tropical au climat équatorial. Rien n'est moins sûr si l'on en juge par l'existence de sols rouges orthiques modaux jusqu'à la frontière du Gabon. Des sols jaunes topomorphes sont observés à l'ouest jusqu'à 6° de

latitude nord. L'abondance pluviométrique paraît par contre plus déterminante de l'apparition des sols jaunes. Avec les sols ferrugineux, ils constituent les sols riches en sesquioxydes (Fe_2O_3, Al_2O_3).

1.3.1.8. Les sols hydromorphes

Ils jouent un rôle important sur le plan hydrologique et ont une extension non négligeable dans le Nord-Cameroun et certains paysages du Sud-Cameroun.

Leur évolution est dominée par un excès d'eau. Dans les **sols hydromorphes à gley,** cet excès est quasi permanent ; les horizons sont gris et décolorés. Dans la plaine du lac Tchad, la présence d'argiles gonflantes les rend vertiques. Dans le sud, ils deviennent humiques (matière organique abondante). Dans les **sols à pseudogley,** l'excès d'eau est temporaire (saison des pluies). Les horizons sont tachetés de rouille. Les plus communs sont développés sur alluvions. Dans le nord, l'hydromorphie envahit des paysages faiblement ondulés sur socle, au sud de la Bénoué ; des processus secondaires peuvent apparaître (lessivage).

Une mention spéciale doit être faite pour les sols de mangroves, sols à gley évoluant en milieu salin, observés dans l'estuaire du Wouri et celui du Rio del Rey.

1.3.2. Les principaux processus de formation des sols intervenant au Cameroun

Les processus pédogénétiques sont nombreux et variés et parmi ceux qui sont décrits sommairement ci-après, le processus de ferrallitisation est de loin le plus important compte tenu de l'extension de ce type de sols au Cameroun.

Ces processus de l'évolution d'un sol ressortent de trois types d'action :

- décomposition et altération progressive des roches aboutissant à la formation d'un « complexe d'altération » ;
- augmentation de la teneur en matière organique fabriquée par la végétation qui colonise le sol en formation ;
- déplacements des éléments solubles ou colloïdaux sous l'influence des courants d'eau dans le sol (migrations aboutissant à des horizons appauvris ou enrichis).

1.3.2.1. La ferrallitisation

La pluie chaude qui tombe en abondance sur près des deux tiers du pays provoque une hydrolyse des minéraux des roches avec élimination dans les eaux de percolation des bases alcalines et alcalino-terreuses et d'une partie de la silice.

Il s'agit d'une hydrolyse neutre ou alcaline, les eaux d'infiltration étant pauvres en CO_2 et acides organiques solubles ; les silicates complexes subissent une hydrolyse totale libérant non seulement les oxydes de fer mais encore la silice et l'alumine. Les débits de base des cours d'eau évacuent les bases et une partie de la silice. Il en résultera une accumulation relative de produits de synthèse ferrugineux ou alumineux peu solubles.

La ferrallitisation se développe dans des sols très épais sur des roches mères très variées, granites, basaltes, roches sédimentaires.

La nature du contenu minéral des sols est liée à la nature du drainage, c'est-à-dire aux conditions géomorphologiques et climatiques.

Les zones à bon drainage (rebords des surfaces d'érosion, zone de l'Adamaoua, massifs volcaniques de l'ouest) sont favorables à la gibbsite. Les surfaces d'érosion elles-mêmes lorsqu'elles sont peu entamées par les rivières voient un écoulement assez lent et la formation dominante de kaolinite. La formation d'argiles n'est pas spécifique à la ferrallitisation, mais elle en constitue toutefois un aboutissement.

Les sols ferrallitiques peuvent être très épais sur le socle ou des roches volcaniques anciennes (plus de 15 m). Sur les roches volcaniques récentes du quaternaire, ils sont jeunes et peu épais. Ceci semblerait indiquer que le processus est particulièrement lent et a pu s'exercer pendant des périodes géologiques entières.

C'est d'ailleurs bien ce qui a été dit lors de la description des surfaces d'érosion dans laquelle nous soulignions les processus anciens traduisant dès le Mésozoïque l'existence dominante de climats chauds et humides.

Signalons que dans les sols ferrugineux tropicaux, l'hydrolyse est moins complète : il reste toujours assez de silice pour saturer l'alumine libérée.

1.3.2.2. L'induration

C'est un processus qui complète souvent le précédent et porte essentiellement sur les hydroxydes de fer et d'alumine lorsqu'ils sont préalablement concentrés. Les cuirasses qui résultent de l'induration de produits ferro-alumineux peuvent constituer des plateaux dominant le pays environnant lorque l'érosion a été active. Il s'agit toujours de précipitations d'hydroxydes dans les horizons supérieurs des sols consécutives à la remontée saisonnière du niveau phréatique.

1.3.2.3. L'accumulation de la matière organique

Elle se produit diversement sur l'étendue du pays. Normalement, température élevée et pluviométrie favorisent une minéralisation rapide de la matière

organique. Les teneurs sont généralement de l'ordre de 2 à 4 %, souvent moins dans le Nord-Cameroun.

Cependant, en altitude, la baisse de température peut retarder la minéralisation de la matière organique dont l'accumulation peut atteindre 15 à 20 % du sol. Dans les zones marécageuses du Noun et de la Vina, on peut même avoir des accumulations de type « Tourbières » avec 30 à 35 % de matières organiques.

1.3.2.4. Le lessivage

C'est un processus assez répandu et intéressant de nombreux types de sols.

Lorsque le drainage est convenablement assuré et les pluies suffisamment abondantes, l'eau percole librement à travers le sol, entraînant hors du profil bases et silice. On dit que le sol est lixivié ; cela s'applique aux sols ferrallitiques et à un horizon A appauvri correspond alors souvent un horizon B enrichi par accumulation. Mais ce n'est pas toujours le cas, il peut y avoir exportation des argiles : il y a lessivage oblique avec entraînement des fractions fines par ruissellement.

1.3.2.5. L'hydromorphie

Elle peut s'accompagner d'une accumulation de matière organique. Le plus souvent, elle se traduit par la formation de pseudo-gley ou de gley. Le pseudo-gley est un horizon tacheté avec des parties grises, ocres ou rouges. Une succession d'engorgements hydriques puis d'aérations du sol provoque réduction et oxydation avec mise en mouvement et précipitation du fer. Le gley se développe lorsque l'engorgement est total. La phase réductrice est alors la plus longue ; le fer réduit est mis en mouvement et peut être évacué du profil.

L'hydromorphie est répandue notamment au Nord-Cameroun comme on l'a dit. On verra lors de l'étude de cette région que l'engorgement des sols est dû aux argiles vertiques (montmorillonite). Ailleurs, elle se limite aux vallées inondées et à la mangrove littorale.

1.4. La végétation

La végétation constitue avec le relief l'élément le plus déterminant des paysages. La différenciation de deux types de paysages constituera autant une évidence pour une région de forêt par rapport à une région de steppes que pour une région de montagnes par rapport à une région de plaines. C'est aussi avec le relief un des facteurs les plus importants du régime des rivières et des fleuves. Une place particulière sera donc donnée à la phytogéographie et aux associations floristiques lors de l'étude des différents bassins hydrographiques.

Aussi, nous limiterons ce chapitre à une simple énumération des paysages phytogéographiques rencontrés dont l'esquisse donnée dans la planche 4 indique la répartition au Cameroun. L'essentiel des données botaniques sera emprunté à R. Letouzey (1958).

La végétation camerounaise représente un condensé de celle de l'Afrique intertropicale avec forêt dense humide au sud, savanes au centre, steppes au nord et forêts et prairies de montagne.

Cette zonalité est bien entendu en relation étroite avec celle du climat dont les variations en latitude seront étudiées au chapitre suivant.

Précisons encore que les botanistes ont identifié au Cameroun plus de 8 000 espèces appartenant à 1 800 genres de 230 familles de plantes angiospermes.

1.4.1. Les différentes zones phytogéographiques

Elles s'organisent d'une manière générale suivant une zonalité latitudinale et altitudinale traduisant elle-même celle du climat et du régime des précipitations.

1.4.1.1. La forêt de la façade maritime

Elle occupe une bande côtière ayant jusqu'à 200 km de profondeur. Elle comprend d'abord la forêt littorale sur plaine sablonneuse avec localement une forêt de mangrove particulièrement dense et aux futaies élevées. Cette zone est très touchée par l'exploitation forestière mais aussi par les plantations industrielles (palmiers à huile, hévéa) et les cultures vivrières. Cette bande littorale est en continuité floristique avec la forêt atlantique située entre 200 et 800 m d'altitude et dont la caractéristique essentielle est son extrême humidité : c'est la forêt toujours verte (sempervirente) dite biafréenne, hyper-humide au nord-ouest vu l'abondance des pluies. Cette forêt comprend plusieurs nuances qui seront précisées dans les études de détail. Elle est essentiellement caractérisée par de grandes Césalpiniacées plus ou moins grégaires, accompagnées d'arbres et arbustes divers constituant un étage intermédiaire au-dessus du sous-bois de lianes et plantes herbacées.

1.4.1.2. La forêt congolaise

C'est toujours la forêt dense humide mais observée pour des précipitations inférieures à 1 800 mm en milieu plus continental. C'est la forêt caractéristique de la cuvette congolaise comportant en particulier de grandes zones de forêt inondable avec nombre d'espèces caractéristiques de la région. Certaines essences per-

dent leurs feuilles. Cela oppose la forêt congolaise à la forêt atlantique toujours verte ; la comparaison de photos aériennes est particulièrement instructive à cet endroit. On a vers l'ouest le passage à la forêt atlantique par une zone de transition regroupant les caractéristiques des deux régions. La forêt du Dja en constitue un échantillon particulièrement bien protégé.

1.4.1.3. La forêt semi-décidue

Elle est de morphologie moins humide et occupe une bande en latitude *grosso modo* comprise entre 4° et 5° Nord. Des plateaux de l'ouest à Batouri, de Yaoundé aux premiers contreforts de l'Adamaoua cette forêt est en équilibre instable avec les savanes périforestières. Par suite des défrichements, elle a tendance à progresser vers le sud en remplaçant la forêt humide, mais peut aussi progresser vers le nord si l'action de l'homme ne s'y oppose pas.

De fait, la limite nord se manifeste par une imbrication avec les savanes périforestières constituant une mosaïque complexe de peuplements végétaux différents. A l'ouest, on retrouve ce type de forêt au nord du bassin de la Cross-River et dans la région de Wum.

Le caractère semi-caducifolié de cette forêt est un trait dominant avec également les espèces arborescentes caractéristiques que sont les Sterculiacées et les Celtis.

1.4.1.4. Les forêts d'altitude

Elles apparaissent dès 800 m sur la façade atlantique et à partir de 1 200 m plus au nord. L'altitude garantit un volant d'humidité permettant à la forêt toujours verte de se développer. Mais cette forêt, du fait d'influences biotiques, agricoles ou pastorales est très souvent réduite à des lambeaux isolés. Elle se subdivise en deux étages :

- De 800-1 200 m à 1 800-2 000 m, **la forêt submontagnarde** est peu à peu grignotée par les cultures, plantations de caféiers ; elle est souvent très dégradée. Elle a pu aussi être complètement transformée : c'est le paysage domestique agricole du pays bamiléké avec son aspect bocager particulièrement dense.
- De 1 800-2 000 m à 2 800-3 000 m, **la forêt montagnarde** montre quelques affinités alpines. Elle est très fragile et en perpétuel recul : éruptions du Mont Cameroun, extension des pâturages.

1.4.1.5. La prairie afro-subalpine

Elle s'étend au-dessus de 2 800-3 000 m ; autant dire qu'elle ne concerne que le Mont Cameroun et une faible partie du Mont Oku. Elle constitue des pâturages à graminées gazonnantes ou stolonifères avec de nombreuses espèces évoquant des genres tempérés, ce qui lui donne son caractère subalpin.

Cette prairie, qui passe à des zones de pâturage plus denses à moindre altitude et à des zones plus riches en mousses et en lichens plus haut sur le Mont Cameroun, reste d'un intérêt très marginal pour le pays.

1.4.1.6. Les savanes périforestières

Elles font le passage de la forêt à Sterculiacées aux savanes de l'Adamaoua. Elles prennent des aspects différenciés qui font que les botanistes parlent, suivant le cas, de savanes de la zone postforestière congo-guinéenne et de savanes soudano-guinéennes de transition. L'acception du terme soudanien suppose que l'on a déjà des éléments venus du nord dans la flore. On a distingué :

- les savanes herbeuses à Pennisetum pupureum (sissongo) résultant de la destruction des lisières de la forêt ;
- les savanes herbeuses à Imperata d'origine agricole en général ;
- les savanes chétivement arbustives, avec arbustes répartis au milieu d'un tapis de grandes herbes (Hyparrhenia) ;
- les savanes arbustives à Terminalia glancescens avec tapis herbeux d'Andropogonées et flore arbustive plus variée ;
- la forêt semi-décidue est encore présente dans les thalwegs sous forme de forêt galerie ; mais les arbres sont moins grands et certaines espèces disparaissent pour laisser la place à des espèces soudaniennes ;
- les savanes boisées et forêts claires de la Katsina Ala et de la Donga à l'Ouest pouvant être classées dans cette catégorie.

1.4.1.7. Les savanes de l'Adamaoua

Elles sont observées dans l'Adamaoua entre 900 et 1 500 m ainsi que dans le massif de Poli plus au nord.

Ce sont des savanes arborées ou arbustives soudano-guinéennes caractérisées essentiellement par Daniellia oliveri et un tapis graminéen d'Andropogonées, très sensibles à l'action de l'homme (cultures de manioc, élevage). Certains arbustes ou petits arbres sont localement très abondants et créent des faciès particuliers de petits bois serrés dans une savane généralement assez claire. Des vallons forestiers, actuellement intensément défrichés, possèdent encore une flore de type semi-caducifolière.

1.4.1.8. Les savanes boisées et forêts claires sèches soudaniennes

Au nord de l'Adamaoua, ces savanes arborées et forêts claires sèches concernent les bassins du Faro, de la Bénoué, de la Vina Nord et de la Mbéré.

Les forêts claires sèches sont relativement denses comme dans le parc national de la Bénoué, celui du Faro, ou encore celui de la Boubandjida. Ailleurs, elles sont assez bien conservées là où les peuplements humains ne sont pas très importants. Le passage des savanes arborées aux forêts claires est souvent lié à des variations pédologiques et orographiques. Dans la région de Garoua, la savane arborée est très dégradée par suite de son exploitation pour le bois de chauffe.

1.4.1.9. Le secteur soudanien d'altitude

Il concerne les Monts Alantika et les Monts Mandara particulièrement accidentés, rocheux et chaotiques et dont le peuplement extrêmement dense a généralement fait disparaître la végétation originelle pour la remplacer par des arbres « domestiqués ». Sur les plateaux pénéplanés, on rencontre une flore typiquement médio-soudanienne.

1.4.1.10. Le secteur sahelo-soudanien

Il comprend d'abord des **steppes à épineux** dont l'extension vers le sud semble due aux populations cultivatrices et surtout pastorales de la plaine de Maroua. Les épineux sahéliens font leur apparition et colonisent les sols grisâtres (hardès).

Plus au nord, on passe dans le domaine des **prairies périodiquement inondées.** Il s'agit essentiellement du Yaéré, alimenté par les mayos et les débordements du Logone qui a une végétation aquatique en saison des pluies et une végétation de hautes graminées en fin de saison des pluies avec le retrait des eaux.

Sur les rives du lac Tchad, la présence de gommiers (Acacia Senegal) pourrait indiquer que l'on est rentré dans le secteur sahélo-saharien.

1.4.2. L'influence de l'homme sur la végétation

L'influence de l'homme est capitale pour la majeure partie du pays, en particulier dans le centre et le nord. Elle modifie le schéma zonal qui a été décrit et dont les principaux facteurs étaient latitude (climat) et altitude, les facteurs édaphiques ne jouant qu'un rôle secondaire souvent très ponctuel. L'homme est en effet responsable de la modification, sinon du bouleversement complet des paysages végétaux. Cette influence humaine s'exerce de manière variable d'un endroit à l'autre. La fragilité et la fertilité limitée de la plupart des sols obligent à renouveler très fréquemment les terrains utilisés pour les cultures annuelles. Les arbres, écorcés à la base, meurent sur pied et sont brûlés de manière à dégager « un champ » pour le maïs, les haricots ou l'arachide. De nombreux arbres sont coupés pour la construction de cases, le bois de chauffe, ou bien l'exportation. Des zones plus vastes peuvent être défrichées pour des cultures arborées ou arbustives pérennes (palmiers à huile, cacaoyers, caféiers, etc.). Lorsque la brèche faite dans la forêt n'est pas trop importante ni le dégât fait au sol irrémédiable, la forêt peut réoccuper les zones qu'elle a momentanément perdues. Mais si la pression de la population est forte et les dégradations répétées, la forêt recule de manière constante (environs de Yaoundé par exemple).

En zone de savane, le mode de dégradation de la végétation est également souvent le défrichement à la hache. Mais ici, le feu, propagé par les herbes, est un agent autrement actif. Un très grand nombre d'arbres ne résistent pas au passage du feu, sont détruits et éliminés. Un petit nombre, par suite de caractéristiques biologiques particulières comme une écorce épaisse, la reproduction par drageons, réussissent à supporter ces mauvais traitements et à subsister malgré tout. Ils sont alors peu élevés, et présentent un port contourné caractéristique. Propagé rapidement à travers la savane, le feu ronge, année après année, la forêt qui recule lentement par ses lisières. Ce processus est particulièrement net dans le centre Cameroun où la forêt est morcelée, tronçonnée et ne subsiste que sous forme d'îlots en avant de la masse principale de la forêt dense ou bien dans les galeries plus humides le long des cours d'eau, peu favorables à la propagation du feu. La nécessité de renouveler les pâturages, de remplacer les herbes sèches indigestes par des repousses plus tendres, les besoins de la chasse, sont des motifs sans cesse renouvelés de rallumer les feux.

Cependant, si l'homme détruit, ou maltraite les formations végétales, il lui arrive aussi, mais rarement, de les protéger et d'en reconstituer. C'est le cas du pays Bamiléké où un nouveau paysage végétal a été fabriqué de toutes pièces, par des plantations de haies vives, de raphiales, etc.

Toutes ces modifications apportées à la végétation font qu'elle se présente assez peu souvent sous une forme climacique, c'est-à-dire en équilibre avec les facteurs environnants, mais sans les modifications apportées par l'homme. Les seules formations véritablement primaires sont à rechercher en zone forestière, loin des villages et des routes. La forêt dense ombrophile est remplacée le plus souvent par des forêts secondaires avec des essences à croissance rapide et des graminées à grandes feuilles.

Lorsque la saison sèche est suffisamment longue, la forêt, même secondaire, ne se reconstitue pas ; on passe alors à un type de savane. La composition floristique change suivant le climat et le sol, mais conserve un aspect constant sur des surfaces immenses : mélange de graminées assez hautes avec des arbres séparés plus ou moins nombreux. Cette savane n'est jamais une formation primaire. Elle remplace des

peuplements forestiers (forêts denses mésophiles ou tropophiles) qui, soumis depuis longtemps à la hache et au feu, ont disparu d'une manière qui paraît irréversible. En fait, si la pression exercée par l'homme se relâche, si on empêche, par des moyens appropriés, la savane de brûler, celle-ci est rapidement réoccupée par des espèces forestières. C'est du moins ce que semble montrer l'expérience de Foumbam où un espace protégé depuis plusieurs années, à la suite d'une action du Service des Eaux et Forêts, est envahi peu à peu par des arbustes et arbres, alors qu'aux environs il n'y a pas un seul arbre.

On est donc en droit de penser que les formations primaires ont subi depuis de nombreux siècles, des dégradations par la hache et le feu, destinées à ouvrir des terrains de culture pour les hommes, des pâturages pour les animaux. Ce que nous voyons à l'heure actuelle est une végétation modifiée, entretenue artificiellement. Si l'action de l'homme vient à disparaître, des peuplements forestiers reprennent la place qu'ils ont perdue, des arbustes colonisent plus nombreux la savane.

La pression démographique croissante dans les pays exclut bien entendu de telles occurences en dehors des zones protégées, et l'influence de l'homme sera de plus en plus grande. On doit cependant espérer que ses actions seront réfléchies et que les modifications du milieu ne signifient pas appauvrissement ou destruction de l'environnement.

2. CLIMATS DU CAMEROUN

On a souligné le rôle fondamental joué par le climat dans la pédogenèse et le couvert végétal du Cameroun. Le climat constitue un facteur dominant de la mise en place des paysages mais aussi le facteur dominant des Régimes Hydrologiques. Du lac Tchad aux abords de l'Équateur, la variation en latitude est de 11° ; cela permet d'observer pratiquement toute la gamme des climats intertropicaux ; la proximité de l'Océan et des reliefs importants ajoutent à cette zonalité des nuances maritimes ou montagnardes.

La zone intertropicale constitue une entité assez caractéristique sur le plan de la circulation atmosphérique et des « masses d'air » en présence. L'étude des paramètres climatiques, et en particulier l'étude des précipitations, suivra une description sommaire des mécanismes du climat.

2.1. Les mécanismes du climat

La zone intertropicale est caractérisée par une région équatoriale de basses pressions relatives encadrée par deux ceintures anticycloniques subtropicales nord et sud isolant pratiquement le monde intertropical des régions tempérées.

Ces hautes pressions subtropicales situées vers les 30^{e} parallèles, divisant le globe en deux surfaces égales, ont été assimilées à des barrières qui restent toutefois discontinues puisqu'elles sont constituées de chapelets de cellules anticycloniques. Celles-ci occupent de préférence la partie est des océans. Chaque cellule anticyclonique se présente comme une vaste ellipse dont le grand axe a de 2 500 à 4 000 km de longueur et est orienté WSW-ENE dans l'hémisphère Nord, WNW-ESE dans l'hémisphère Sud. En surface, les pressions les plus fortes sont observées sur le front polaire de la cellule, alors qu'en altitude elles se décalent au contraire vers l'Équateur.

Entre ces deux zones de hautes pressions s'établit un grand flux Est soufflant vers la zone de basses pressions. Ce grand flux d'Est est l'homologue pour les basses latitudes du flux d'Ouest des Westerlies des moyennes latitudes ; il peut même prendre l'allure d'un courant-jet (ou jet-stream) en altitude.

Il est matérialisé par les alizés. Les alizés des deux hémisphères convergent les uns vers les autres dans la région équatoriale déterminant la zone de convergence intertropicale ou ZCIT.

Cette ZCIT subit un déplacement annuel en direction de l'hémisphère concerné par la saison d'été. Elle est aussi le siège de phénomène d'ascendance plus ou moins généralisés. L'air, qui s'élève dans la troposphère, retourne vers les deux hémisphères et contribue à alimenter les anticyclones subtropicaux. De chaque côté de la ZCIT, il y a donc formation de deux cellules tournant dans un plan méridien, appelées cellules de Hadley.

En zone intertropicale, l'évolution du cycle (évaporation-condensation-précipitation) est liée à la circulation des cellules de Hadley.

Dans les zones anticycloniques subtropicales, le bilan énergétique solaire est très élevé d'une part du fait de l'incidence des rayons du soleil, d'autre part, du fait de la limpidité de l'air sec. Ceci entraîne une très forte évaporation, qui explique qu'à ces zones anticycloniques correspondent sur le continent régions arides et déserts. Les masses d'air provenant des alizés continentaux seront donc très sèches.

Lorsque les alizés survolent les océans, ils entraînent vers la ZCIT une grande quantité de vapeur d'eau et, sous forme de chaleur latente restituée au moment de la condensation, une part importante de l'énergie solaire advectée dans les zones anticycloniques subtropicales.

Cet alizé chargé d'humidité prend le nom de mousson lorsqu'il franchit l'Équateur et que sa direction passe au sud-ouest par suite de la force de Coriolis.

La convergence des deux masses d'air sèche et humide, entre Harmattan (alizés du N-E) et Mousson (alizés du S-W), détermine ici une zone de contact étroite qu'on a pu légitimement appeler Front. C'est le Front Intertropical ou FIT.

Sur l'Afrique en été, la zone des basses pressions intertropicales migre en surface sur la partie sud du Sahara où l'échauffement du sol crée une relative dépression dans les basses couches ; mais les hautes pressions réapparaissent en altitude du fait de la permanence des phénomènes de subsidence de l'air. La dépression de surface attire le flux de mousson qui s'enfonce en coin sous l'air subsident.

De fait, les mécanismes climatiques, de la zone intertropicale sont beaucoup plus complexes ; dans le détail, les météorologues ont mis en évidence l'importance des faits dynamiques et plus particulièrement cinématiques, des transferts énergétiques et des courants-jets d'est (Jet tropical d'est à 14, 15 000 m et Jet Africain d'Est à 5 000 m) (Maley, 1981).

Pour désuètes que paraissent les notions de masses d'air et de front à propos du climat du Cameroun, elles n'en expliquent pas moins les variations climatiques spatiales et saisonnières observées dans le pays suivant le schéma simple proposé par M. Genieux (1958) et que nous rappelons ci-après.

Le climat du Cameroun se trouve sous la dépendance étroite de deux centres d'actions :

- Au sud, l'anticyclone de Sainte-Hélène débordant largement au nord de l'Équateur pendant l'été boréal génère les alizés du sud-est détournés en flux de mousson du sud-ouest dans l'hémisphère Nord.
- Au nord, couvrant le Sahara et faisant suite à l'anticyclone des Açores, une cellule anticyclonique pendant l'hiver boréal génère les alizés du nord-est constituant l'Harmattan. Elle devient zone de basses pressions en été et est appelée dépression thermique saharienne (cf. plus haut).

Ces deux centres d'actions aboutissent à la convergence de deux masses d'air complètement différentes :
- l'air continental stable et très sec, au nord ;
- l'air maritime instable et humide, au sud.

La limite de ces deux masses d'air s'appelle, on l'a dit, le Front Intertropical, FIT. La surface frontale est très inclinée vers le sud, de sorte que la mousson – dont l'épaisseur maxima dépasse rarement 3 000 m – s'avance en coin sous l'Harmattan. Aux niveaux supérieurs, un courant d'est surmonte Mousson et Harmattan.

Le FIT se déplace au cours de l'année, restant sensiblement dirigé le long des parallèles. Il suit, avec une amplitude différente et environ un mois de retard, le mouvement en déclinaison du soleil. Ses positions extrêmes sont, en moyenne, le vingtième parallèle Nord en juillet (la dépression saharienne, très creuse, et l'anticyclone austral envahissant le golfe de Guinée agissent dans le même sens) et le quatrième parallèle Nord en janvier (l'anticyclone saharien, bien marqué, dirige un flux fort et régulier d'Harmattan, alors que la Mousson est faible, parfois inexistante, l'anticyclone austral s'étant retiré vers le Sud).

Dans son oscillation saisonnière, le FIT entraîne quatre zones de temps. Ce sont, du nord au sud :
- la zone A : immédiatement au nord du FIT. Zone de l'Harmattan. Le ciel est clair, ou peu nuageux par rares cirrus aux niveaux supérieurs ;
- la zone B : immédiatement au sud du FIT (400 kilomètres de largeur environ). Ciel peu nuageux, par cumulus peu développés en général ;
- la zone C : plus au sud (1 200 kilomètres de largeur). Ciel ouvert ou très nuageux par gros cumulus ou cumulo-nimbus. Orages, grains, lignes de grains ;
- la zone D : encore plus au sud. Nuages stratiformes. Pas ou très peu de précipitations.

C'est le déplacement en latitude de ces quatre zones qui détermine les saisons ; les zones A (ou B), C et D correspondant respectivement, lorsqu'elles intéressent une région déterminée, à la grande saison sèche, à la saison des pluies et à la petite saison sèche.

Au nord de la position septentrionale extrême atteinte par la limite sud de la zone C (5° 30 N), l'année comprend une saison sèche et une saison des pluies (climat tropical) ; au sud, l'année comprend deux saisons des pluies et deux saisons sèches (climat équatorial).

La figure 1.3 donne pour janvier (hiver) et juillet (été) les positions des différents Centres d'action en Afrique d'une part, et l'extension des différentes zones de temps citées plus haut, d'autre part.

Les différentes zones de temps ont été indiquées dans les coupes schématiques de l'atmosphère données figure 1.4a et 1.4b. La première donne une image de la troposphère au maximum de la remontée nord du FIT. La seconde, simplifiée, situe les masses d'air et les différentes zones de temps en janvier, avril, juillet et octobre par rapport au Cameroun.

2.2. Les différentes unités climatiques

Elles ont été individualisées en fonction du régime des précipitations – accessoirement du régime thermique – et de la succession des saisons.

Nous venons de mettre en évidence les mécanismes qui expliquent que le Cameroun soit soumis à deux régimes climatiques principaux :

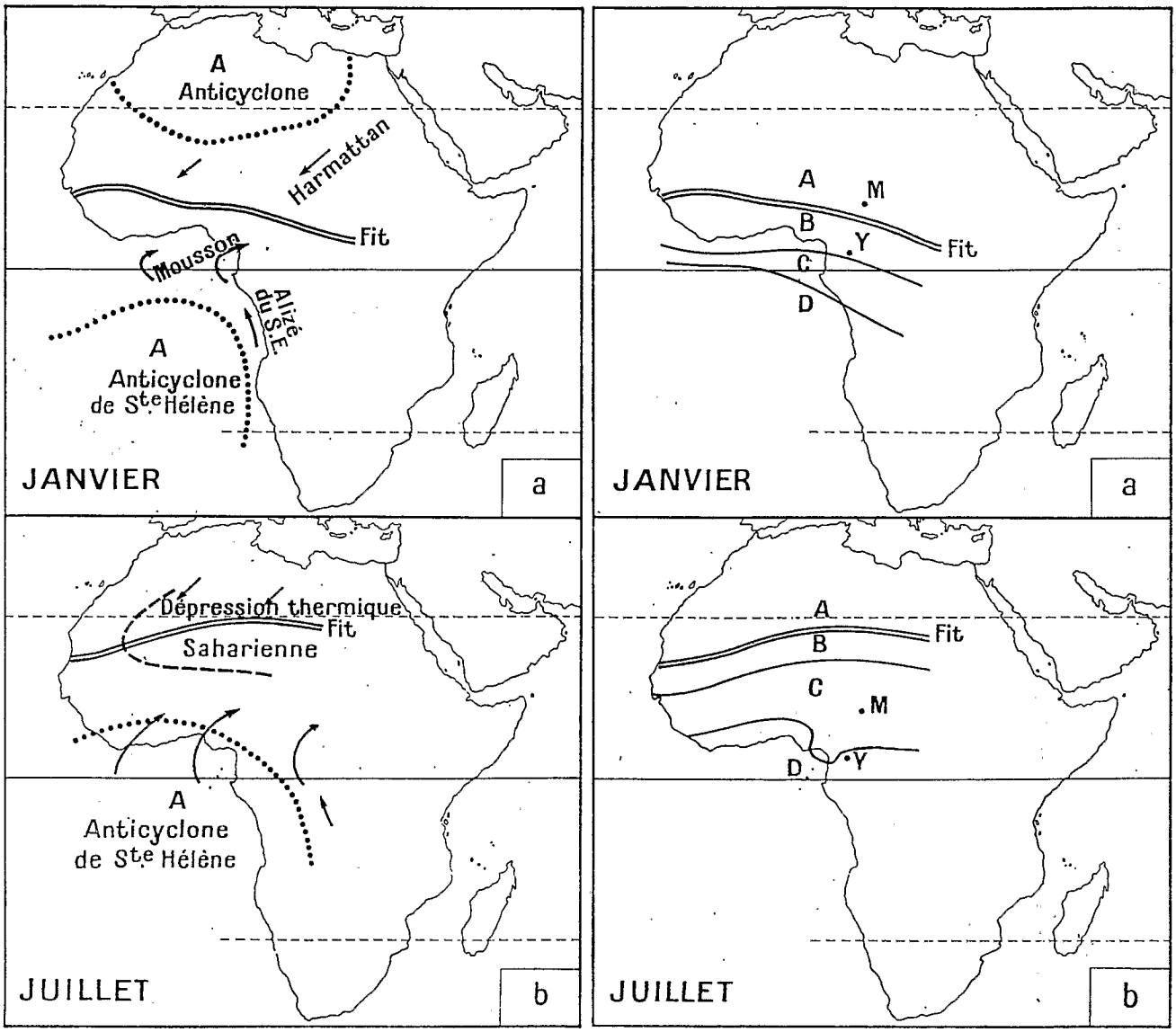


Fig. 1.3 (d'après Genieux)

- le climat tropical à deux saisons au nord d'une ligne Bertoua-Bafia ;
- le climat équatorial à quatre saisons au sud de cette même ligne.

A ces deux grands types, correspondent des variétés régionales liées à la façade maritime et à l'altitude.

Le schéma de la figure 1.5 indique huit zones différentes de climats :

- Zone 1 : Climat équatorial à quatre saisons bien marquées couvrant tout le sud du pays, de Yaoundé à Yokadouma, d'Ebolowa à Ambam, Moloundou et Ouesso.
- Zone 2 : Climat équatorial type côtier sud à quatre saisons mais beaucoup plus humide par suite de précipitations très abondantes.
- Zone 3 : Climat équatorial type côtier nord à deux saisons seulement ; l'appellation « équatorial » a été conservée surtout pour traduire l'abondance des précipitations, mais il n'y a pas de petite saison sèche. En juillet et août, la région reste couverte par la zone de temps C (mousson) qui s'élargit en latitude (fig. 1.4b) sur la région de Douala et du Mont Cameroun. R. Frecaut préfère classer cette zone sous l'appellation de « climat tropical fortement humide de type côtier ».

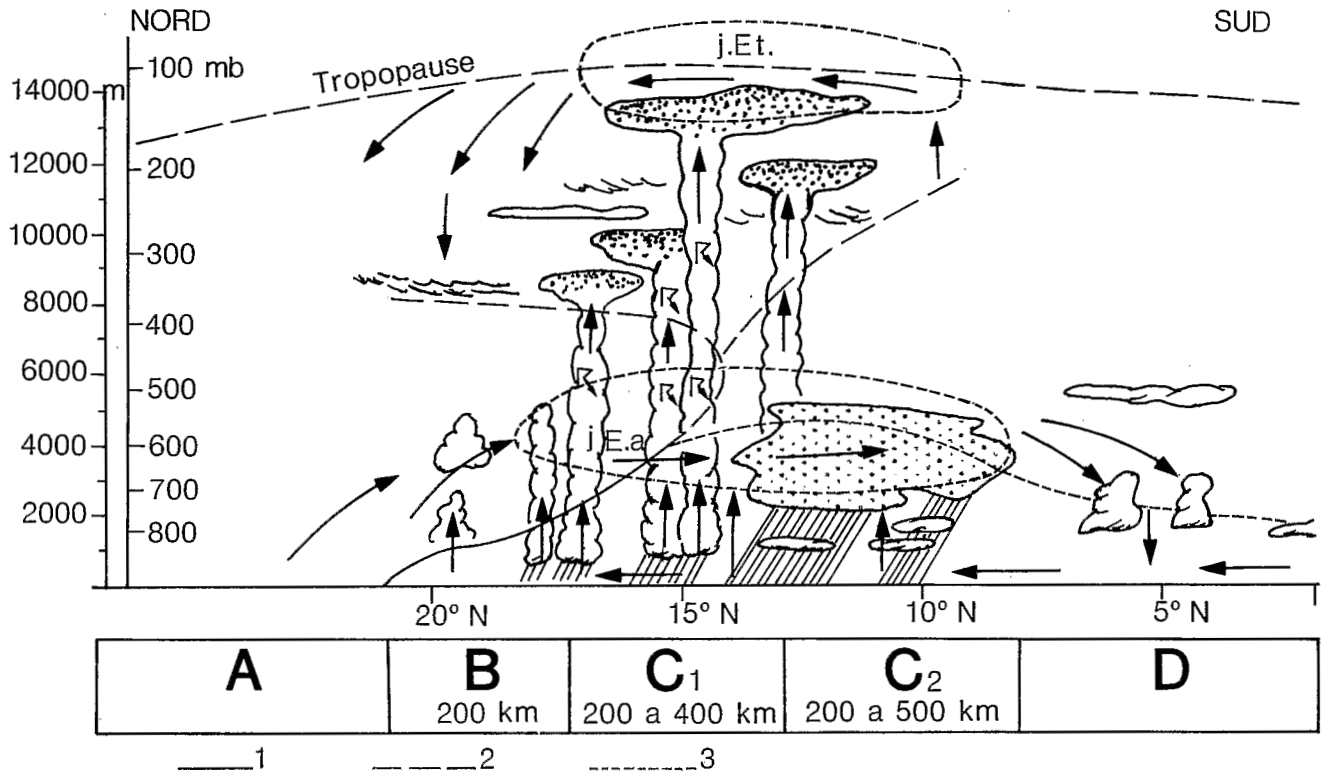


Figure 1.4a. – Coupe schématique nord-sud en août de la troposphère au-dessus de l'Afrique vers le méridien origine. 1. Front Intertropical (FIT). 2. Limite inférieure de l'air équatorial d'altitude. 3. Limite supérieure de la mousson. J.Ea, Jet Africain d'Est. J.Et, Jet Tropical d'Est. Les **principales zones de temps : A,** *zone sans pluie.* **B,** *zone avec des orages isolés.* **C1,** *zone où dominent les lignes de grains.* **C2,** *zone où dominent les « pluies de mousson ».* **D,** *zone avec des pluies réduites. Les flèches schématisent les flux et en particulier les mouvements de convection ou de subsidence (d'après Dettwiller, 1965 ; Flohn, 1965 ; Leroux, 1970 ; Burpee, 1972 et Dhonneur, 1974 ; cités par Maley, 1981).*

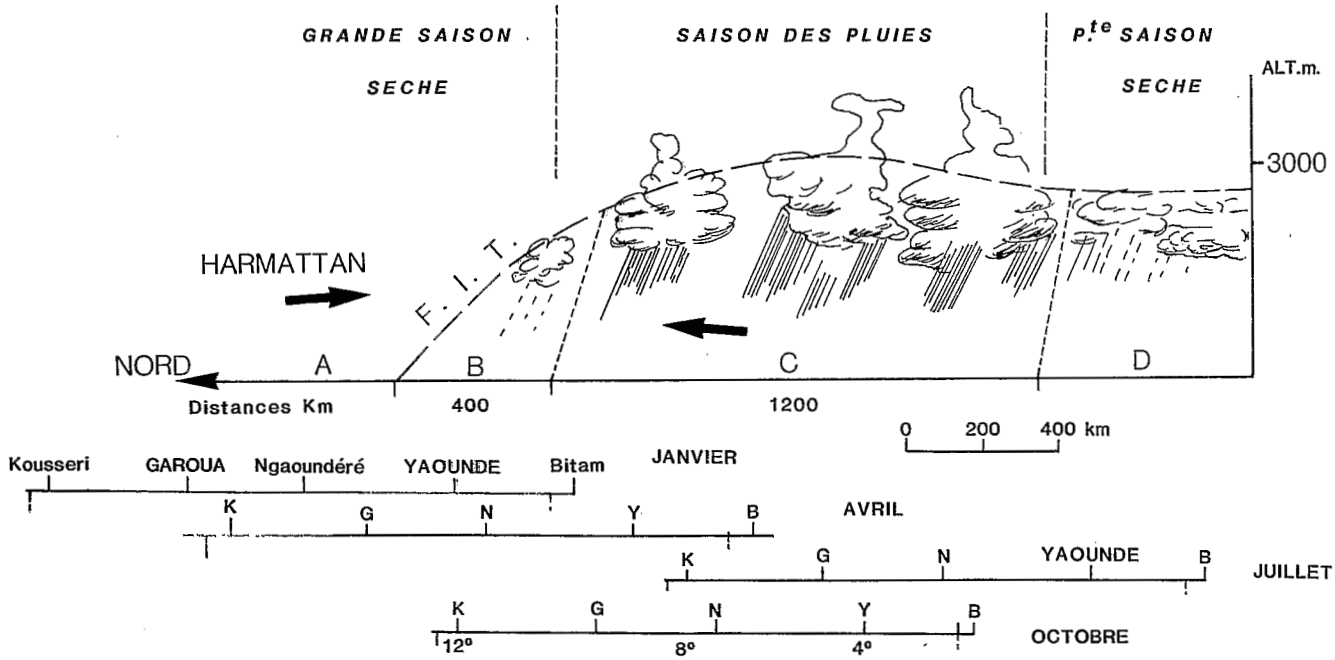


Fig. 1.4b. – Schéma simplifié des zones de temps pour différentes saisons au Cameroun.

- Zone 4 : Climat équatorial et tropical de transition observé de Bafia à Bertoua, Batouri et de Yoko à Bétaré Oya, Garoua Boulaï. La remontée jusqu'à 5° 30' de la zone de temps D peu pluvieuse, sans montrer de véritable petite saison sèche, donne toutefois une chute de pluviosité en juillet-août ou au moins un palier dans l'augmentation des précipitations.
- Zone 5 : Climat tropical de montagne de l'Ouest à deux saisons. De Dschang à Foumban, et de Bamenda à Nkambe, cette zone concerne les montagnes des provinces de l'ouest. Elle est caractérisée par des températures nettement plus basses que dans le reste du pays et par une influence océanique se traduisant par d'importantes précipitations. C'est un régime tropical très humide (saison sèche de 3 mois).
- Zone 6 : Climat tropical d'altitude de l'Adamaoua à deux saisons couvrant l'ensemble du plateau de l'Adamaoua de Banyo à Ngaoundéré et Meiganga. Il est caractérisé par son régime thermique (altitude moyenne de 1 000 m) et des précipitations encore assez abondantes. C'est un régime tropical humide avec une saison sèche d'au moins 4 mois.
- Zone 7 : Climat tropical du bassin de la Bénoué, marqué par une hauteur annuelle de précipitations supérieure à 900 mm et une saison sèche de 6 mois. Les températures moyennes paraissent d'autant plus élevées que la transition avec l'Adamaoua au sud est brutale.
- Zone 8 : Climat tropical sec du Nord-Cameroun. Il concerne toute la zone nord du pays, de Kaélé à Maroua et Mora, et de Yagoua à Kousseri, Makary et le lac Tchad. Les précipitations annuelles varient de 900 à 400 mm ; la saison sèche est de 7 mois. La tendance sahélienne s'affirme dès la latitude de Mora.

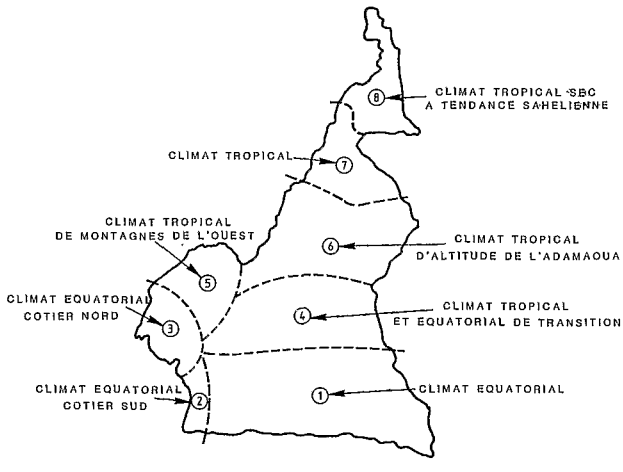


Fig. 1.5. – Les régions climatiques au Cameroun.

Ce schéma zonal (inspiré de Genieux, op. cit.) a l'avantage de correspondre, sur le plan de la répartition saisonnière des précipitations et de leur importance, aux nuances qui nous permettront d'identifier les différents régimes hydrologiques du Cameroun.

D'autres climatologues ont distingué quatre régions climatiques principales :

A. – Climat équatorial de type guinéen à quatre saisons dont 2 mois « moins humides », de Kribi à Banyo et de Garoua-Boulaï à Ouesso. Les précipitations y varient de 1 500 à 2 000 mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25° et l'amplitude moyenne annuelle de 2° 4.

B. – Climat équatorial de type camerounien avec mousson équatoriale (2 saisons et 0 à 3 mois « moins humides »), localisé sur la côte et les régions montagneuses de l'ouest de l'embouchure du Nyong à Nkambe. Les précipitations abondantes varient de 2 000 à 10 000 mm (Mont Cameroun). Dans le sous-type côtier, la température moyenne annuelle est de 26°, l'amplitude annuelle de 2° 8. Dans le sous-type d'altitude, la température moyenne annuelle tombe à 21° et l'amplitude à 2° 2.

C. – Climat soudanien ou tropical humide avec deux saisons et 3 à 6 mois secs. Ce climat intéresse le Nord-Cameroun, de l'Adamaoua aux Monts Mandara. Les précipitations annuelles varient de 1 500 à 900 mm. La température moyenne annuelle est de 28° et l'amplitude moyenne annuelle de 6° 4.

D. – Climat soudano-sahélien avec 7 mois et plus de sécheresse. Son extension correspond à la zone 8 précédemment citée dans l'extrême nord du pays. Les précipitations annuelles varient de 900 à 400 mm. La température moyenne annuelle atteint 28° et l'amplitude 7° 7.

Cette classification ne rend pas vraiment compte, à notre sens, des particularités camerounaises dues à l'orographie ou à l'exposition et ne traduit pas en particulier la limite nette sur le plan géographique et orographique que constitue la falaise septentrionale de l'Adamaoua.

J.B. Suchel (1972), sur la base d'une étude spatiale détaillée des précipitations, a mis en évidence de nombreuses nuances climatiques à l'intérieur des zones précédemment décrites.

La description des climats fera l'objet d'une approche plus précise dans l'analyse des facteurs conditionnels des régimes hydrologiques de chaque unité hydrographique.

Dans ce qui suit, nous nous proposons de faire un examen global des variations spatiales des différents paramètres climatiques.

2.3. Les précipitations

La plus ou moins grande abondance des précipitations et leur répartition saisonnière constituent les facteurs déterminants des différentes unités climatiques.

La grande variabilité spatiale du facteur « Précipitations » explique que du sud au nord du pays, on passe de la grande forêt équatoriale aux steppes sahéliennes.

La quantité de précipitations annuelles varie en particulier considérablement suivant la région. Qu'on en juge : il peut tomber au pied du Mont Cameroun (Debundscha) en un mois plus de pluie qu'il n'en tombe en un an à Yaoundé et en un jour davantage qu'en un an à Kousseri.

A la base des informations qui seront proposées dans cet ouvrage et en particulier dans l'étude spécifique des différents bassins hydrographiques, on disposait du recueil de données pluviométriques établi par le Service hydrologique de l'ORSTOM [1]. (Précipitations journalières de l'origine des stations à 1972-1978) partiellement mis à jour par nos soins pour les besoins de cette étude.

De son côté, J.B. Suchel (1972) a publié une étude sur la répartition des pluies et les régimes pluviométriques du Cameroun. Bien que l'information ait été depuis complétée et homogénéisée, les aspects descriptifs de ces travaux restent pour l'essentiel d'actualité et nous y ferons de larges emprunts.

La carte de la figure 1.6 situe les principaux postes exploités, les numéros faisant référence à ceux des stations reportées dans les tableaux qui seront donnés plus loin.

2.3.1. Les précipitations annuelles

La répartition spatiale des hauteurs annuelles de précipitation a été indiquée dans la carte de la planche 5. Celle-ci montre de manière particulièrement nette les énormes contrastes régionaux que nous évoquions plus haut :

- 10 000 mm sur le golfe de Guinée au pied du Mont Cameroun [2],
- moins de 400 mm au bord du lac Tchad, soit 25 fois moins.

Si tout le littoral du Cameroun est très arrosé (plus de 2,7 m à Campo, 4,3 m à Douala, plus de 5 m vers la frontière du Nigéria), l'obstacle orographique vigoureux du Mont Cameroun, en s'opposant, tel un butoir, à la progression de la mousson, provoque les précipitations les plus abondantes que l'on connaisse en Afrique. Les records de précipitations sont comparables aux records mondiaux de Tcherapundji, des Iles Hawaï et de la Réunion.

Immédiatement en retrait de la côte, la pluviométrie diminue mais reste encore abondante jusqu'au rebord du plateau du Centre-Sud, dans les bassins de Douala, de Ndian et de Mamfe jusqu'aux contreforts montagneux de la Dorsale Camerounaise. Il y a même dans ces reliefs l'occasion d'une recrudescence des pluies suivant l'exposition au vent dominant de la mousson (W-SW). Des effets d'abri sont localement à l'origine de plus faibles précipitations.

Cette bande littorale, la Dorsale Camerounaise et ses versants ouest sont marqués par ce que J.B. Suchel a appelé « l'incidence paroxysmale » de la mousson.

L'influence littorale s'atténue rapidement à l'intérieur du pays, mais l'interférence des phénomènes de migration saisonnière des masses d'air en latitude, avec la direction moyenne du flux de mousson et la localisation des reliefs, conduit à un schéma complexe. Ainsi, à l'est du méridien 11° E et au sud du parallèle 6° N une vaste zone du pays reçoit des précipitations annuelles moyennes comprises entre 1 400 et 1 700 mm sans que le dessin des isohyètes n'apporte une réelle compréhension des variations. La pluviométrie est peu différenciée de la frontière du Congo jusqu'à l'Adamaoua. Certaines vallées paraissent touchées par des zones de moindre pluviométrie. La moyenne Sanaga de Bafia à Batschenga est particulièrement peu arrosée pour la région (moins de 1 400 mm à Nachtigal).

En attaquant le rebord de l'Adamaoua, un regain de précipitations est observé en particulier sur les reliefs les plus marqués.

Au nord de l'Adamaoua, à l'exception de la vallée du Mayo Kébi et des petits massifs montagneux, la zonalité latitudinale reprend ses droits et les courbes isohyètes sont *grosso modo* orientées est-ouest. Mais le fait marquant tient à une baisse rapide des précipitations en allant vers le nord : près de 600 mm de différence entre Ngaoundéré et Garoua, soit 200 km seulement. Cette discontinuité se localise sur le rebord septentrional de l'Adamaoua qui constitue une réelle limite climatique. La courbe 1 000 mm passe au sud de Garoua ; la courbe 800 mm passe légèrement au nord de Maroua ; la courbe 500 mm est observée à Kousseri, et la limite nord des eaux camerounaises du lac Tchad est sous l'isohyète 350 mm. Ce schéma zonal est encore affecté à l'ouest (frontière du Nigéria) par des reliefs (Monts Mandara).

Quoique le phénomène soit général à l'Afrique Centrale, on soulignera que la bande isohyètes 600-400 mm des latitudes de l'extrême-nord du Cameroun passe progressivement en Afrique de l'Ouest aux mêmes latitudes à la bande isohyètes 1 200-1 000 mm.

La diversité du régime des précipitations apparaît aussi dans le nombre de jours de pluie observé en moyenne dans l'année. Les valeurs extrêmes corres-

(1) Notamment par Jacques Callede.

(2) J'ai relevé pour 1969 plus de 14 m de pluie sur un poste totalisateur ORSTOM proche de Debundscha.

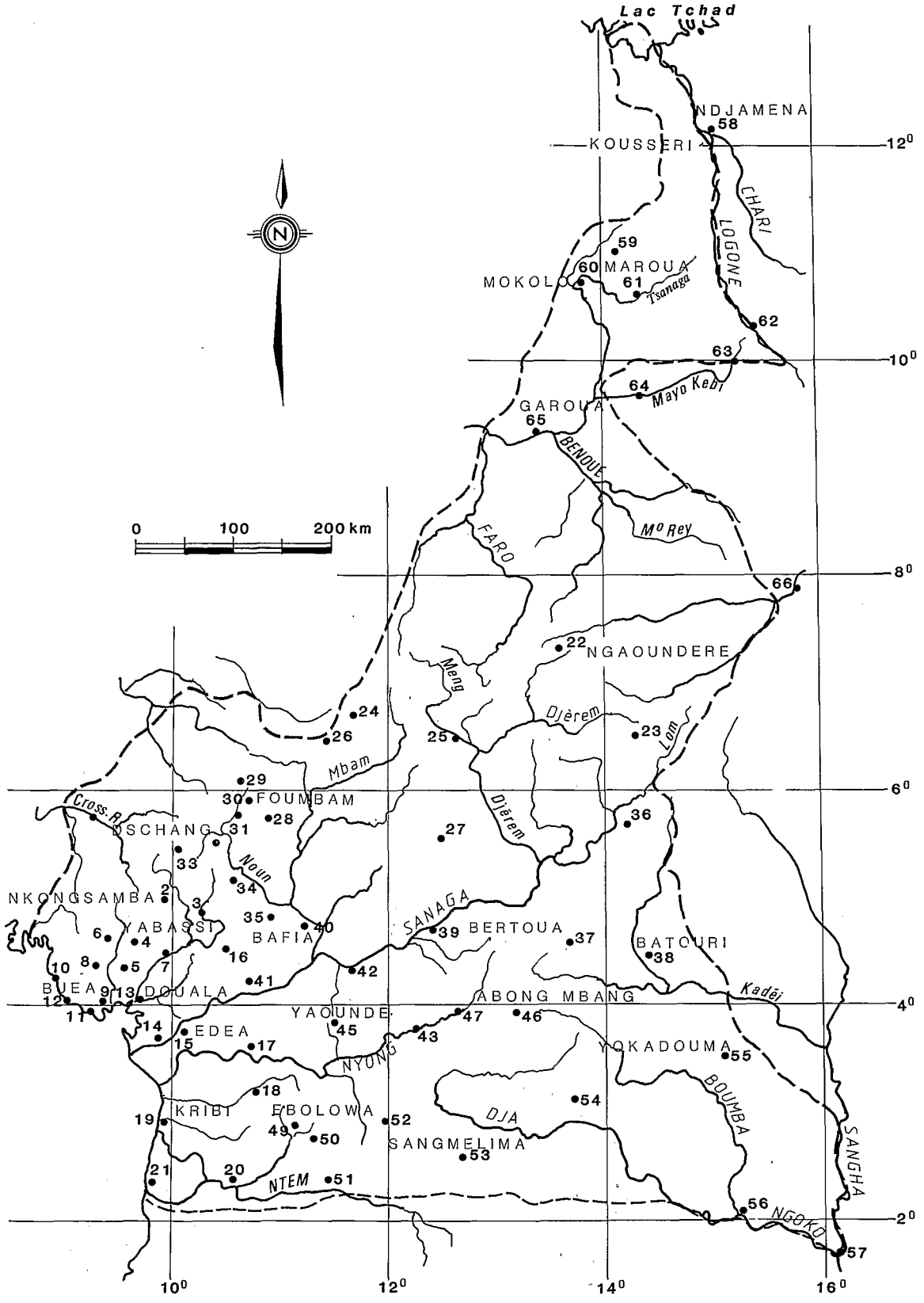


Figure 1.6. – Carte de situation des postes pluviométriques du Cameroun.

pondent à celles des hauteurs annuelles de précipitation : pied du Mont Cameroun et bords du lac Tchad. On passe de 260 à moins de 30 jours de pluie par an. On a plus de 200 jours de pluie par an sur la bande littorale de Douala, Kribi, Campo, dans la province du Sud-Ouest et une bonne partie de celle du Nord-Ouest.

A l'ouest du méridien 11°, il y a pratiquement toujours plus de 160 jours de pluie par an. Une bonne partie de l'Adamaoua compte en moyenne plus de 150 jours de pluie par an.

Dans la vaste région du Centre-Sud, du Congo à l'Adamaoua, de la Centrafrique aux régions ouest du pays citées plus haut, on observe entre 120 et 150 jours de pluie par an.

Au nord de l'Adamaoua, les jours de pluie se font rapidement plus rares : 80 à Garoua, 60 à Maroua, moins de 30 au bord du lac Tchad.

L'éloignement de l'océan Atlantique semble jouer davantage sur la baisse du nombre moyen annuel de jours de pluies que sur celle de la pluviométrie ; c'est particulièrement net à l'est du pays sur le bassin de la Sangha.

Les analyses statistiques et fréquentielles des hauteurs de précipitations annuelles seront étudiées plus loin pour chaque unité hydrographique.

2.3.2. Les variations saisonnières des précipitations

Les variations saisonnières des précipitations constituent sans conteste un des facteurs les plus déterminants des régimes hydrologiques dont nous nous proposons l'étude. Elles ont permis de délimiter les différentes régions climatiques et les hauteurs mensuelles de précipitations sont généralement un bon indice des zones de temps pouvant intéresser les diverses régions du Cameroun telles qu'elles ont été définies précédemment (cf. 2.1).

Les précipitations moyennes mensuelles feront l'objet d'une analyse détaillée, en particulier statistique, dans l'étude du milieu physique région par région.

Quelques exemples d'histogrammes sont proposés dans la planche 6 ; ces histogrammes mettent en évidence les principaux aspects des régimes pluviométriques déjà évoqués. On notera en particulier :

- le caractère équatorial des régions sud avec une petite saison sèche centrée sur juillet ;
- le passage d'une saison des pluies pratiquement de 12 mois à Douala et réduite à 6 mois à Kousseri ;
- le paroxysme de la mousson sur les mois de juin-juillet ou septembre-octobre sur la bande côtière donnant un dessin aigu à l'histogramme ;
- au contraire à l'intérieur du pays, les histogrammes sont trapus et les hauteurs mensuelles de précipitations varient peu au plus fort de la saison des pluies.

On soulignera également les contrastes régionaux relevés dans cette carte au niveau du littoral et des provinces de l'Ouest. Sur le littoral atlantique, on a une différence saisissante entre les histogrammes de Douala et de Kribi, stations distantes de 120 km seulement ; le maximum pluviométrique de l'année à Douala (plus de 700 mm pour juillet et août) correspond au minimum de la petite saison sèche équatoriale à Kribi (juillet à peine supérieur aux mois de décembre et janvier).

Dans l'Ouest, les histogrammes de Bafoussam et de Bamenda, villes distantes de 65 km, sont bien différenciés ; le premier présente l'allure d'une « forteresse » trapue alors que le second figure une « citadelle » élancée. Dans les deux cas, le paroxysme de la mousson est responsable de ces contrastes : Douala est situé au fond du golfe de Guinée ; Bamenda est sur le versant ouest de la Dorsale camerounaise mieux exposé aux effets de la mousson.

Les variations mensuelles des précipitations moyennes ont été représentées dans la planche 7 sous une forme quelque peu différente. Les stations ayant été placées en latitude sur un axe *grosso modo* nord-sud, leurs valeurs mensuelles – non indiquées dans la figure pour ne pas surcharger le dessin [1] – ont permis de tracer les courbes d'égale pluviométrie.

La figure ne vaut, bien entendu, que pour l'axe des stations indiquées et, dans l'ensemble, pour l'intérieur du pays en dehors du domaine littoral et montagneux de l'Ouest.

La zonalité latitudinale y apparaît de manière évidente suivant le schéma défini précédemment (cf. 2.1 en particulier figure 1.4b). On a d'ailleurs indiqué les différentes zones de types de temps observables aux différentes périodes pour différentes latitudes en reprenant la terminologie d'usage des zones A, B, C et D.

L'examen de cette figure montre que :

- du nord au sud la saison des pluies devient plus longue ;
- au sud du parallèle 5°, apparaissent des mois de moindre pluviométrie au sein de ce qui était plus au nord une seule grande saison des pluies ; on tend progressivement vers l'observation d'une réelle petite saison sèche typique du climat équatorial.

On notera aussi que :

- dans l'Adamaoua, la figure montre un « ventre » des courbes indiquant des précipitations mensuelles supérieures à 200 mm pour cinq mois, ce qui ramène à l'influence de l'orographie sur la pluviométrie ;
- les mois les plus arrosés sont août et septembre dans le nord du pays ; ils se décalent en allant vers le sud en septembre et octobre et même novembre.

(1) Ces données figurent dans les tableaux climatologiques des chapitres ultérieurs.

L'appréciation du nombre de mois secs – un mois sec étant simplement défini par Gaussen par la relation $P < 2\ t°$ – se fait directement par la lecture de la courbe isohyète 60 mm sur la figure. Cette valeur est valable dans le nord du pays ; elle tombe à 40 mm en altitude et vers 50 mm dans le sud du Cameroun. C'est cette dernière valeur qu'a retenue J.B. Suchel (1972).

Au bord du lac Tchad, il y a 9 mois secs ; il y en a 8 entre Kousseri et Mora ; la zone Maroua-Bongor Kaele-Guider en comporte encore 7 ; la vallée de la Bénoué et Garoua n'ont plus que six mois secs ; on passe à 5 mois secs pour la région de Poli et l'Adamaoua, puis 4 mois pour la bande Banyo, Tibati, Meiganga ; la majeure partie du bassin de la Sanaga ne comprend que 3 mois secs. Le sud du pays et l'ouest ont de 1 à 2 mois secs, la bande littorale n'en comprenant aucun. On notera que la bande frontière centrée sur Ambam au sud d'Ebolowa comprend 1 mois sec (et même parfois 2) pendant la petite saison sèche. Dans ce même ordre d'idée, la petite saison sèche présente en moyenne au moins un mois de précipitations inférieures à 100 mm dans le trapèze Kribi-Bafia-Batouri-Ouesso.

A l'opposé, l'étude des précipitations mensuelles montre à travers le décompte des mois de forte pluviométrie quelques caractéristiques régionales assez nettes. Si on considère les mois recevant plus de 200 mm de pluie, on note que :

- La dorsale des montagnes de l'Ouest et son versant occidental, le bassin de Douala et la côte jusqu'à Kribi, comptent plus de 7 mois de précipitations supérieures à 200 mm, avec jusqu'à 12 mois au pied du Mont Cameroun à Débundscha.
- L'ensemble du centre-sud-est du Cameroun, à l'est d'une ligne Bafia-Djoum et au sud du parallèle 5°, ne compte plus que 2 mois de précipitations supérieures à 200 mm.
- Les précipitations dépassent 200 mm pendant 2 mois également sur le bassin de la Bénoué et plus au nord jusqu'à Mokolo et Maroua. A l'extrême-nord du pays (Makari), aucun mois ne dépasse 200 mm.
- La région post-littorale (Ebolowa, Eséka), les zones orientales de la Dorsale camerounaise et l'Adamaoua comptent de 3 à 6 mois de précipitations dépassant 200 mm.

Le même type d'analyse fait pour des mois recevant plus de 350 mm de pluie conduit à définir les régions touchées par le « paroxysme pluvial » de Suchel, c'est-à-dire par la mousson de sud-ouest. Celles-ci se limitent aux régions littorales et montagneuses de l'Ouest. A l'est d'une ligne Banyo, Kumbo, Dschang, Bangangté, Makak, Nyabessan (et sauf exceptions sur massifs montagneux tel le Nkogam) il n'y a aucun mois de pluies supérieures à 350 mm. A Débundscha, on compte jusqu'à 10 mois de précipitations supérieures à 350 mm.

Ceci nous ramène à l'« empire de la mousson » dont le cœur se situe côté maritime du Mont Cameroun. Les histogrammes de trois stations de la façade maritime, Isongo, Idenau et Débundscha montrent cette hyperabondance des précipitations avec par exemple 7 mois de pluviométrie supérieure à 600 mm. Le contraste avec le versant « au vent » du Mont Cameroun est saisissant ; la station de Meanja n'a pas de valeur mensuelle supérieure à 400 mm. La figure 1.7 illustre ces contrastes et le paroxysme de la mousson ; on a en outre fait figurer pour les histogrammes de la façade maritime l'interprétation de ce qu'ils pourraient devenir s'ils étaient observés en altitude à 2 500 m, limite de la forêt, à 3 000 m et à 4 000 m ; les hauteurs de précipitations annuelles correspondent alors aux moyennes relevées par l'ORSTOM (1) sur les postes totalisateurs du Mont Cameroun ; la saison des pluies se réduirait au sommet à 5 mois. Compte tenu du fait que la masse d'air humide s'enfonce en biseau aigu sous la masse d'air sec, la trace au sol du FIT la plus méridionale (janvier) peut rester au nord du Mont Cameroun, celui-ci se retrouvera en altitude dans le domaine de l'Harmattan en dehors de l'influence de la mousson.

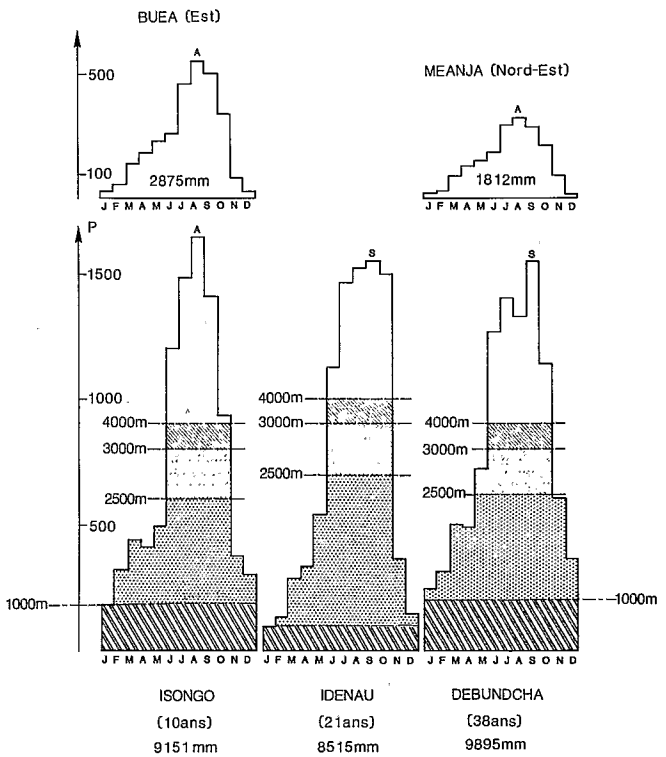


Fig. 1.7. – Histogrammes moyens de la région du Mont Cameroun et leur extrapolation en altitude (d'après Fontes, Olivry, 1976a).

(1) Campagnes de relevés annuelles ; voir travaux de Lefevre (1967), Olivry (1974e), Fontes et Olivry (1976a) et documents inédits Olivry.

Celle-ci n'intéresse le sommet que lorsqu'elle est devenue suffisamment puissante, épaisse, c'est-à-dire lorsque les précipitations sur la côte sont les plus abondantes. On a un raccourci en altitude des variations climatiques que nous avons longuement décrites en latitude.

2.3.3. Types de pluies et hauteurs de précipitations journalières

2.3.3.1. Types de pluies

Deux types de pluies principaux sont observés au Cameroun :
- les pluies de mousson *sensu lato,*
- les pluies de perturbations.

Les premières ont été appelées par Suchel « **pluies de turbulence géographique** ». Elles résultent directement des turbulences et ascendances dues aux inégalités du relief ou simplement de la rugosité de la surface de la terre (forêt par exemple) sur le flux océanique. Les masses d'air saturées en humidité réagissent à la moindre turbulence déclenchant les processus de condensation et de précipitation. Les pluies orographiques dont nous avons vu l'importance et les contrastes entre versants exposés et abrités rentrent dans cette catégorie. Les pluies de mousson sont généralement abondantes et de longue durée. Les intensités sont souvent très soutenues pendant plusieurs heures et parfois comparables à celles de pluie d'orage. Il ne s'agit pas des pluies océaniques des zones tempérées. Ces pluies couvrent de très vastes étendues. Elles peuvent être observées jusqu'à l'Adamaoua. Leur direction générale se situe dans le quadrant S-W.

Secondairement, on peut ranger dans cette catégorie, compte tenu des régions concernées, les **pluies de convection thermique** en soulignant le caractère localisé de ces pluies et le rôle important des reliefs ; il y a formation ponctuelle d'énormes cumulo-nimbus et précipitation. Le phénomène peut être simultané en plusieurs points de la région. On observe ces pluies généralement aux périodes charnières pour lesquelles la mousson n'a pas ou plus toute sa puissance. Elles sont limitées aux régions soumises aux masses d'air équatoriale et tropicale maritime.

Les pluies de perturbation les plus courantes en Afrique tropicale proviennent de systèmes orageux organisés en « **lignes de grains** » ; ce sont celles que l'on observe généralement en dehors des zones océaniques et de leurs régions montagneuses exposées.

Ces précipitations sont caractérisées par une activité orageuse intense et une forte agitation atmosphérique. De violentes rafales de vent d'est précèdent la pluie qui s'abat brutalement ; l'intensité maximale de la précipitation se situe au début de l'averse dans la majoritée des cas. L'intensité ira diminuant et, après le corps principal de l'averse souvent bref (généralement inférieur à 1 heure), on observera une traîne de pluies de très faible intensité pendant plusieurs heures.

Les « lignes de grains » se déplacent d'est en ouest ou de nord-est en sud-ouest à environ 40 km/h alors que la circulation des masses d'air en surface est de sud-ouest en nord-est. Elles peuvent atteindre de 300 à 1 000 km de longueur ; des lignes de grains successives peuvent être ainsi identifiées par photo satellite.

A l'approche d'un grain, l'observateur terrestre voit l'horizon s'obscurcir et des nuages épais envahir le ciel très rapidement peu avant d'être pris par l'orage tel qu'on l'a décrit plus haut. C'est ce que le langage courant nomme « tornade » en Afrique intertropicale. Lorsque ces perturbations surviennent au nord du FIT, il n'y a pas de pluie mais des « grains de poussière » ou des « tornades sèches » qui annoncent tout de même l'arrivée imminente des premières pluies.

Dans la moitié sud du Cameroun, les « tornades » s'observent le plus souvent juste avant et après la grande saison des pluies avant de céder la place aux flux de mousson. Dans la moitié nord, les tornades constituent le type de précipitations le plus habituel de la saison des pluies.

L'étude du rapport nombre moyen annuel de jours d'orage sur nombre moyens annuel de jours de pluie nous a montré que celui-ci est supérieur à 1 à l'est d'une ligne passant *grosso modo* par Bamenda et Sangmélima [1]. Il augmente rapidement vers l'est et le nord, montrant l'incidence croissante des événements orageux sur les précipitations.

2.3.3.2. Analyse fréquentielle des précipitations journalières

Le pas de temps journalier constitue la base des chroniques pluviométriques disponibles. Les hauteurs de précipitations journalières ont peu d'incidence sur l'écoulement des rivières et des fleuves étudiés dans cet ouvrage ; pour cette raison, cet aspect du régime des précipitations ne sera que rapidement évoqué dans l'étude du milieu climatique des différents bassins hydrographiques. Mais par ailleurs, l'averse reçue en 24 heures est un paramètre déterminant dans l'étude et le calcul de crues sur petits bassins. L'intérêt hydrologique d'une synthèse globale sur le Cameroun des travaux que nous avons réalisés sur les précipitations journalières, en particulier leur étude fréquentielle, est évident. Le résumé de ces travaux complète

(1) Ce rapport est de 1,5 à Maroua, 1,25 à Ngaoundéré, 1,35 à Yokadouma, 1 à Yaoundé, 0,8 à Douala et 0,7 à Kribi.

donc ici l'information générale donnée sur les précipitations.

Cette étude a été faite à partir des relevés journaliers de 66 stations pluviométriques. Parmi celles-ci, on compte 5 stations tchadiennes (Baïbokoum, Fianga, Lere, Bongor, Ndjamena) qui complètent dans le Nord Cameroun une information particulièrement limitée, 1 station congolaise (Ouesso) qui précise l'aspect du régime des précipitations dans le sud-est du pays. La carte de la figure 1.6 indique la situation des différentes stations ; les numéros se rapportent à ceux indiqués dans les tableaux présentant les résultats.

Une analyse critique des données journalières conduit à éliminer de l'échantillon des stations les années d'observation pour lesquelles certaines données de base sont douteuses à l'échelle de la mesure journalière, soit qu'il y ait eu cumul de plusieurs pluies de jours consécutifs, soit que l'on note des lacunes dans les observations. De ce fait, l'échantillon étudié ici est souvent nettement plus court que l'échantillon considéré dans l'étude des précipitations mensuelles ou annuelles.

Par ailleurs, les périodes d'observation sont extrêmement variables d'une station à l'autre ; la signification des résultats obtenus sera d'autant plus grande que la période d'observation portera sur une plus longue durée. Décomptées en fonction de la taille de l'échantillon, les stations se répartissent comme suit :
- 13 stations ont plus de 30 années d'observations,
- 20 stations ont de 20 à 30 années d'observations,
- 23 stations ont de 10 à 20 années d'observations,
- 10 stations ont moins de 10 années d'observations.

L'information obtenue à partir d'échantillons portant sur plus de 30 années d'observations a été considérée comme bonne. Cela suppose qu'un complément de mesures n'apporterait dans l'analyse statistique que des variations relativement minimes. L'analyse des échantillons courts, portant sur moins de 10 années d'observation, aboutit évidemment à des résultats beaucoup moins fiables, ces échantillons pouvant ne pas être représentatifs du régime général des précipitations de la région considérée. Il a cependant paru intéressant d'en donner les résultats qui, à quelques exceptions près, s'inscrivent dans un contexte cohérent.

L'étude fréquentielle des hauteurs de précipitations journalières a consisté, après classement des averses journalières, à rechercher pour chaque station l'ajustement d'une loi de distribution du type Pearson III tronquée. Lorsque nous avons pu disposer de facilités de calcul, les résultats de l'analyse fréquentielle ont été comparés à ceux obtenus par l'ajustement d'une loi de Goodrich (1). Cette comparaison ne montre de distorsion sensible qu'au niveau des valeurs centennales. Par souci d'homogénéité entre les résultats (Y. Brunet-Moret 1968, 1975), nous avons donc retenu la loi Gamma incomplète de Pearson III tronquée dont la fonction de répartition s'écrit :

$$F_1(x) = F_1(o)\frac{1}{\Gamma\gamma}\int_x^{\infty}\left(\frac{x}{s}\right)^{\gamma-1}e^{-x/s}\,\frac{dx}{s}$$

où $F_1(x)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable soit supérieure ou égale à x.

$F_1(o)$ est la probabilité pour que la valeur de la variable ne soit pas nulle, paramètre de tronquage.

γ paramètre de forme, positif, sans dimensions.

s paramètre d'échelle, positif, s'exprimant dans la même unité que x, ici comme la précipitation en mm.

$\Gamma\gamma$ est la fonction gamma complète (Eulerienne de seconde espèce).

L'ensemble des précipitations journalières est pris en compte, ce qui signifie que l'étude traite n valeurs x_i $n_{xi} = N \times M$, N étant le nombre d'années d'observations et M le nombre moyen annuel de jours de pluies. $F_1(o)$ est en théorie égal à $\frac{M}{365{,}25}$, rapport du nombre moyen de jours de pluie par an au nombre de jours de l'année, mais on préfère calculer $F_1(o)$ avec M' nombre moyen théorique de jours de pluie dans l'année obtenu par la méthode des moments (ce qui exclut l'imprécision du nombre de jours de pluie inférieure à 0,1 mm non comptabilisés).

Les résultats de l'analyse statistique des précipitations journalières sont présentés dans les tableaux 1.1. à 1.4.

On a indiqué :
- le n° de la station (carte de situation),
- le nom de la station,
- ses coordonnées, latitude et longitude,
- son altitude,
- le nombre d'années d'observation,
- la hauteur en mm des pluies journalières dont la période de retour est 1 fois par an, 1 fois tous les 2 ans, 1 fois tous les 5, 10, 20, 50 et 100 ans,
- la hauteur annuelle de précipitations moyenne, observée sur la période considérée.

Ces tableaux regroupent autant que possible les stations de régions homogènes :

a) Les régions océaniques directement soumises à la mousson, avec vents dominants de Sud-Ouest, recevant plus de 2 000 mm de précipitations annuelles (à l'exception de Nyabessan sous le vent d'un massif montagneux).

b) Les régions montagneuses de l'Ouest et de l'Adamaoua constituant la Dorsale camerounaise volcanique et dont l'altitude entraîne des modifications spécifiques du climat tropical de transition.

(1) Celle-ci a notamment été utilisée pour des échantillons de faible effectif pour lesquels la loi de Pearson III est théoriquement moins bien adaptée.

Tableau 1.1. – Régions océaniques.

Stations	Latitude N	Longitude E	Altitude en m	N années observ. utilisées	Averses journalières de périodes de retour							Pluvio-métrie annuelle
					1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
1. Mamfé	5°45	9°19	126	11	105.3	120.5	140.6	155.9	171.2	191.5	206.9	3 178
2. Nkongsamba	4°57	9°56	806	34	82.3	93.7	108.9	120.4	131.9	147.2	158.7	2 727
3. Nkondjok	4°52	10°15	200	11	94.6	107.7	125.0	138.2	151.4	168.8	182.0	2 925
4. Loum	4°42	9°43	242	10	130.9	150.4	176.2	195.7	215.3	241.3	260.9	3 316
5. Mbanga	4°30	9°34	115	8	96.1	110.8	130.3	145.0	159.8	179.5	194.3	2 190
6. Kumba	4°38	9°27	236	6	90.0	130.8	122.2	136.2	150.3	169.0	183.2	2 461
7. Yabassi	4°32	11°15	30	17	100.9	115.9	135.7	150.8	166.0	186.0	201.3	2 919
8. Ekona	4°13	9°20	380	6	90.8	104.5	122.9	136.9	151.0	169.7	184	2 284
9. Tiko	4°05	9°21	46	9	138.2	161.3	192.3	216	240	271.8	296	3 148
10. Idenau	4°12	8°59	10	6	278.9	322.3	380.5	424.9	469.6	529.1	574.4	8 222
11. Bota	4°01	9°12	10	6	189.3	222.2	266.5	300.5	334.9	380.8	415.7	4 212
12. Debundscha	4°00	8°59	18	3	283.9	324.1	377.6	418.2	459.0	513.1	554.2	9 998
13. Douala	4°03	9°43	18	38	154.5	179.8	219.7	239.7	265.9	300.9	327.5	4 108
14. Dizangue	3°45	10°00	50	13	107.6	122.8	142.8	157.9	173.0	193.0	208.1	3 036
15. Edéa	3°48	10°08	32	37	98.8	114.0	134.3	149.7	165.2	185.8	204	2 625
16. Yingui	4°32	10°18	200	12	71.8	81.0	93.1	102.0	111.0	123.0	132.0	2 167
17. Eséka	3°38	10°44	423	33	83.6	96.0	114.4	137.9	141.4	159.4	173.0	2 208
18. Lolodorf	3°14	10°44	440	9	73.9	85.0	100.0	111.0	122.3	137.3	148.7	2 135
19. Kribi	2°56	9°54	13	33	123.3	144.0	171.6	192.8	214.2	242.6	264.3	2 947
20. Nyabessan	2°24	10°24	407	10	60.8	69.0	79.9	88.0	96.1	116.8	114.9	1 675
21. Campo	2°22	9°50	25	15	125.6	147.6	177.2	199.9	222.9	253.5	276.9	2 804

Tableau 1.2. – Régions montagneuses de l'ouest et de l'Adamaoua.

Stations	Latitude N	Longitude E	Altitude en m	N années observ. utilisées	Averses journalières de périodes de retour							Pluvio-métrie annuelle
					1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
22. Ngaoundere	7°19	13°35	1138	28	61.9	71.4	83.9	93.5	103.0	116.0	125.0	1 658
23. Meiganga	6°32	14°17	1027	23	68.4	79.1	93.3	104.0	115.0	130.0	141.0	1 773
24. Banyo	6°45	11°49	1110	21	66.9	76.9	76.9	101.0	111.0	124.0	135.0	1 877
25. Tibati	6°28	12°37	874	14	71.3	82.6	97.8	109.0	121.0	136.0	148.0	1 718
26. Mayo Darle	6°28	11°34	1200	13	62.8	71.1	82.1	90.4	98.7	110.0	118.0	1 975
27. Yoko	5°32	15°06	640	25	67.0	77.3	90.8	101.0	112.0	125.0	136.0	1 597
28. Foumban	5°44	10°54	1237	16	63.2	71.6	82.7	91.1	99.5	111.0	119.0	1 889
29. Koundèn	5°42	10°40	1290	17	70.2	79.7	92.3	102.0	111.0	124.0	133.0	2 103
30. Koundja	5°38	10°44	1217	20	66.4	75.4	87.4	96.4	105.0	117.0	126.0	2 066
31. Foumbot	5°31	10°37	1100	22	54.3	61.5	71.0	78.1	85.3	94.7	102.0	1 721
32. Bafoussam	5°28	10°25	1460	24	58.3	66.2	76.7	84.6	92.5	103.0	111.0	1 806
33. Dschang	5°27	10°04	1399	20	58.5	66.6	77.3	85.5	93.6	104.4	112.5	1 906
34. Bangangte	5°08	10°31	1340	18	57.5	65.3	75.6	83.4	91.1	101.0	109.0	1 441
35. Ndikinimeki	4°46	10°50	830	19	64.4	73.6	85.6	94.7	104.0	116.0	125.0	1 502

c) Les régions du Centre Sud et de l'Est à régimes climatiques équatorial ou tropical de transition.

d) Les régions situées au nord de l'Adamaoua à climat tropical.

Des cartes (planches 8, 9 et 10) proposent une esquisse des courbes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité, 1 fois par an, 1 fois en 10 ans, 1 fois en 100 ans. C'est donc **la carte des averses journalières de fréquence décennale qui sera utilisée pour déterminer le paramètre « Précipitation » dans la région où l'utilisateur veut estimer le débit de crue décennal de bassins donnés.**

2.3.3.3. Commentaires sur les résultats

Outre les réserves qui ont été faites sur la taille de l'échantillon, il convient de préciser que l'ajustement d'une loi de Pearson III tronquée a une signification limitée à des récurrences moyennement exceptionnelle (averse décennale, vicennale, peut-être cinquantennale). L'averse centennale qui a été déduite de l'analyse doit être considérée avec réserve : rien ne prouve que les averses exceptionnelles (dont les effectifs sont très faibles dans les échantillons étudiés) suivent le même type de loi que l'ensemble des autres

Tableau 1.3. – Régions du centre sud et de l'est.

Stations	Latitude N	Longitude E	Altitude en m	N années observ. utilisées	Averses journalières de périodes de retour							Pluviométrie annuelle
					1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
36. Betare	5°36	14°05	805	26	64.3	74.5	88.0	98.3	108.6	122.4	132.8	1 546
37. Bertoua	4°35	13°41	668	27	72.7	84.2	99.4	111.0	122.6	138.0	149.7	1 625
38. Batouri	4°26	14°22	660	34	70.6	81.7	96.4	107.6	118.8	133.6	144.9	1 572
39. Nanga Eboko	4°39	12°22	624	27	72.2	83.5	98.1	110.0	122.0	137.0	148.9	1 501
40. Bafia	4°44	11°14	501	21	64.9	747	87.6	97.4	107.0	120.0	130.0	1 492
41. Ngambe	4°14	10°37	650	19	82.5	93.7	108.0	120.0	131.0	146.0	157.0	3 028
42. Batchenga	4°18	11°39	522	15	73.2	83.0	95.6	105.1	114.7	127.2	136.9	2 071
43. Akonolinga	3°46	10°15	671	17	69.7	80.6	95.1	106.1	117.2	131.8	143.0	1 647
44. Makak	3°33	11°02	600	20	62.6	78.9	92.5	102.9	113.3	127.2	137.6	1 829
45. Yaoundé	3°51	11°30	760	34	68.5	79.3	93.8	104.7	115.8	130.4	141.5	1 611
46. Abong Mbang	3°58	13°12	694	30	75.5	87.4	103.4	115.5	127.7	143.9	156.2	1 694
47. Ayos	3°54	12°31	693	4	66.0	76.1	89.6	99.8	110.1	123.6	133.9	1 441
48. Mbalmayo	3°31	11°30	641	15	72.3	82.3	96.7	107.6	118.6	133.2	144.2	1 615
49. Ebolowa	2°55	11°09	609	34	71.6	82.5	97.0	108.0	119.1	133.7	144.8	1 799
50. Nkoemvon	2°49	11°08	540	10	77.7	89.3	104.6	116.3	127.9	143.4	155.1	1 893
51. Ambam	2°23	11°16	602	17	71.3	82.2	96.7	107.7	118.8	133.5	144.7	1 755
52. Sangmelima	2°56	11°59	713	27	73.0	84.6	100.0	111.7	123.5	139.1	150.9	1 722
53. Djoum	2°40	12°41	684	9	75.2	87.2	103.2	115.5	127.9	144.4	157.1	1 641
54. Lomié	3°10	13°37	640	25	78.4	91.1	108.1	121.0	134.0	151.3	164.4	1 742
55. Yokadouma	3°31	15°06	640	27	75.8	88.1	104.9	117.7	130.5	147.8	160.9	1 670
56. Moloundou	2°03	15°13	500	13	70.0	81.0	95.6	106.6	117.7	132.4	143.5	1 425
57. Ouesso	1°52	16°02	490	31	85.2	99.8	119.3	134.2	149.2	169.1	184.2	1 666

Tableau 1.4. – Régions du nord.

Stations	Latitude N	Longitude E	Altitude en m	N années observ. utilisées	Averses journalières de périodes de retour							Pluviométrie annuelle
					1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
58. Ndjamena	12°08	15°02	295	33	58.6	70.5	86.6	98.9	111.2	127.0	139.0	638
59. Guetale	10°53	13°54	490	23	57.0	65.0	78.0	87.0	96.0	110.0	118.0	838
60. Mokolo	10°44	13°49	795	27	60.0	70.0	84.0	93.0	103.0	116.0	126.0	970
61. Maroua	10°36	14°19	428	39	65.0	76.0	91.0	105.0	117.0	130.0	146.0	805
62. Bongor	10°17	15°22	328	25	63.0	73.8	88.2	99.0	109.9	125.0	137.0	900
63. Fianga	9°55	15°09	358	14	67.5	79.7	95.8	108.1	120.4	137.0	149.0	937
64. Lere	9°39	14°13	265	18	60.2	70.5	84.2	94.5	104.8	118.0	128.0	852
65. Garoua	9°18	13°23	213	33	69.0	83.0	103.0	117.0	131.0	150.0	166.0	34
66. Baïbokoum	7°44	15°41	520	22	87.0	99.0	116.0	128.0	140.0	156.0	168.0	358

précipitations. A averses exceptionnelles, conditions exceptionnelles dans le mécanisme des précipitations, conditions mal connues et qui dépassent le cadre régional des caractéristiques climatiques. Pour ces très faibles récurrences, il est impossible de préciser si l'averse correspondante sera plus forte ou plus faible que celle déterminée par Pearson III (Rodier ; Y. Brunet-Moret).

La distribution spatiale des averses journalières de récurrences données montre :

- de très fortes précipitations sur une mince bande littorale, diminuant très rapidement vers l'intérieur. Les maximums sont observés au pied du Mont Cameroun frappé de plein fouet par la mousson (averse annuelle de 280 mm et décennale de 420 mm) (1) ;
- une diminution générale vers l'est des hauteurs d'averses jusqu'au plateau du centre-sud et sur le bassin de la Sanaga (longitude de Yaoundé), avec valeurs voisines sur une grande partie du centre du

(1) Cf. Lefèvre (1967, 1968a), Fontes, Olivry (1976, 1977), Olivry (1974e).

pays. Mais on retrouve plus à l'est de plus fortes valeurs en particulier aux limites du pays, de Ouesso à Baïbokoum, qui pourraient traduire l'incidence de la continentalité de ces régions, marquée par des tornades plus puissantes ;
- une diminution de l'importance des averses vers le nord, mais dont le schéma est très affecté par les effets de l'orographie et de la continentalité ;
- des valeurs particulièrement faibles dans les zones d'altitude, montagnes de l'Ouest, plateau Bamiléké, Adamaoua et aussi dans les Monts Mandara (Mokolo).

Ces variations spatiales ne s'identifient que *grosso modo* à celles des hauteurs de précipitation interannuelle. Ceci explique sans doute qu'il n'y ait pas de relation vraiment significatives entre l'averse journalière de récurrence donnée et la précipitation interannuelle, notamment dans la gamme des 1 000 à 2 000 mm qui intéresse la majeure partie du pays. Par contre, pour les régions côtières où les précipitations varient considérablement, ce type de relation peut être recherché.

Depuis que ces résultats – repris ici – ont été publiés (1978), une autre approche de la détermination des averses journalières de fréquence rare a été faite par J. Comet-Barthe (1980). Celle-ci aboutit à des valeurs systématiquement inférieures à celles que nous donnons. La méthode consiste à définir des lois régionales de distribution des valeurs réduites $p = \frac{x}{\bar{x}}$ des différentes stations de la région pour lesquelles le coefficient de variation $C_V = \frac{s}{\bar{x}}$ est pratiquement identique, $\bar{x}$ étant la moyenne pour chaque station des pluies journalières maximales annuelles observées. Deux lois régionales seulement ont été retenues (ajustement d'une loi de Gumbel) d'où l'on tire des valeurs réduites P communes à toutes les stations calculées pour diverses fréquences données. Celles-ci sont ensuite utilisées pour calculer l'averse correspondante $x = \bar{x}p$.

Notre première critique tiendra dans la simplification excessive de ne considérer que deux régions pour le Cameroun : région nord de l'Adamaoua et le reste du pays au sud. Les valeurs réduites n'ont un sens « régional » que dans la mesure où les coefficients de variation sont peu différents d'une station à l'autre. Ceci n'est pas le cas pour les régions considérées et la géographie du Cameroun explicite généralement les écarts observés sur les coefficients de variation de stations voisines.

Par ailleurs la détermination de la moyenne $\bar{x}$ n'a pas la même signification si elle est obtenue pour 15 ou 40 valeurs. Enfin, en ne prenant que la hauteur maximale de pluie journalière pour chaque année, on est amené à ignorer d'éventuelles averses exceptionnelles, moins importantes que le maximum observé pour la même année, mais supérieures aux maximums d'autres années. Le poids des fortes averses averses est alors minimisé, ce qui explique les résultats plus faibles obtenus.

On considère généralement que la hauteur d'une précipitation journalière est une variable indépendante (notamment des averses reçues les jours précédents), ce qui justifie de faire une analyse statistique des averses journalières sur l'ensemble de l'échantillon d'années complètes disponibles d'une station. On retiendra donc l'étude statistique basée sur l'ajustement d'une loi de Pearson III tronquée.

En outre, la détermination de l'averse journalière de fréquence donnée – et en particulier l'averse décennale – dépasse souvent le cadre exploration des recherches en hydrologie pour se situer au niveau des applications. Diminuer l'occurence de tel événement pluviométrique ou hydrologique peut devenir alors dangereux. Des raisons pratiques de sécurité conduiront le projeteur à retenir les valeurs indiquées ici.

2.4. Autres paramètres climatiques

2.4.1. Les températures

La carte des températures moyennes annuelles donnée d'après Suchel dans la planche 11 montre une grande plage de températures comprises entre 23 et 24° C sur les régions du centre et du sud du pays. Les températures augmentent vers le littoral et vers l'est (Sangha) ; elles diminuent dans les régions montagneuses.

En fait, en dessous du parallèle 8°, les températures dépendent essentiellement de l'altitude. Dans la plaine côtière de Douala, elles dépassent 26° C et même 27° C ; dans la Dorsale camerounaise des montagnes de l'ouest, elles tombent en dessous de 20° et même 18° C, dans l'Adamaoua au-dessous de 22° C. L'augmentation des températures vers l'est correspond à une perte d'altitude entre le plateau du Centre-Sud et la cuvette congolaise. Une relation entre les températures et l'altitude sera proposée plus loin.

Au Nord-Cameroun, l'effet de latitude s'ajoute à celui de l'altitude ; la température de 25° C est toujours dépassée. De Kaele au lac Tchad, on a plus de 28° C de température moyenne annuelle ainsi que dans la vallée, plus basse, de la Bénoué.

Une autre carte (fig. 1.8) donne les courbes d'égales amplitudes diurnes moyennes correspondant à la différence entre températures maximale et minimale annuelles.

L'amplitude diurne moyenne annuelle n'est que de 6° C en bordure de mer ; elle dépasse 10° C au nord-est d'une ligne Bafoussam-Moloundou puis augmente avec la latitude ; elle atteint presque 16° C au bord du lac Tchad.

La carte des amplitudes thermiques annuelles moyennes (fig. 1.9) correspondant à la différence des deux températures moyennes mensuelles extrêmes (T_{12}-T_1), montre également de plus fortes valeurs dans le nord du pays (10° C sur le lac Tchad). La zonalité latitudinale est plus nette puisque les amplitudes minimales se situent au sud du pays, avec moins de 20° C pour la bande Sangmélima – Lomié – Ouesso.

Cette opposition entre amplitudes entre nord et sud correspond à ce que l'on connaît bien : des climats plus contrastés en zone tropicale sèche qu'en zone tropicale humide ou équatoriale.

Les températures minimales moyennes du mois le plus froid se situent en décembre-janvier au nord-est d'une ligne Nkongsamba-Djoum. Elles diminuent avec l'altitude (moins de 12° C dans les montagnes de l'Ouest et l'Adamoua) et la latitude (13° C seulement dans l'extrême-nord du pays et 16° 5 C à Garoua). Un minimum secondaire peut être observé en saison des pluies (août à octobre). Le minimum de saison sèche est le seul observé dans l'année dans la partie est du pays de Yokadouma à Moundou en englobant l'Adamaoua et au nord de Kousseri.

Dans la zone côtière du nord-ouest et sur une bande étroite de Nkongsamba à Sangmélima, le minimum de grande saison sèche devient secondaire ; le minimum principal se situe en juillet-août et est de l'ordre de 18°.

Dans la région du Sud-Ouest comprise entre Campo, Douala, Yaoundé et Bitam, il n'y a plus qu'un minimum de saison humide en juillet-août de 19 à 22° C.

Les températures maximales moyennes mensuelles ne dépassent pas 30° C dans les régions d'altitude de l'Ouest du pays et dans toute la zone équatoriale du plateau du Centre-Sud (Yaoundé, Abong-Mbang, Lomié, Ambam).

Cette valeur de 30° C est largement dépassée dans les plaines côtières du golfe de Guinée, le Nord-Cameroun et dans une moindre mesure dans la Cuvette congolaise.

Le bassin sédimentaire de Mamfe, celui de Douala-Yabassi-Edéa connaissent des maximums moyens mensuels supérieurs à 30° C pendant 8 à 10 mois par an.

L'ensemble du Nord-Cameroun connaît également plus de 8 mois de températures maximales supérieures à 30° C dont 2 mois de maximums dépassant 35°. Au nord de Poli, les maximums dépassent 30° C pendant 10 et 11 mois. Dans la vallée de la Bénoué à Garoua et au nord-est de Maroua, les maximums moyens des 12 mois de l'année sont supérieurs à 30° C. Ils dépassent 35° C pendant six mois. Au nord de Kousseri, on observe deux mois ayant des minimums moyens mensuels de plus de 40° C.

La température maximale moyenne mensuelle la plus élevée est observée en mars sur le littoral, les bassins côtiers et la bande forestière du sud du pays (à l'exclusion du bassin du Dja où le maximum apparaît en avril). Les températures peuvent dépasser 33° C (Yabassi). Le centre du pays, d'Ebolowa à Banyo, de Bertoua à Meiganga, et les provinces de l'Ouest ont un maximum en février (33° C à Tibati). De l'Adamaoua jusqu'à Guider, le maximum est observé pour mars et passe de 31° C à 39° C. Plus au nord, il est observé pour avril ; il dépasse 40° C à Maroua et 41° C à Kousseri. Au bord du lac Tchad, le maximum mensuel est le mois de mai.

2.4.2. L'humidité

La carte de l'humidité relative moyenne annuelle (empruntée à Suchel) de la planche 12 montre une zonalité latitudinale peu altérée des variations d'humidité. Depuis le sud et le littoral du pays, l'humidité décroît régulièrement en allant vers le nord ; l'humidité moyenne passe de plus de 85 % sur la côte à moins de 45 % sur les bords du lac Tchad.

Les humidités relatives maximales sont relevées généralement le matin à 6 h. Elles sont égales ou supérieures à 95 % douze mois sur douze au sud d'une ligne Mamfe-Batouri ; cette humidité n'est jamais atteinte au nord de Waza. Des valeurs égales ou supérieures à 90 % sont cependant relevées pour 2 ou 3 mois au nord de Maroua et plus de six mois au nord d'une ligne Banyo-Meiganga.

Les humidités relatives minimales relevées généralement à 12 h montrent une répartition inverse de la précédente. L'humidité ne descend jamais en dessous de 55 % pour aucun mois de l'année au sud d'une ligne Nkongsamba – Eséka – Yokadouma. Au nord de la ligne Banyo – Tibati – Meiganga, 8 à 7 valeurs mensuelles sont inférieures à 55 %. Au sud de cette même ligne, aucune valeur mensuelle ne descend jusqu'à 20 %. A la latitude de Maroua, onze minimums mensuels sont inférieurs à 55 % et 5 à 20 %. Au bord du lac Tchad, la durée des minimums inférieurs à 20 % passe à 7 mois.

L'amplitude des variations mensuelles d'humidité est importante dans la moitié nord du pays : elle est de 40 % à Ngaoundéré. Par contre, le caractère « toujours humide » du sud forestier est bien marqué par une amplitude de 10 % à la latitude 4°.

Le mois le plus humide est le mois d'août pour la moitié nord du pays (au nord de Banyo-Meiganga) et les régions côtières du nord-ouest (Mamfe, Douala, Eséka). Tout le centre et le sud du Cameroun ont un maximum d'humidité moyenne situé en juillet ou en palier sur les mois d'été. Le maximum est observé en octobre à Kribi et Campo.

Le mois le plus sec est le mois de mars au nord de Maroua. Le reste du pays voit le minimum d'humidité moyenne en février ou étalé sur les mois d'hiver. A Campo, le minimum est en juillet. La tension de vapeur moyenne annuelle varie de 28 milli-

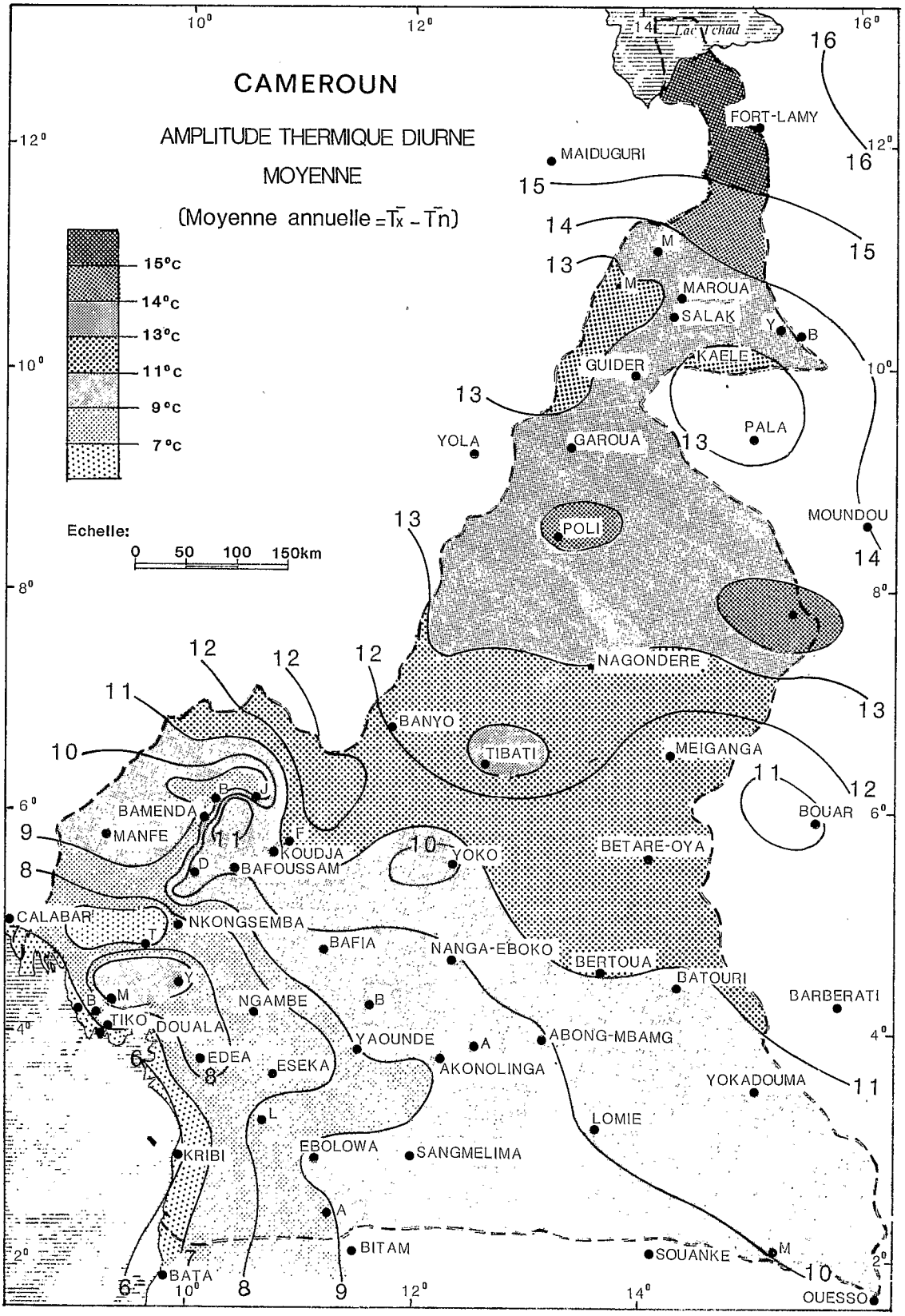


Fig. 1.8. (d'après J.B. Suchel).

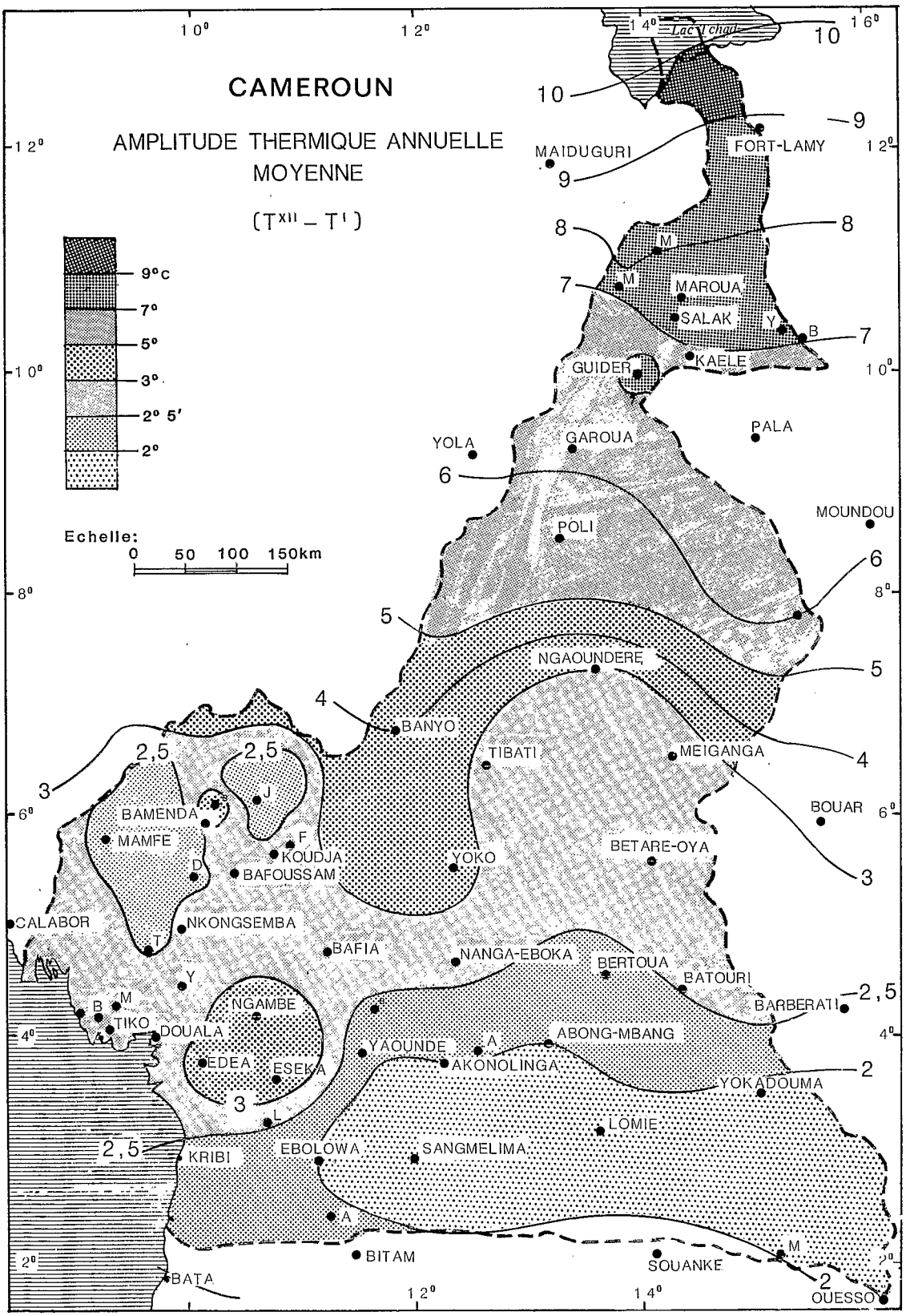


Fig. 1.9. (d'après J.B. Suchel).

bars dans la région côtière à moins de 17 millibars au nord de Maroua. Mais ce paramètre est très grandement affecté par l'altitude ; ainsi la tension de vapeur est toujours inférieure à 20 mb sur l'arc montagneux de Nkongsamba à Ngaoundéré et la Centrafrique et tombe en dessous de 17 mb pour toute la région de l'Ouest et les hauts plateaux de l'Adamaoua.

2.4.3. L'insolation

La carte proposée par Suchel, et donnée dans la planche 13, a été établie à partir d'un nombre assez réduit de stations ; le détail des courbes est souvent déduit du relief plus que de réelles observations. Quoi qu'il en soit, on retrouve *grosso modo* la zonalité latitudinale à laquelle nous sommes maintenant habitués. Dans la plaine côtière et surtout au nord du Mont Cameroun, on observe moins de 1 500 heures d'ensoleillement effectif par an. On note en particulier au pied du Mont Cameroun, dans les Monts Rumpis et sur la haute vallée du Mungo, un ensoleillement moyen annuel inférieur à 1 250 heures. La frontière gabonaise est également une zone de moindre ensoleillement. De Mamfe à Lomié, de Campo à Abong-Mbang en passant par Yaoundé, l'insolation moyenne annuelle est comprise entre 1 500 et 1 750 heures. Le bassin de la Sangha et une bande étroite de Batouri à Bamenda reçoivent entre 1 750 et 2 000 heures d'ensoleillement par an. Au nord d'une ligne Bafoussam, Bafia, Berbérati (R.C.A.), on observe en moyenne plus de 2 000 heures de soleil par an. Les plateaux d'altitude à l'est de la Dorsale camerounaise ont même un ensoleillement qui peut aller jusqu'à 2 500 heures par an. Ceci devient la règle pour l'Adamaoua.

Plus au nord, l'ensoleillement dépasse 2 750 heures/an de la plaine de la Bénoué (Garoua) jusqu'à Waza, en passant par Guider, Yagoua et Maroua.

2.4.4. L'évaporation

Ce paramètre sera largement repris dans l'étude des bilans hydrologiques des cours d'eau du Cameroun et nous verrons toutes les nuances qu'il convient d'apporter aux définitions de l'évaporation réelle, potentielle, sur nappe d'eau libre. L'étude du milieu climatique sera alors l'occasion de préciser les données mesurées relatives à l'évaporation Piche et à l'évaporation sur bac de classe A ou bac Colorado.

A partir de mesures de ce type et de paramètres simples comme la température et le rayonnement, L. Turc a établi une formule donnant l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne, formule sur laquelle nous reviendrons. Après avoir complété les calculs effectués par Lemoine *et al.* (1974), nous avons dressé la carte annuelle de l'évapotranspiration potentielle probable au Cameroun (planche 14) et les cartes des mois-types de janvier, avril, juillet et octobre. Celles-ci sont données dans la figure 1.10.

L'évapotranspiration potentielle annuelle est inférieure à 1 100 mm dans la région d'Ambam-Bitam sur les frontières du Gabon et de la Guinée Équatoriale, encore inférieure à 1 200 mm à l'intérieur de demi-cercle Nyabessan – Yaoundé – Djoum et dans le massif montagneux de l'Ouest.

A l'ouest et au sud d'une ligne Foumban, Bertoua, l'évapotranspirtation potentielle est inférieure à 1 300 mm. Elle atteint 1 500 mm à Ngaoundéré malgré l'altitude et dépasse 1 900 mm à Garoua. Les 2 m d'évapotranspiration sont dépassés à Maroua. Au nord de Kousseri, on a plus de 2 200 mm d'évapotranspiration annuelle.

Au mois de janvier, l'ETP est maximale sur le bassin de la Bénoué et en particulier sur celui de son affluent Kébi où on dépasse les 200 mm/mois. Au sud de l'Adamaoua, l'ETP de janvier est inférieure à 150 mm ; au sud de Sangmélima, Yokadouma, on a même moins de 100 mm/mois. Au mois d'avril, l'ETP varie régulièrement avec la latitude du lac Tchad à Ngaoundéré ; elle passe de 240 mm à 130 mm. Dans tout le Sud-Cameroun, l'évapotranspiration est de l'ordre de 120 mm avec une zone à moins de 110 mm vers Ebolowa-Sangmélima.

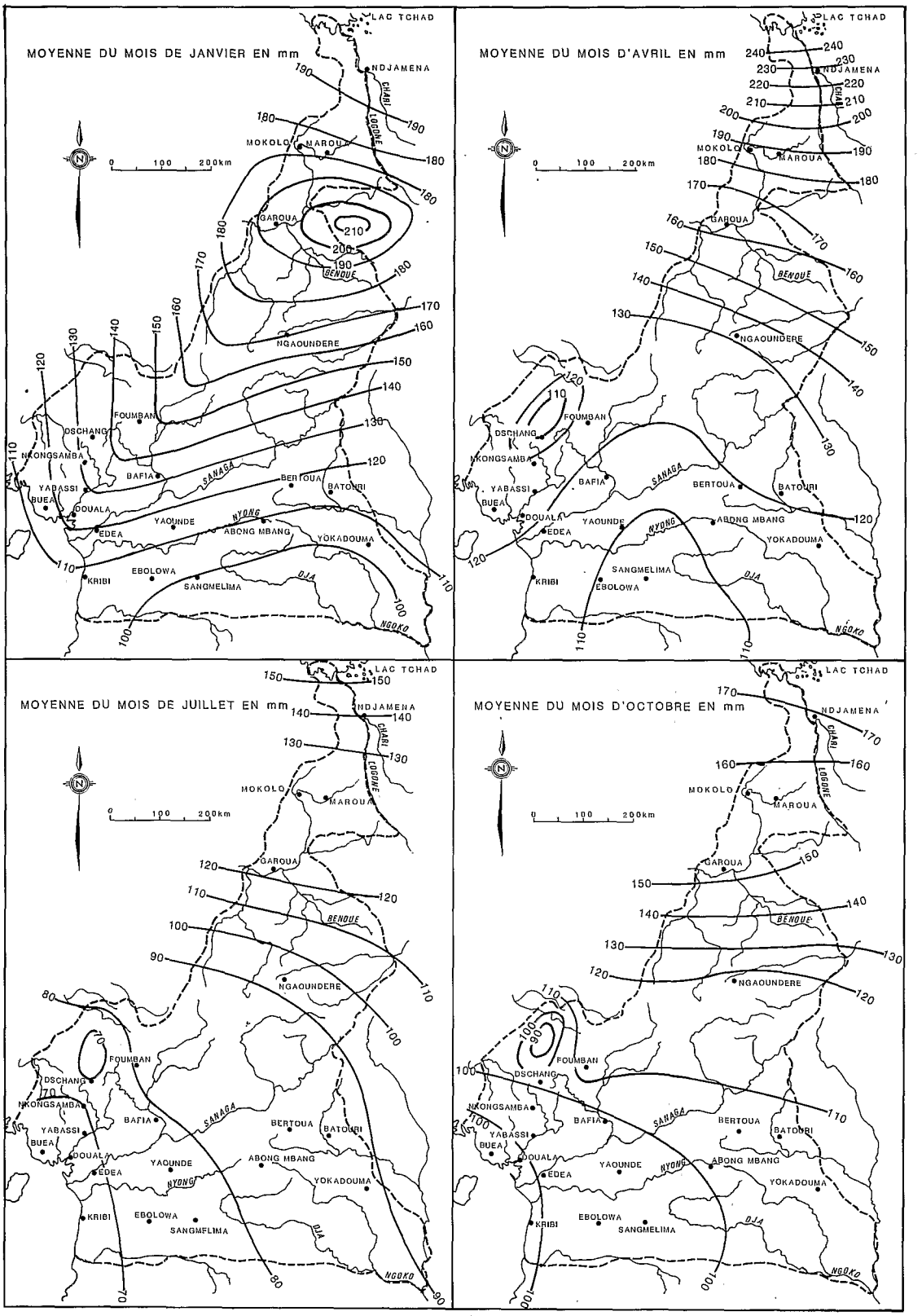
Juillet montre une baisse de l'ETP pour tout le Cameroun : moins de 70 mm sur le littoral, moins de 100 mm dans l'Adamaoua et au Sud-Cameroun, moins de 150 mm au sud du lac Tchad.

Octobre marque déjà la reprise de l'évapotranspiration avec 170 mm à Kousseri et 150 mm à Garoua. Dans le sud, on est encore en saison des pluies et on a moins de 100 mm d'évapotranspiration au sud-ouest d'une ligne Mamfe, Bafia, Abong-Mbang, Djoum.

2.4.5. Autres phénomènes

L'étude des vents de surface sera faite régionalement. Nous indiquerons seulement ici que le Cameroun est soumis à deux types de vent principaux. L'un est compris dans le quadrant sud-ouest, c'est le vent océanique vecteur du flux humide. Son influence est primordiale une bonne partie de l'année dans le Sud-Cameroun alors qu'il n'est ressenti qu'en saison de pluies dans le nord du pays. L'autre est compris dans le quadrant Nord-Est : c'est l'Harmattan, souverain dans le nord du pays pendant plus de six mois. Il est encore ressenti en saison sèche au sud de l'Adamaoua et en particulier dans les régions de l'Ouest.

Des effets de relief affectent parfois ces directions principales. Des vents secondaires tel le foehn sont localement ressentis. Sur le littoral, brises de terre et brises de mer sont souvent observées.



EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Fig. 1.10. – Cartes mensuelles de l'ETP.

L'observation de **brume sèche** est un phénomène commun à toute l'Afrique tropicale en régime d'harmattan. Au nord de l'Adamaoua, on observe plus de quarante jours par an de ce type de temps pendant la saison sèche ; cette importance de la période sèche se retrouve au sud de l'Adamaoua, de l'ouest du pays à la Centrafrique, en particulier sur le bassin de la moyenne Sanaga et celui du Mbam. Il y a brume sèche et brume sèche ; quand celle-ci est vraiment très chargée en poussières atmosphériques, la visibilité peut tomber à moins de 50 m ; la navigation aérienne peut être paralysée pour plusieurs jours. L'atmosphère s'alourdit, est tout à la fois ouatée, desséchante et irritante ; les poussières sont constituées de silice à 95 % et recouvrent la végétation. Cette brume épaisse – que d'autres appellent vents de sable alors qu'il n'y a généralement pas de vent – se limite aux couches inférieures de l'atmosphère. Elle est plus fréquente dans le nord du pays et vient buter sur le rebord septentrional de l'Adamaoua ; quand son importance croît, elle saute l'Adamaoua et dévale par les vallées du Djerem, du Mbam, de la Sanaga jusque dans les régions de Yaoundé ou Yokadouma.

Les brouillards matinaux constituent un fait d'observation général au Cameroun ; au Nord-Cameroun, on compte cependant moins de 10 observations par an. Au sud du parallèle 6°, il y a plus de 50 jours de brouillard en moyenne par an. Les brouillards sont observés plus de cent jours par an – et même 150 jours – dans l'arrière-pays côtier de Mamfe à Ebolowa en passant pas Nkongsamba, Ngambe et Eséka. Ils ont la même fréquence sur le bassin de la Kadéi dans l'est du pays.

Les manifestations orageuses – éclairs et (ou) tonnerre – sont perçues moins de 90 jours par an dans l'extrême-nord du pays, mais plus de 180 jours par an sur la côte nord-ouest du Cameroun.

2.5. Évolution du climat

Les travaux des paléoclimatologues sont nombreux pour l'Afrique tropicale sèche où la succession de périodes sèches et humides a été depuis longtemps mise en évidence grâce aux études pédologiques, géologiques, morphologiques, sédimentologiques, palynologiques, grâce aux recherches archéologiques et historiques.

Parmi ces travaux, nous citerons plus particulièrement ceux de Nicholson, Faure, Siefferman, Servant et Maley se rapportant *pro parte* au Nord-Cameroun. C'est en effet sur la base d'observations ou d'analyses faites dans le nord du pays que l'on a extrapolé les variations climatiques à l'ensemble du territoire camerounais (Siefferman, 1966).

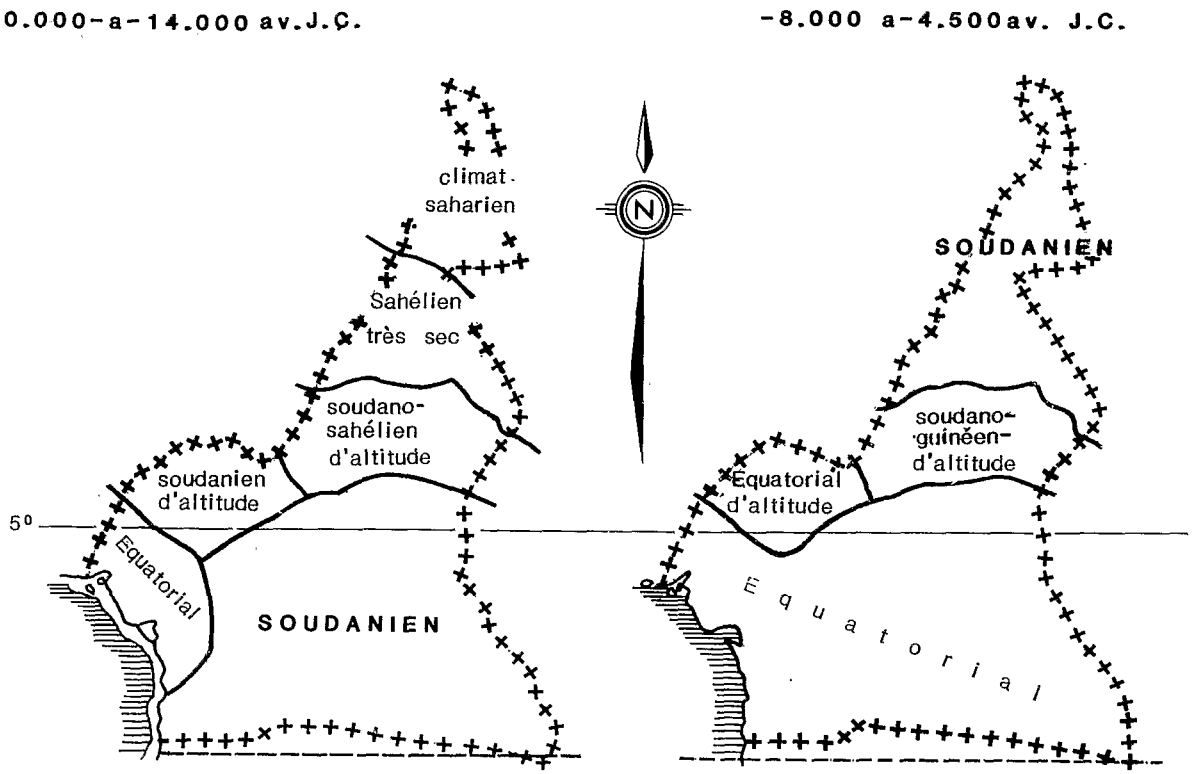


Fig. 1-11. Climats anciens probables : *a – (schéma de gauche) — 20000 à — 14000 av. J.-C. b – (schéma de droite) — 8000 à — 4500 av. J.-C. (G. Sieffermann)*

En nous limitant au Quaternaire récent, on soulignera les points suivants :

- Le Nord-Cameroun a connu une désertification importante entre 20 000 et 15 000 ans B.P. Le système dunaire éolien qui a couvert toute la partie camerounaise de la cuvette tchadienne est à rattacher aux dunes de l'Ogolien d'Afrique de l'Ouest. Il montre une progression du Sahara de 800 à 1 000 km vers le sud.
- Par contre entre 10 000 et 6 500 ans B.P., des conditions de forte pluviosité sont la règle pour le nord du Cameroun. Une transgression importante du lac Tchad amène son rivage de 200 à 300 km au sud du lac actuel ; le lac couvrait alors 250 000 km² ; il a laissé le cordon dunaire de Mora-Kaélé.

La période désertique est contemporaine de la grande extension des formations glacières du Wurm récent ; la période pluvieuse correspond au recul de ces mêmes formations (Servant, 1973).

La figure 1.11 propose la distribution probable des climats anciens au Cameroun pour ces deux périodes extrêmes.

A une autre échelle, on peut avoir une idée de l'évolution climatique qu'a pu connaître le Cameroun en se basant sur les variations du niveau du lac Tchad pendant le dernier millénaire. A partir de données géologiques, palynologiques et historiques, Maley (1981) indique une période de hautes-eaux du lac – et donc une période humide sur le bassin versant – sur les quatre premiers siècles de ce millénaire. Au milieu du 15e puis du 16e siècle, de fortes sécheresses se manifestent ; une pluviosité importante s'installe pendant tout le 17e siècle. L'histoire indique dans les années 1760-1770 qu'une sécheresse sévère touche les régions du lac Tchad ; le phénomène se répète dans les années 1840. Le reste du 19e siècle traduit une période plus humide que celle que l'on connaît depuis le 20e siècle.

Pour les dernières décennies de ce 20e siècle, les témoignages scientifiques (Tilho, 1928), les travaux des hydrologues (Touchebeuf de Lussigny, 1969 ; Chouret *et al.*, 1974) permettent de suivre les variations métriques du niveau du lac Tchad de façon précise ; les données hydrologiques se complètent avec les observations du Chari, de la Bénoué. Pour ce qui est du Cameroun, nous avons montré (Olivry, 1974) que les variations d'hydraulicité et de pluviosité étaient globalement concomittantes sur l'ensemble du territoire. Le point marquant de ces variations est bien sûr la période de forte hydraulicité des années 50-60 qui a précédé la période déficitaire des années 70, laquelle est nettement plus prononcée que celle du début des années 1940 et même que celle de 1913, tant par son amplitude que par sa durée. Cette sécheresse se poursuit encore aujourd'hui au Sahel et touche une partie non négligeable du Cameroun.

A travers cet aperçu rapide et quelle que soit l'échelle de temps choisie, on a vu que le climat change. On connaît mal aujourd'hui les mécanismes de ces variations et on débattra sans doute encore longtemps d'une évolution à caractère cyclique ou continu à notre échelle humaine.

Quoi qu'il en soit, cette perpétuelle évolution climatique implique une évolution des régimes hydrologiques. Cela devrait constituer pour nous une leçon d'humilité si nous avions été tentés de vouloir figer la nature dans un carcan serré.

3. RÉSEAUX HYDROGRAPHIQUE ET HYDROMÉTRIQUE ET PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES DU CAMEROUN

L'abondance du sujet traité nécessitait que soient jetées ici les bases de l'étude des régimes hydrologiques du Cameroun et en particulier de ses grandes divisions.

Celles-ci dépendent en premier lieu du réseau hydrographique du pays. Nous l'avons rapidement décrit puisque son étude constitue un volet important des chapitres ultérieurs et avons surtout insisté sur l'importance relative des différentes entités hydrographiques.

Le contenu de nos recherches est largement tributaire des observations effectuées et de leur densité, et par conséquent du Réseau hydrométrique du Cameroun qu'il nous fallait présenter. Cela est fait brièvement puisque le détail des travaux hydrométriques a été reporté en annexe.

Quelques points de méthode et d'analyse ont aussi été présentés ici. Nous avons en particulier évoqué les traitements en calcul automatique, les différents travaux d'analyse et le choix d'une année hydrologique commune pour tout le Cameroun.

Enfin, après avoir donné un schéma des grandes divisions hydrologiques de l'ouvrage, nous indiquons les grandes lignes du plan-type retenu pour chacune d'elles.

3.1. Le réseau hydrographique

Les rivières et fleuves du Cameroun se répartissent en plusieurs unités hydrographiques. Les unes concernent des tributaires de la façade atlantique du Cameroun ; les autres participent à des bassins hydrographiques plus étendus et en particulier à trois des cinq plus grands ensembles hydrologiques de l'Afrique [1] :

- le bassin du Niger,
- le bassin du Lac Tchad,
- le bassin du Congo au Zaïre.

Ainsi le réseau de cours d'eau du Cameroun participe au drainage d'un vaste ensemble couvrant environ le tiers de la superficie du continent africain, partagé par 23 états soit près de la moitié des pays d'Afrique [2], partage des ressources en eau qui a souvent justifié la création d'organismes inter-états tel que l'Autorité du Bassin du Niger (A.B.N.) ou la Commission du Bassin du Lac Tchad (C.B.L.T.) (cf. Planche 15).

On verra comment l'orographie explique les différentes directions prises par les collecteurs principaux, mais finalement, à l'exception des eaux rejoignant le bassin du Tchad, l'océan Atlantique récupère les apports des cours d'eau camerounais entre les points extrêmes du delta du Niger et de l'embouchure du Congo séparés par 1 600 km de côtes du golfe de Guinée, dont 400 km de côtes camerounaises.

On a énuméré ci-après les différents ensembles hydrographiques du Cameroun en précisant l'importance de la partie camerounaise de leurs bassins versants en pourcentages de la superficie totale du pays.

Bassin hydrographique	%
a) Cross-River, drainant la région du Mamfe et rejoignant l'océan à Calabar (Nigéria)	2,8
b) Fleuves côtiers, Nord-Ouest Sanaga (Ndian, Meme, Mungo, Wouri)	6,8
c) Sanaga, fleuve le plus important du Cameroun	28,6
d) Nyong et fleuves côtiers sud (Lobe, Lokoundje, etc.)	8,1
e) Ntem, dont les sources sont au Gabon ..	3,9
f) Ayina ou haut Ivindo (bassin de l'Ogooué)	1,7
g) Kadéi et Dja, Sangha (bassin du Congo)	20,4
h) Tributaires de la Bénoué inférieure (Metchum, Katsina, Donga), bassin du Niger	2,2
i) Bénoué (Nord-Cameroun), qui donnera (avec les tributaires précédents) un second souffle au Niger dont les ressources se sont épuisées dans ses pérégrinations sahéliennes	17,3
j) Logone supérieur (Vina-Nord et Mbéré), tributaire du bassin du Lac Tchad	4,3
k) Mayos du Nord-Cameroun, Yaéré et Logone inférieur, bassin du Lac Tchad	3,9
Total supericie du Cameroun : 465 000 km²	100

Plus simplement, quatre ensembles principaux se dégagent. Ce sont :

1° Les tributaires directs de la façade atlantique du Cameroun, autrement dit les fleuves côtiers et la Sanaga dont les bassins couvrent un peu plus de la moitié du territoire du pays.
2° Les tributaires du Congo, par l'intermédiaire de la Sangha pour 20 %.
3° Les tributaires du Niger par l'intermédiaire de la Bénoué pour 20 %.
4° Les tributaires du bassin du Lac Tchad pour moins de 10 %.

Les axes orographiques, tels l'Adamaoua, la Dorsale camerounaise et l'ondulation centrale du plateau du Centre-Sud, commandent, on l'a dit, les directions prises par les drains principaux.

Ainsi les rivières issues de l'Adamaoua s'écoulent dans la direction nord pour le bassin de la Bénoué, ou nord-est pour le bassin du Logone (Lac Tchad) d'une part, et vers le sud pour le bassin de la Sanaga, d'autre part. La Dorsale camerounaise commande les directions nord-ouest pour la Metchum et la Katsina (Bénoué inférieure), ouest pour la Cross River, sud et sud-ouest pour les fleuves côtiers (Mungo, Wouri) et est pour le bassin de la Sanaga.

Enfin, la ligne de partage des eaux du plateau du centre-sud (orientée SW-NE) impose les directions sud-est et est pour les tributaires du Congo et ouest pour les bassins du Nyong et du Ntem.

C'est bien entendu sur ces différentes unités hydrographiques, généralement bien individualisées sur le plan des caractéristiques du milieu physique et en fonction du réseau hydrométrique existant, que va s'articuler l'étude des Régimes hydrologiques du Cameroun.

3.2. Le réseau hydrométrique

Le réseau hydrométrique du Cameroun comprenait, en 1980, soixante-treize stations en service. Sa réalisation progressive a souvent coïncidé avec les nécessités ponctuelles liées à tel ou tel aménagement ;

(1) Les deux autres grands ensembles sont le bassin du Nil et celui du Zambèze.

(2) Ces états sont : Sierra-Léone, Guinée Conakry, Mali, Mauritanie, Algérie, Côte-d'Ivoire, Haute-Volta, Niger, Bénin, Nigéria, Tchad, Soudan, Centrafrique, Guinée Équatoriale, Gabon, Congo, Zaïre, Rwanda, Burundi, Angola, Tanzanie, Zambie.

mais elle a également procédé d'une volonté d'étude systématique des ressources du pays.

Avant l'intervention des hydrologues de l'ORSTOM, quelques échelles de hauteurs d'eau avaient été installées, en particulier sur les biefs navigables des cours d'eau tels que la Bénoué (1930 à Garoua), le Nyong supérieur (Mbalmayo, Abong Mbang, 1940), le Wouri (Yabassi). A Edéa, la perspective de l'aménagement des chutes a justifié la pose d'échelles limnimétriques dès 1943. D'autres échelles ont également été posées au passage de bacs fluviaux mais l'information a rarement été conservée ou, faute de rattachement, n'est pas exploitable.

Dès 1945, Darnault, directeur des Travaux Publics à Douala, a souligné la nécessité d'un réseau de stations hydrométriques. En 1947, A. Bouchardeau, jeune chercheur de l'ORSTOM, fait dans le cadre des T.P., les premières investigations hydrométriques au Cameroun. Sous l'impulsion de J.A. Rodier, l'ORSTOM va rapidement développer ses activités hydrologiques tant dans le nord du pays avec la « Mission Logone-Tchad » que dans le sud avec l'inventaire des ressources hydroélectriques en association avec Électricité de France (E.D.F.).

Les années 1951 à 1953 marquent une étape importante dans la réalisation du réseau hydrométrique du Cameroun. Ce réseau ne cessera plus de se développer. En particulier, dans les années 1964 à 1966, R. Lefèvre donne une nouvelle impulsion au développement du réseau, surtout dans les provinces anglophones.

Au début des années 70, le réseau hydrométrique a atteint l'importance qu'on lui connaît aujourd'hui. Au total, une centaine de stations ont été implantées, mais certaines seront abandonnées (cas des retenues de barrage), d'autres remplacées. La recherche d'un réseau optimal suivant les recommandations O.M.M. est possible avec la création de brigades régionales dotées des moyens nécessaires [1].

La carte de la planche 16 situe les différentes stations du réseau hydrométrique ; elle donne également la situation d'anciennes stations ou d'études particulières ainsi que des études sur bassins représentatifs et les limites des grandes unités hydrographiques.

Le tableau 1.5. donne la liste des stations hydrométriques en précisant leurs coordonnées, l'altitude du zéro de l'échelle et la superficie du bassin versant contrôlé.

La gestion de ce réseau est à la base de l'étude proposée dans cet ouvrage. Celle-ci a impliqué non seulement le suivi des observations de hauteurs d'eau soit par des lecteurs matin et soir, soit par des enregistreurs (15 % de limnigraphes), l'entretien et la réfection des stations, mais aussi l'établissement des relations hauteurs-débits pour chaque station par la réalisation de multiples jaugeages. L'étalonnage des stations hydrométriques, réalisé parfois dans des conditions difficiles voire périlleuses, permet de valoriser l'information « hauteurs d'eau » en une information « débits ».

L'historique des installations, observations et mesures effectuées, les courbes de tarage et étalonnages ont été reportés en annexe pour les stations dont l'exploitation a permis la réalisation de la présente étude.

Certaines stations des pays voisins ont également été exploitées (Congo, R.C.A., Tchad) lorsqu'elles complétaient utilement l'information utilisée au Cameroun. On doit souligner à ce sujet l'homogénéité des réseaux de ces pays avec celui du Cameroun, l'ORSTOM ayant été également à l'origine de leur création ; nous avons d'ailleurs personnellement contribué à l'étalonnage du Chari à Ndjaména et de la Sangha à Ouesso.

3.3. Traitement de l'information hydrologique

La confection d'Annuaires hydrologiques à partir de 1962 au sein du Service Hydrologique du Cameroun regroupant l'information « hauteurs d'eau » puis une information « débits » dès 1974 d'une part, la réalisation d'études régionales, d'autre part, ont nécessité l'analyse des données disponibles, leur critique, le calcul des débits journaliers. A Yaoundé, la phase de calcul s'est déroulée le plus souvent manuellement. Certaines études comme celle de la Sanaga ont cependant fait appel au traitement en calcul automatique de la banque de données constituée par le Bureau Central du Service Hydrologique de l'ORSTOM à Paris. Cette banque est en principe régulièrement actualisée à partir des observations nouvellement acquises et des contrôles d'étalonnage. Elle était sur cartes perforées, mais les travaux d'actualisation nécessaires pour une trentaine de stations ont justifié une modernisation globale du support. Y. L'Hôte (1982) a procédé au transfert de l'ensemble des données du Cameroun sur fichier magnétique (hauteurs d'eau d'une part, équations d'étalonnage d'autre part). De ce fait, parallèlement à cet ouvrage, le Cameroun dispose d'une banque hydrologique complète dont la mise à jour régulière permettra une actualisation des travaux suivant les besoins.

(1) C'est chose faite aujourd'hui dans le cadre de l'Institut de Recherches Géologiques et Minières de la DGRST du Cameroun. Brigades créées.

Tableau 1.5a. – Réseau hydrométrique du Cameroun

N°	Rivière	Station	Lat. Nord	Long. Est	Alt. zéro échelle m	Sup. bassin km2
1	Bassin de la Cross-River	Mainyu	5°43'	9°30'	69.22	4 050
2	Cross-River	Manfe	5°43'	9°19'	44.32	6 810
3	Munaya	Akwen	5°46'	9°04'	38.59	2 770
4	Bassin de la Meme	Bai	4°29'	9°07'	12	975
5	Bassin de l'Ombe	Pont	4°05	9°17'	*150*	92
6	Bassin de la Sanje	Idenau	4°14'	8°58'	29.10	77
7	Bassin du Mungo	Mundame	4°34'	9°32'	*30*	2 420
	Bassin du Wouri					
8	Nkam	Melong	5°09'	10°00'	699.23	2 275
9	Nkam	Ekom	5°04'	10°02'	*620*	2 440
10	Wouri	Yabassi	4°28'	9°58'	12	8 250
	Bassin de la Sanaga					
11	Choumi	Banock	5°29'	10°17'	1385 env	360
12	Metchié	Chutes	5°22'	10°20'	1297.11	480
13	Mifi-Sud	Bamoungoum	5°31'	10°21'	1264.38	306
14	Monkie	Bamessing	5°57'	10°25'	1158.73	180
15	Noun	Bamendjing (éch. aval)	5°42'	10°30'	1131.10	2 190
	Noun	Bafoussam E1	5°28'	10°33'	992 env	4 740
16		E2	5°28'	10°33'	986.75	4 740
17	Noun	Bayomen	4°55'	11°05'		8 850
18	Mape	Magba (éch. amont)	5°59'	11°16'	683.89	4 020
	Mape	Magba (éch. aval)	5°59'	11°16'	683.73	4 020
19	Mbam	Mantoum	5°37'	11°11'	660 env	14 700
20	Mbam	Goura	4°34'	11°22'	392.00	42 300
21	Nianiang	Megangme	4°36'	12°14'	567.19	224
22	Tere	Ndoumba	4°38'	12°17'	568.16	1 730
23	Njeke	Ngongon	4°48'	12°00'	560 env	3 720
24	Lom	Bétaré-Oya	5°55'	14°08'	662 env	11 100
25	Djerem	Bétaré-Gongo	6°35'	13°12'	837.93	11 000
26	Djerem	Mbakaou E2	6°20'	12°49'	823.69	20 200
27	Vina-Sud	Lahoré	7°15'	13°34'	1056.32	*1 680*
28	Sanaga	Goyoum	5°12'	13°22'	616.71	50 500
29	Pangar	Mbitom	5°44'	13°19'		2 934
30	Sanaga	Nanga-Eboko	4°42'	12°23'	566.92	65 100
31	"	Nachtigal	4°21'	11°38'	425.91	76 000
32	"	Sakbayeme	4°02'	10°33'		129 500
33	"	Song-Loulou	4°07'	10°27'		130 000
34	"	Edéa éch. 0	3°46'	10°04'	25 env	131 500

Tableau 1.5b. – Réseau hydrométrique du Cameroun (suite)

N°	Rivière	Station	Lat. Nord	Long. Est	Alt. zéro échelle m	Sup. bassin km2
	Bassin du Nyong					
35	Mefou	Etoa	3°46'	11°29'	672 env	235
36	Mefou	Nsimalen	3°44'	11°32'	650 env	425
37	Nyong	Ayos	3°53'	12°31'	645.60	5 300
38	Nyong	Akonolinga	3°47'	12°15'	642.85	8 350
39	"	Mbalmayo	3°31'	11°30'	633.47	13 555
40	"	Olama	3°26'	11°17'	628.30	18 510
41	"	Kaya	3°32'	11°05'	617 env	19 985
42	"	Eséka	3°41'	10°42'	146.42	21 600
43	"	Dehane	3°34'	10°07'	35 env	26 400
44	Bassin de la Lokoundje	Lolodorf	3°14'	10°44'	436.62	1 150
45	Bassin de la Kienké	Kribi	2°56'	9°54'	10 env	1 435
46	Bassin de la Lobe	Kribi	2°52'	9°53'	7 env	2 305
	Bassin du Ntem					
47	Seng	Assosseng	2°50'	11°09'	570 env	440
48	Ntem	Ngoazik	2°18'	11°18'	535 env	18 100
49	Ntem	Nyabessan	2°24'	10°24'	385 env	26 350
	Bassin du Congo					
50	Doume	Doume	4°14'	13°27'	610 env	515
51	Kadéi	Batouri	4°14'	14°19'	587.96	8 974
52	Kadéi	Pana	4°12'	14°41'	570 env	20 372
53	Boumba	Bewala	3°13'	14°55'	467 env	10 335
54	Dja	Somalomo	3°22'	12°44'	603 env	5 380
55	Dja	Bi	2°48'	13°21'	533 env	19 500
56	Afamba	Sangmélima	2°54'	11°59'	660 env	191
	Bassin de la Bénoué					
57	Metchem	Gouri	6°17'	10°02'	560.02	2 240
58	Mezam	Bengwi	6°00'	10°01'	1260 env	360
59	Mayo-Louti	Figuil	9°46'	13°56'	250 env	5 540
60	Mayo-Oulo	Golombe	9°39'	13°53'	240 env	1 160
61	Mayo-Kébi	Cossi	9°37'	13°52'	195 env	25 000
62	Faro	Safaï Djelepo	8°39'	12°49'	230 env	24 000
63	Bénoué	Buffle Noir	8°07'	13°50'	360 env	3 220
64	Mayo-Rey	(M. Galké) Tchollire	8°24'	14°15'		5 240
65	Bénoué	Lagdo (amont)	9°03'	13°41'	186.88	30 650
		Lagdo (aval)	9°03'	13°41'	186.88	30 650
66	Bénoué	Riao	9°03'	13°41'	185.80	30 650
67	Bénoué	Garoua	9°18'	13°23'	173.37	60 500
	Bassin du Lac Tchad (Logone)					
68	Bini	Berem	7°33'	13°57'	810 env	1 585
69	Vina-Nord (Nord-Cameroun)	Touboro	7°45'	15°20'	472 env	12 200
70	Mayo-Tsanaga	Bogo	10°44'	14°36'	344 env	1 535
71	Mayo-Tsanaga	Maroua	10°34'	14°17'	407 env	845
72	El Beid	Tilde	12°09'	14°44'	284 env	
73	El Beid	Fotokol	12°22'	14°13'	282	12 500

3.3.1. Travaux en calcul automatique

Le programme donnant les débits moyens journaliers est le **POH 301**. Il donne également les débits moyens mensuels dans la mesure où il n'y a pas de relevés manquants. Lorsqu'il y avait peu de relevés manquants et que l'interpolation n'était pas trop aléatoire, Y. L'Hôte a introduit les données probables afin de ne pas perdre une information précieuse au niveau des débits mensuels et annuels. Ce type d'interpolation linéaire est couramment effectué en traitement manuel ; les données mensuelles qui en découlent sont alors indiquées en italiques dans les tableaux. Les listings de ces débits journaliers ont été contrôlés systématiquement et repris lorsque des analyses ultérieures mettaient en évidence anomalies ou phénomènes exceptionnels.

Le Programme **POH 309** donne un tableau des débits moyens mensuels et calcule les modules sur l'année hydrologique retenue.

Pour 24 stations ressortant de quatre « régions », L'Hote (1983, inédit) a testé la série des modules par la méthode du « vecteur régional » prévue par ses auteurs (Hiez, Brunet-Moret, 1979) pour les hauteurs pluviométriques annuelles. On cherche à déceler d'éventuelles anomalies par une méthode de double cumul améliorée puisqu'on compare chaque station de la région à une station fictive dite « vecteur Z », moyenne des stations de la région. Dans le cas des modules, la méthode a au moins le mérite de poser des interrogations sur certains cas qui pourraient être litigieux, mais le « vecteur Z » est souvent obtenu à partir de stations très disparates sur le plan de la représentativité régionale. Une analyse très critique tant des « anomalies » que de la méthode est nécessaire.

le Programme **POH 345** fait la description des séries de débits mensuels observés. Il fournit un tableau récapitulant pour chaque mois les valeurs extrêmes, les quartiles, médiane observée, moyenne et écart-type.

Les tableaux mensuels de données de base qui sont indiqués pour chaque station dans la suite de l'ouvrage sont issus pour partie des programmes POH 309 et 345.

Ces programmes n'ayant été utilisés que pour une trentaine de stations, les tableaux seront, suivant le cas, plus ou moins complets.

Dans le programme **POH 313**, les débits journaliers ont été classés pour chaque année et les débits caractéristiques déterminés. En sortie, un tableau indique les valeurs extrêmes (minimum et maximum journalier), les débits caractéristiques d'étiage et de crue et les débits non dépassés pendant 1, 3, 6, 9 et 11 mois. Moyenne, quartiles, médiane et valeurs maximale et minimale sont déterminés pour chaque débit caractéristique. Ce programme est celui qui a donné le moins de satisfaction car quelle que soit l'année hydrologique, il ne peut tenir compte, en particulier pour les plus basses-eaux, de l'éventuelle prolongation de la période d'étiage sur l'année suivante. Ainsi, il peut noter pour 2 années successives des débits minimums ressortant du même étiage l'un en fin d'année, l'autre en début d'année. Dans la plupart des cas où le POH 313 avait été utilisé, nous avons dû reprendre manuellement les déterminations des débits caractéristiques. Ces déterminations aboutissent aux tableaux des débits caractéristiques où l'on précise par ailleurs les dates et débits maximum et minimum.

Le programme POH 143 consiste dans l'analyse statistique des débits maximums instantanés. Il est intéressant pour les débits de crue de bassins de faible superficie, où le maximum de crue n'a rien à voir avec un débit moyen journalier et en toute rigueur préférable pour les travaux de prédéterminations des crues de fréquence rare à toutes les stations.

En suite des programmes POH 309 et 313, une étude statistique des modules, débits minimums et débits maximums a été faite ; le programme prévoit le rappel chronologique de l'échantillon, le classement des variables, l'ajustement à un certain nombre de distributions [1] avec déterminations des différents paramètres et coefficients, valeur de Test et valeurs calculées de la variable pour diverses probabilités.

3.3.2. Travaux d'analyse

Ceux-ci concernent les calculs statistiques effectués sur les variables étudiées et en particulier les études fréquentielles des modules, maximums de crue et minimums de basses-eaux. L'analyse dans ce cas conduit à retenir une loi de distribution donnée parmi celles qui ont été ajustées à l'échantillon. Ce choix doit s'appuyer sur la comparaison des valeurs observées et calculées et également sur les valeurs de Test (Brunet-Moret, 1978). La meilleure loi serait celle ayant une valeur de test minimum, donc une fréquence au dépassement maximum. Il y a souvent lieu de transiger sur ce point si les valeurs de test sont voisines, l'homogénéité d'un type de loi donnée pour une région pouvant avoir une signification, ou une loi simple étant souvent plus commode pour la suite de l'analyse.

Des analyses fréquentielles ont été faites aussi pour d'autres variables que celles citées plus haut, telles les dates d'apparition des maximums ou des minimums.

Les intervalles de confiance ont généralement été calculés et d'une manière générale nous indiquons la précision des résultats obtenus.

(1) Pour le Nyong et les fleuves côtiers, nous avons testé 6 lois de distribution ; pour les stations du bassin congolais, de la Bénoué et quelques stations actualisées sur la Sanaga, Y. L'Hote a utilisé un programme comprenant 9 lois de distribution.

La recherche de liaisons entre diverses variables ou entre variables de stations différentes a consisté, après d'éventuelles anamorphoses de ces variables, à étudier les régressions linéaires et à déterminer les coefficients de corrélation. Ces régressions permettent l'éventuelle extension des échantillons de débits pour autant que le gain soit significatif.

Les méthodes employées seront commentées dans les chapitres ultérieurs au fur et à mesure de leur utilisation. Les expressions mathématiques proposées résultent d'une manière générale d'ajustements aux faits d'observation. La pratique courante de l'analyse en hydrologie peut constituer par ailleurs un élément du choix des lois retenues (par exemple, la forme exponentielle des lois de tarissement).

3.3.3. Choix de l'année hydrologique

Afin d'éviter que certains débits d'une année soient trop dépendants de débits de l'année précédente, on choisit généralement de couper l'année à la fin de la période de basses-eaux. Les réserves aquifères du bassin versant sont alors minimales et les précipitations cumulées de la nouvelle année sont peu importantes. Ce découpage de l'année se fait par mois entiers et ne varie pas d'une année à l'autre bien que la saison sèche puisse se décaler dans le temps, être plus courte ou se prolonger.

Par opposition à l'année calendaire, on appelle ce découpage dans le temps propre à chaque région année hydrologique. L'étude fréquentielle des modules, leur variabilité interannuelle, le calcul des bilans se font sur l'année hydrologique.

Dans le sud du pays, l'année hydrologique commence en février ; elle débute en mars dans les provinces de l'Ouest, en avril sur la Sanaga et en mai pour le Nord-Cameroun.

Par souci d'homogénéité, nous avons retenu pour tout le Cameroun l'année hydrologique allant du 1er avril au 31 mars.

Toutes les données relatives au bilan seront calculées sur cette période (débits, précipitations) pour chaque année d'observations. Il va de soi cependant que les débits caractéristiques d'étiage soient déterminés éventuellement par chevauchement de l'année suivante, la période de basses-eaux ne pouvant rester significative si elle est coupée en deux.

3.4. Autres traitements

En dehors de l'information hydrologique, nous avons été amené à prendre en compte une information complémentaire en différents domaines et principalement sur les plans de la cartographie et de la climatologie.

Pour ce qui est de la cartographie, les cartes IGN au 1/200 000 ont constitué le document général de base. Les cartes au 1/500 000 ont été utilisées lorsque des synthèses régionales étaient nécessaires, et c'est généralement leur tononymie qui a été retenue.

Lorsqu'elles existaient, les cartes au 1/50 000 ont permis de préciser les limites des bassins versants de taille modeste et leur hypsométrie.

Les traitements se rapportent à la détermination de caractéristiques géomorphologiques et géométriques des bassins. Planimétrage et curvimétrage ont permis la détermination des superficies des bassins, des périmètres, des aires comprises entre différentes courbes de niveau, de l'hypsométrie et des indices de pente, des profils en long, de la densité de drainage, etc.

Ces travaux, s'ils avaient été faits, ont systématiquement été repris sur la base des documents cartographiques les plus récents, ce qui a permis de corriger quelques erreurs. Les paramètres déterminés interviendront au niveau de l'interprétation des régimes. Leur calcul est commenté au cours de l'étude.

Les descriptions géologiques des différents bassins sont basées sur les cartes géologiques de reconnaissance au 1/500 000 de la Direction des Mines et de la Géologie.

La bibliographie donne par ailleurs les sources utilisées dans la description du milieu physique des bassins.

Sur le plan de la Climatologie, nous avons donné un aperçu des paramètres étudiés en 2.3. et 2.4. Les sources proviennent de la Météorologie Nationale pour l'essentiel. Nous avons conservé ici l'année calendaire. Dans le cas des précipitations, l'information a été traitée par l'ORSTOM jusqu'en 1972 et actualisée *pro parte* par nos soins.

Les paramètres climatiques autres que les précipitations ont été traités uniquement sur le plan des moyennes arithmétiques de la série d'observation. Ils ne sont susceptibles d'intervenir dans l'interprétation qu'au niveau des termes moyens. Leur variabilité interannuelle est beaucoup moins marquée que celle des précipitations ou des débits.

Les analyses statistiques ont été réservées aux précipitations. Pour ce qui est des précipitations journalières, le sujet a été traité en 2.3 et n'est repris bassin par bassin qu'à titre de rappel.

L'analyse fréquentielle des précipitations annuelles est faite par ajustement d'une loi normale dans la plupart des cas. Moyennes et écarts-type, intervalles de confiance des déterminations, coefficients d'irrégularité interannuelle et hauteurs de précipitations de fréquences données sont généralement indiquées dans les tableaux récapitulatifs de ces traitements.

Un autre aspect du traitement des précipitations annuelles apparaît dans les opérations d'homogénéisation des données ; les cartes isohyètes régionales découlent de ces travaux. Pour les précipitations mensuelles, l'analyse statistique s'est généralement

limitée à la détermination simple des médianes ou moyennes, des quartiles, des valeurs extrêmes et des écrats-types.

Les données pluviométriques sont reprises dans la présentation des données de base pour la période commune à celle des débits. Chaque poste étant affecté d'un coefficient, la méthode de Thiessen permet la détermination de la hauteur moyenne de précipitation annuelles **calculée sur l'année hydrologique.** Les résultats ont été comparés dans la plupart des cas à ceux obtenus à partir des courbes isohyètes. Ils seront utilisés dans la recherche de corrélations hydro-pluviométriques. Les valeurs moyennes constitueront un des paramètres fondamentaux des bilans hydrologiques.

3.5. Les différentes unités hydrographiques et les divisions de l'ouvrage. Le plan-type de l'étude des régimes hydrologiques

Les différentes unités hydrologiques du Cameroun ayant été précisées en 3.1, il restait à définir l'ordre dans lequel leurs régimes hydrologiques seraient étudiés. On dispose en effet de plusieurs critères logiques permettant de faire ce choix.

On pourrait par exemple retenir un critère climatique distinguant un Cameroun « humide » d'un Cameroun « sec », au sud et au nord d'une limite se situant au rebord septentrional de l'Adamaoua.

On pourrait aussi distinguer les bassins de cours d'eau rejoignant l'océan Atlantique de ceux du bassin endoréique du lac Tchad dont les eaux s'évaporent au cœur de l'Afrique.

Un distinguo pourrait être fait entre tributaires de la façade atlantique du Cameroun et autres cours d'eau tributaires de bassins internationaux tels le Niger, le Congo ou le lac Tchad, ces grandes unités hydrologiques devant aussi être prises en compte.

Le critère « végétation » est également important ; l'écoulement va beaucoup varier de la grande forêt aux steppes du Nord-Cameroun.

Nous avons finalement tenté de tenir compte de ces différents critères en impliquant pour certains la zonalité latitudinale du sud vers le nord et retenu les divisions proposées dans le schéma de la figure 1.12.

La densité du réseau hydrométrique est, on l'a vu, très variable d'un bassin à l'autre. Par suite, les travaux d'interprétation qui découlent des observations effectuées seront plus ou moins importants ; c'est en fonction du degré d'analyse hydrologique rendu possible pour tel ou tel bassin que nous avons plus ou moins développé l'étude du milieu physique, ceci afin de conserver au sein de chaque étude d'unité hydrographique un contenu équilibré. Les résultats de certaines stations du réseau n'ont pas été utilisés soit que les observations soient douteuses, trop brèves, soit que l'étalonnage reste à préciser.

Cette différence de poids entre différents bassins versants explique que nous n'ayons pu nous en tenir à la stricte logique du schéma proposé. L'odre de l'étude sera bien respecté mais chapitres et différentes parties ne sont pas forcément calqués sur les grandes divisions du schéma.

Nous nous sommes efforcés de conserver pour l'ensemble de l'ouvrage la même approche de chaque unité hydrographique. Le plan-type de l'étude des régimes hydrologiques comprend une partie sur le milieu naturel du ou des bassins étudiés (unité hydrographique ou régionale), une deuxième partie sur les caractéristiques des bassins versants et les données de base, une troisième partie sur l'interprétation des données et de la connaissance du régime hydrologique.

L'**étude du Milieu Naturel** d'un bassin comprend une description **des facteurs géographiques** et des facteurs climatiques. La **végétation** ou phytogéographie constitue l'élément fondamental pouvant influer sur l'hydrologie du bassin : c'est le facteur que nous avons considéré en premier. La **géologie** et la **pédologie** complètent cet aperçu géographique.

L'étude des **facteurs climatiques** aborde les principaux paramètres climatologiques tels que les **vents** (vitesse et direction), les températures, l'humidité, l'évaporation et l'insolation. Une partie consacrée aux **précipitations** étudie la distribution spatiale et fréquentielle des hauteurs annuelles, les variations mensuelles et rappelle l'analyse fréquentielle des pluies journalières.

Dans la seconde partie, on s'est d'abord attaché à donner une description du bassin et du réseau hydrographique, et de ses particularités. **Profils en long, pentes, hypsométrie des bassins,** divers autres **paramètres de forme** constituent en outre les premières données de base susceptibles d'intervenir dans le régime hydrologique. Ensuite, **les données de base sur les précipitations** donnent les valeurs moyennes de pluie reçue par les bassins sur la période d'étude. Les données de base hydrologiques sont plus détaillées. Une rapide description de valeurs-type des débits est faite. Des tableaux sur les débits mensuels et les débits caractéristiques (qui ont été décrits en 3.3) sont complétés par quelques figures représentant les valeurs médianes, quartiles et extrêmes et aussi des hydrogrammes annuels d'année sèche et d'année humide.

La troisième partie, phase d'interprétation des données, commece par une **étude du régime des Basses-Eaux.** Celle-ci est abordée par l'analyse de la période et de la forme du **tarissement** puis par l'**analyse statistique des étiages.**

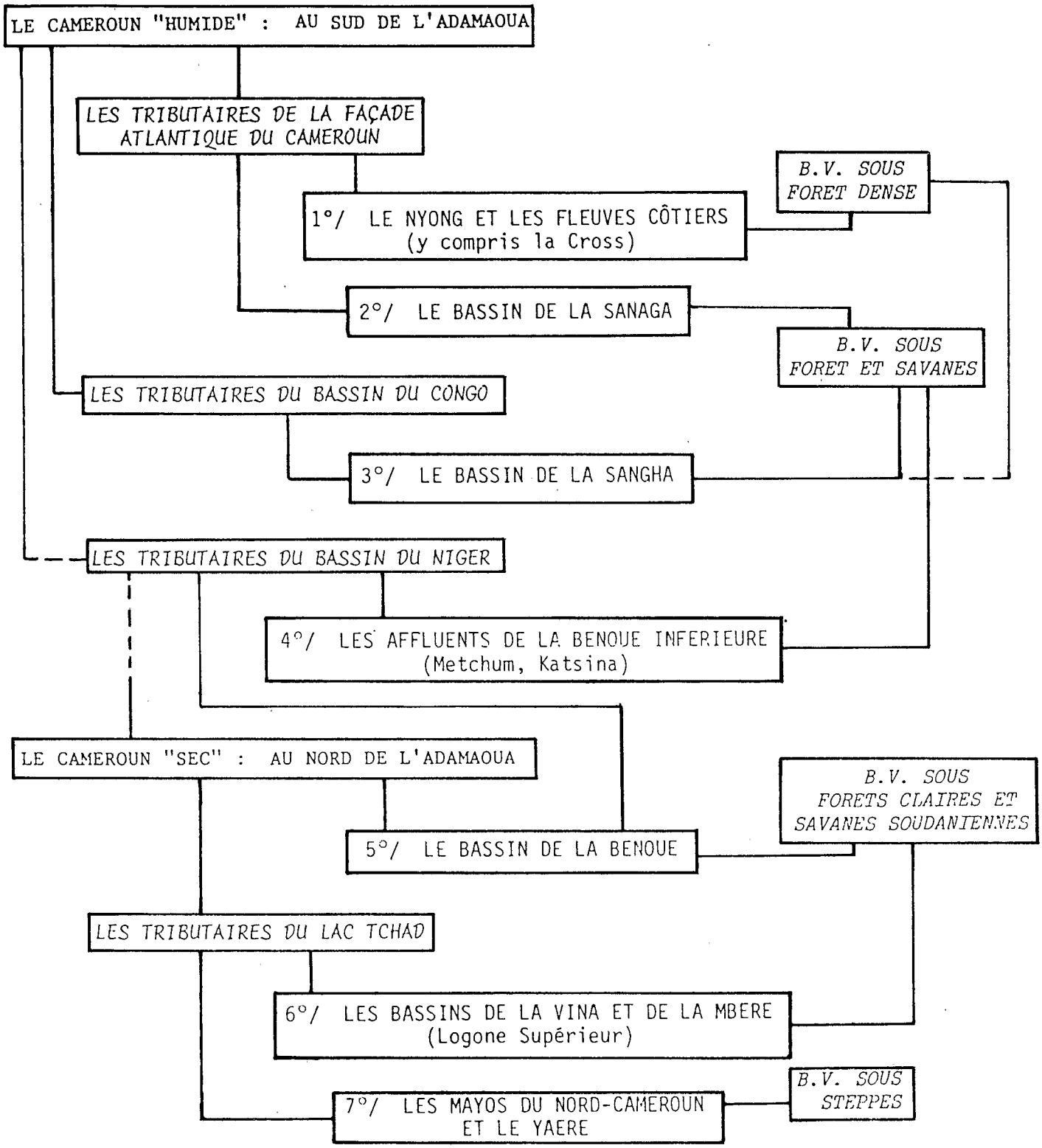


Figure 1.12. – Les différentes unités hydrographiques.

On a en particulier étudié la date d'apparition des étiages absolus, leur évolution sur la période d'observation et leur distribution statistique (étude fréquentielle complète). L'étude est complétée par celle de l'irrégularité interannuelle, des étiages spécifiques des relations entre débits caractéristiques d'étiages et entre étiages de stations voisines.

L'étude des Crues suit un peu le même plan : date d'apparition des maximums annuels, évolution des maximums de crue sur la période d'observation, analyse fréquentielle, etc.

L'étude des Modules et du Bilan Hydrologique est le plus souvent abordée par une description de l'hydraulicité du cours d'eau sur la période d'observation. **L'étude fréquentielle des modules** est traitée dans les mêmes formes que celle des étiages ou des crues (cf. 3.3). Modules spécifiques, irrégularité interannuelle, corrélations entre modules de stations voisines sont étudiés avant une analyse des termes du **bilan hydrologique.** On essayera en particulier d'établir des corrélations hydropluviométriques. Les termes du bilan annuel sont calculés sur l'année moyenne. Coefficients d'écoulement, déficits d'écoulement sont comparés d'une station à l'autre. L'évapotranspiration réelle sur le bassin est déterminée. Enfin un essai de bilan mois par mois est fait.

Par ailleurs, nous donnons régulièrement des tableaux récapitulatifs, et une analyse comparative est régulièrement proposée entre paramètres de différents bassins versants et de différentes unités régionales.

Aux fins d'une meilleure compréhension du texte par les projeteurs et les non-initiés au langage scientifique, nous avons conservé l'écriture traditionnelle des unités utilisées (en particulier : m^3/s, l/s, $l/s.km^2$, m/s, etc.). La notation scientifique moderne aurait voulu que l'on écrive respectivement pour ces mêmes symboles : $m^3.s^{-1}$, ls^{-1}, $ls^{-1}km^{-2}$, ms^{-1}...

L'unité de pression utilisée en climatologie était le millibar (mb.) ; c'est celle dont nous parlons ici, quand nous aurions dû, en toute rigueur, utiliser son équivalent récent : l'hectopascal.

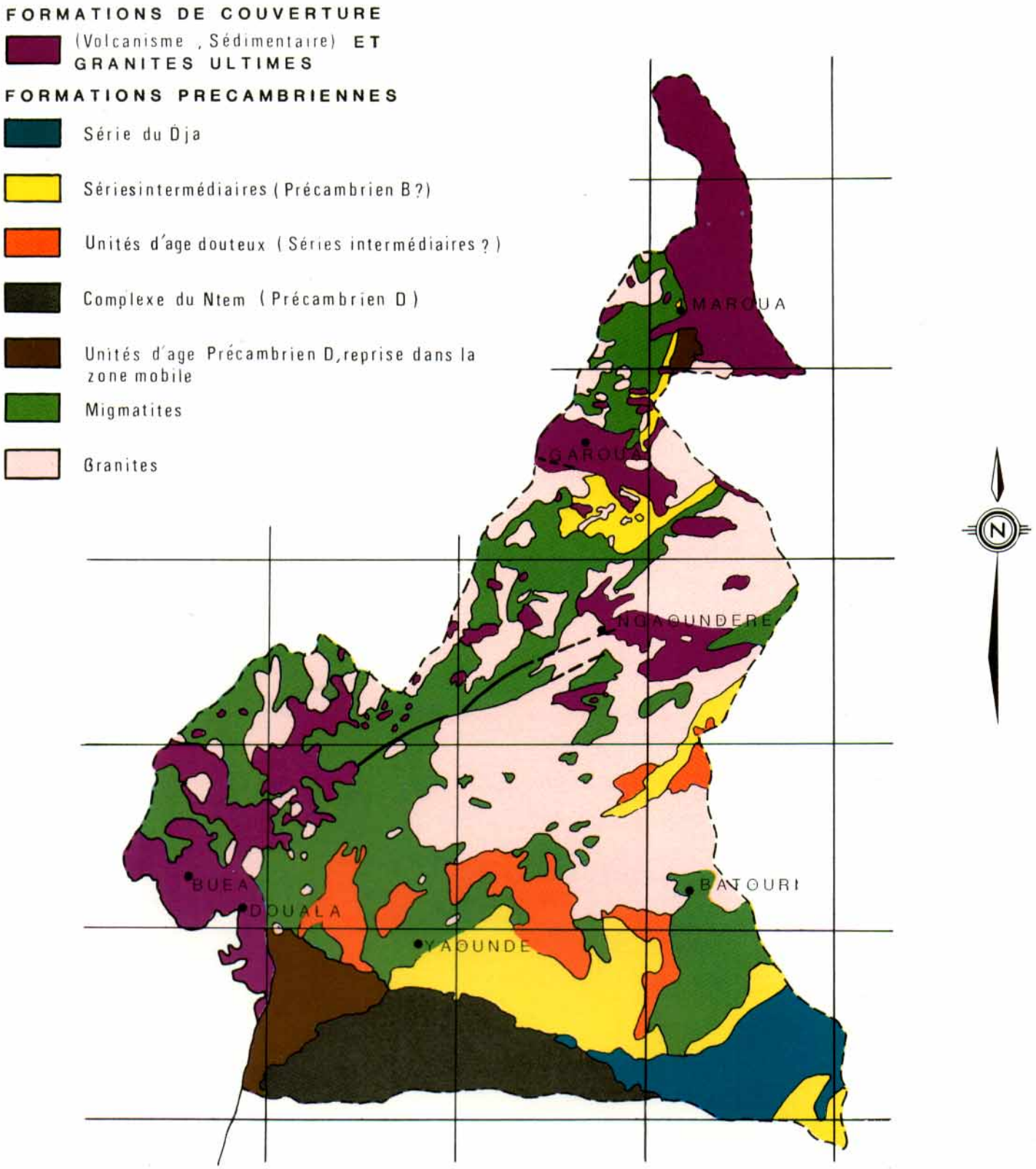


Planche 1. – Esquisse géologique du Cameroun (R. Bessoles et al., 1977).

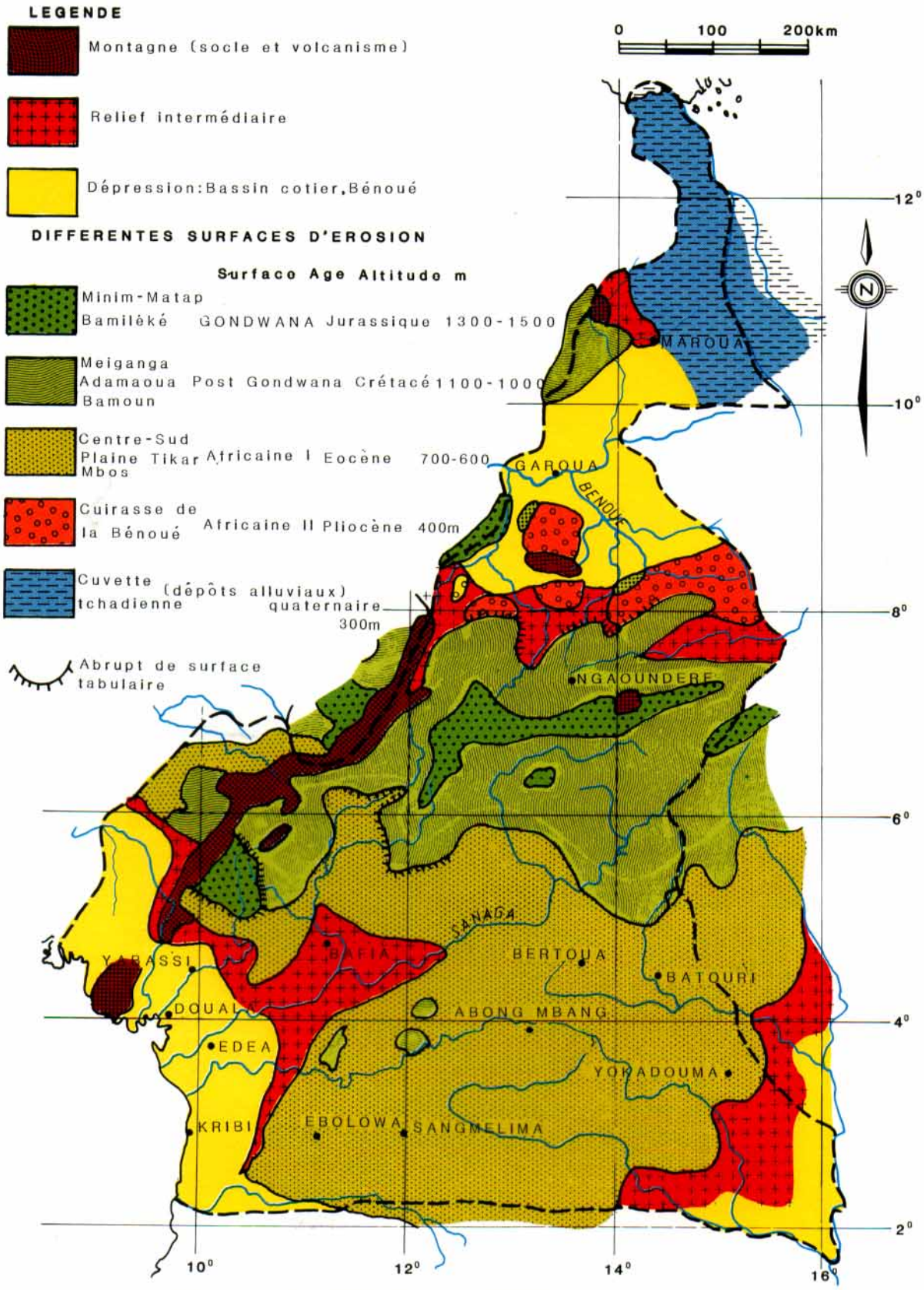


Planche 2. – Les grands traits de la géomorphologie du Cameroun.

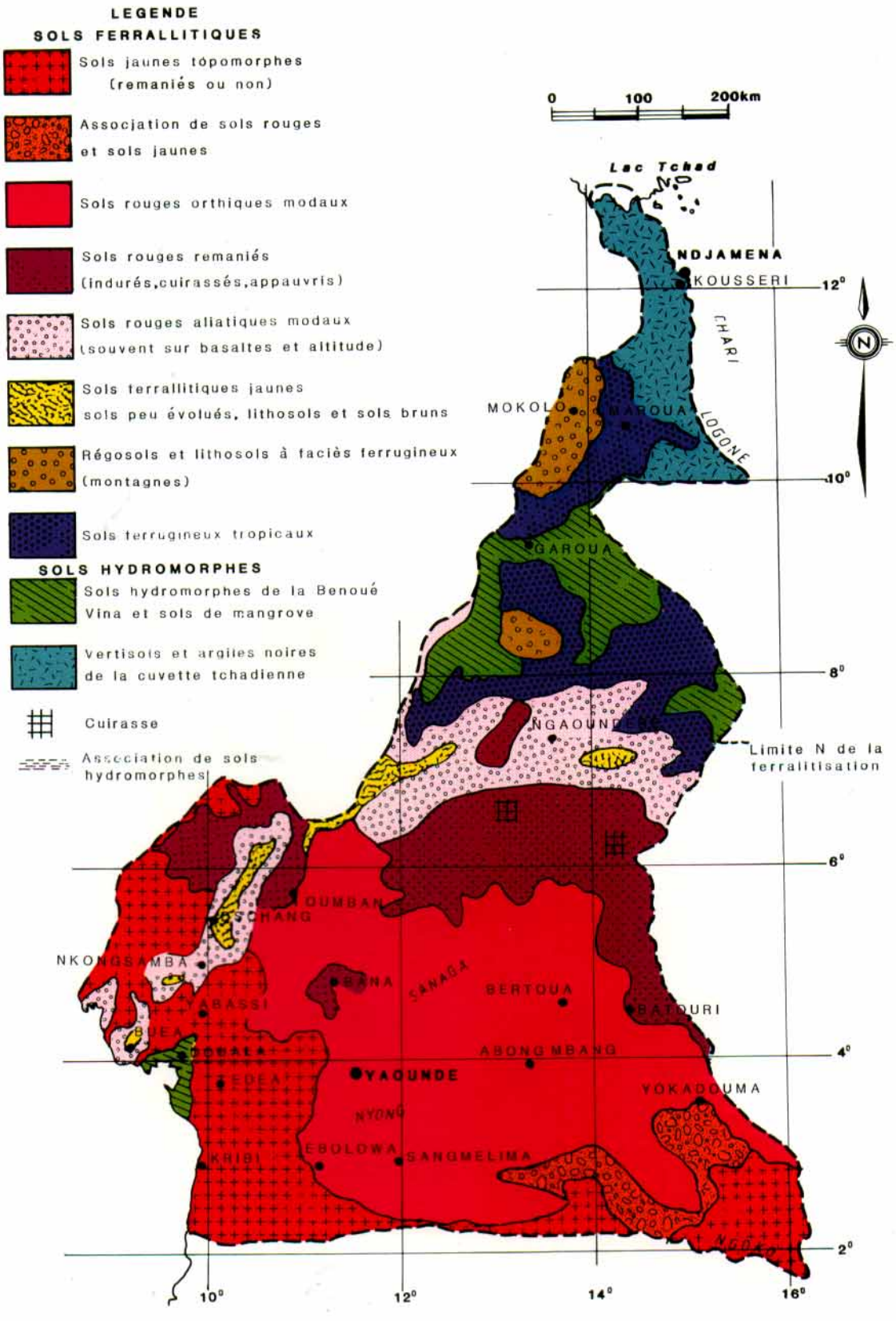


Planche 3. – Esquisse pédologique du Cameroun.

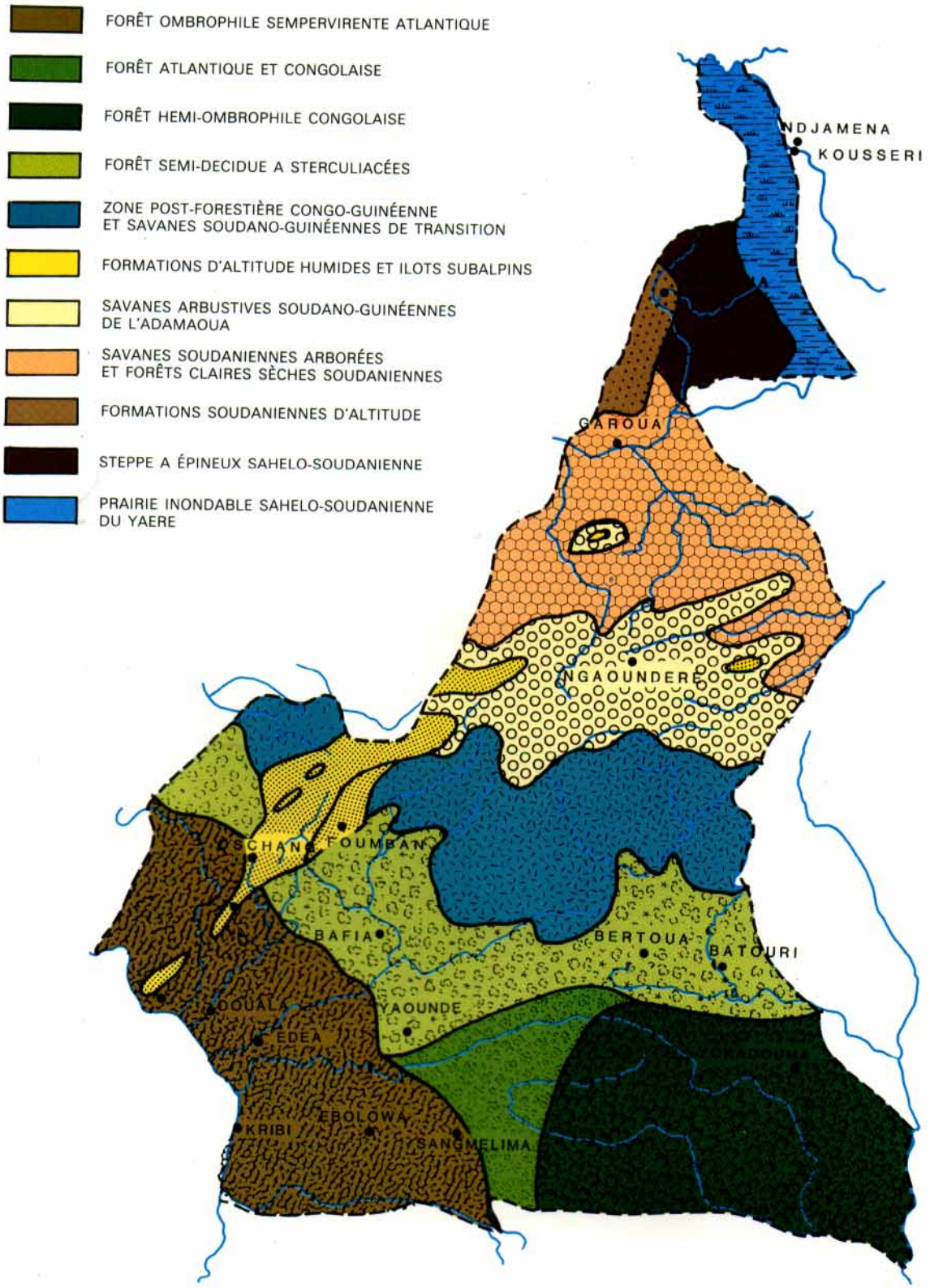


Planche 4. – Schéma phytogéographique du Cameroun.

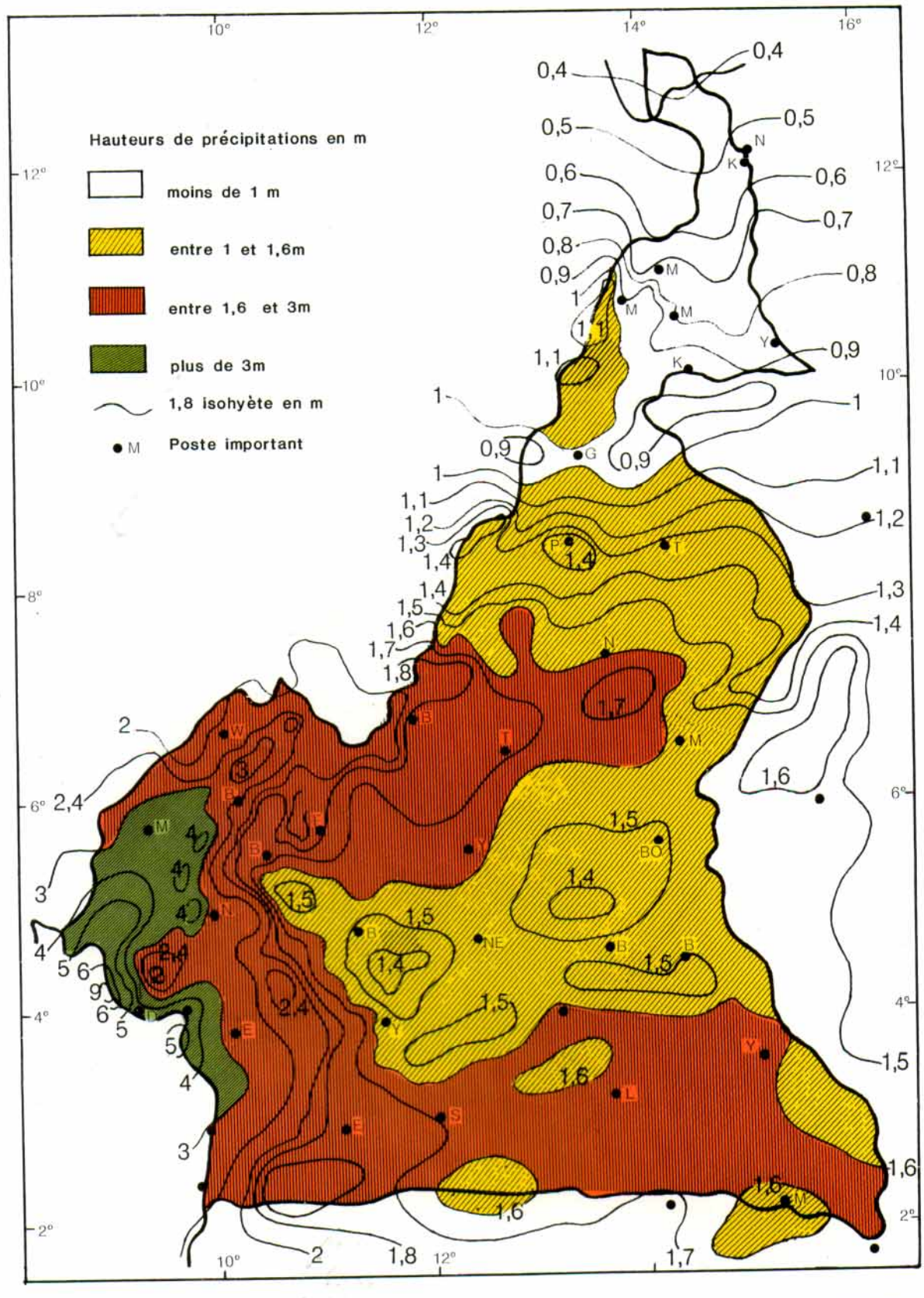


Planche 5. – Esquisse Isohyètes interannuelles du Cameroun (d'après données de J.B. Suchel, non homogénéisées).

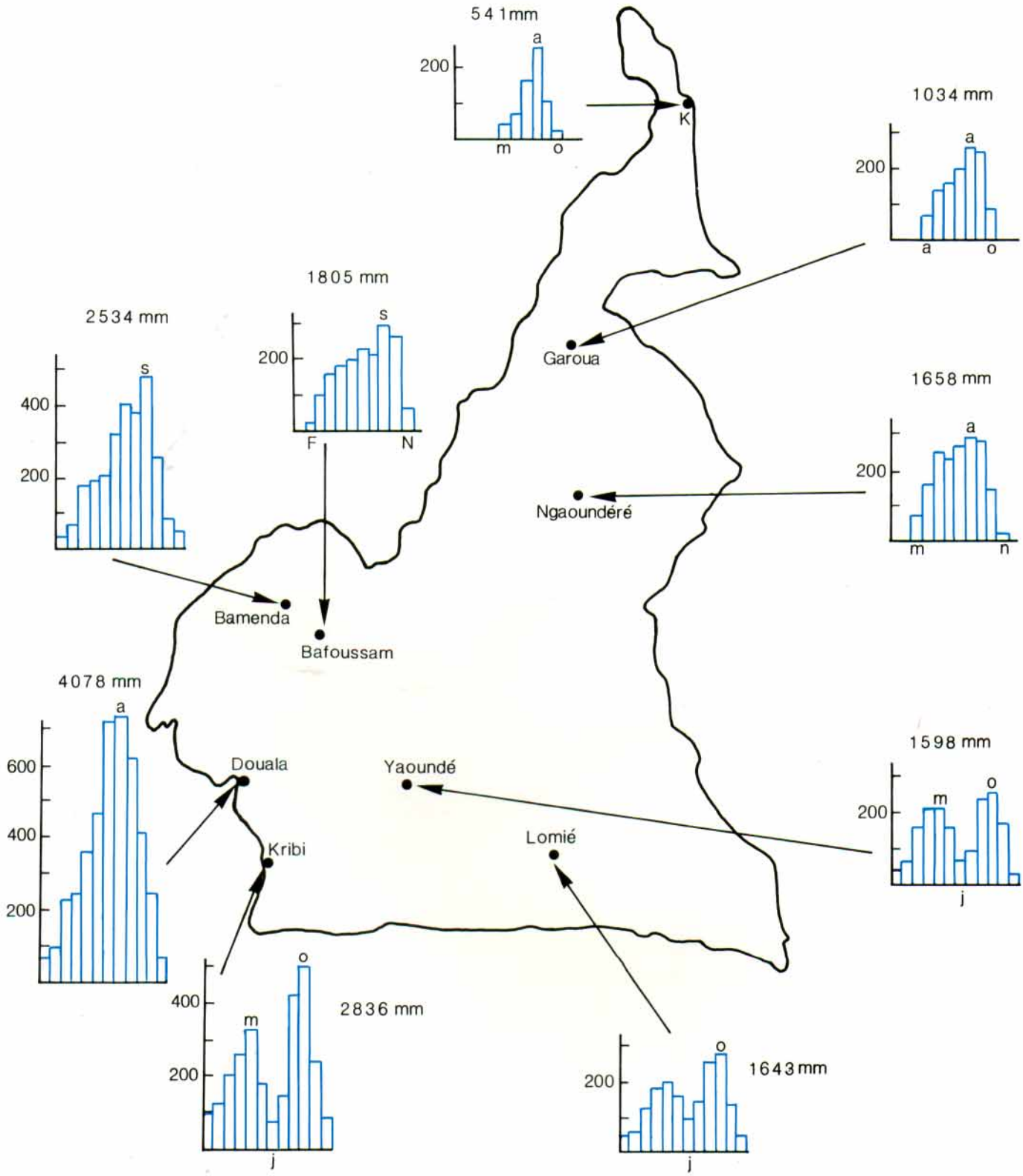


Planche 6. – Exemples d'histogrammes représentatifs de différentes régions du Cameroun.

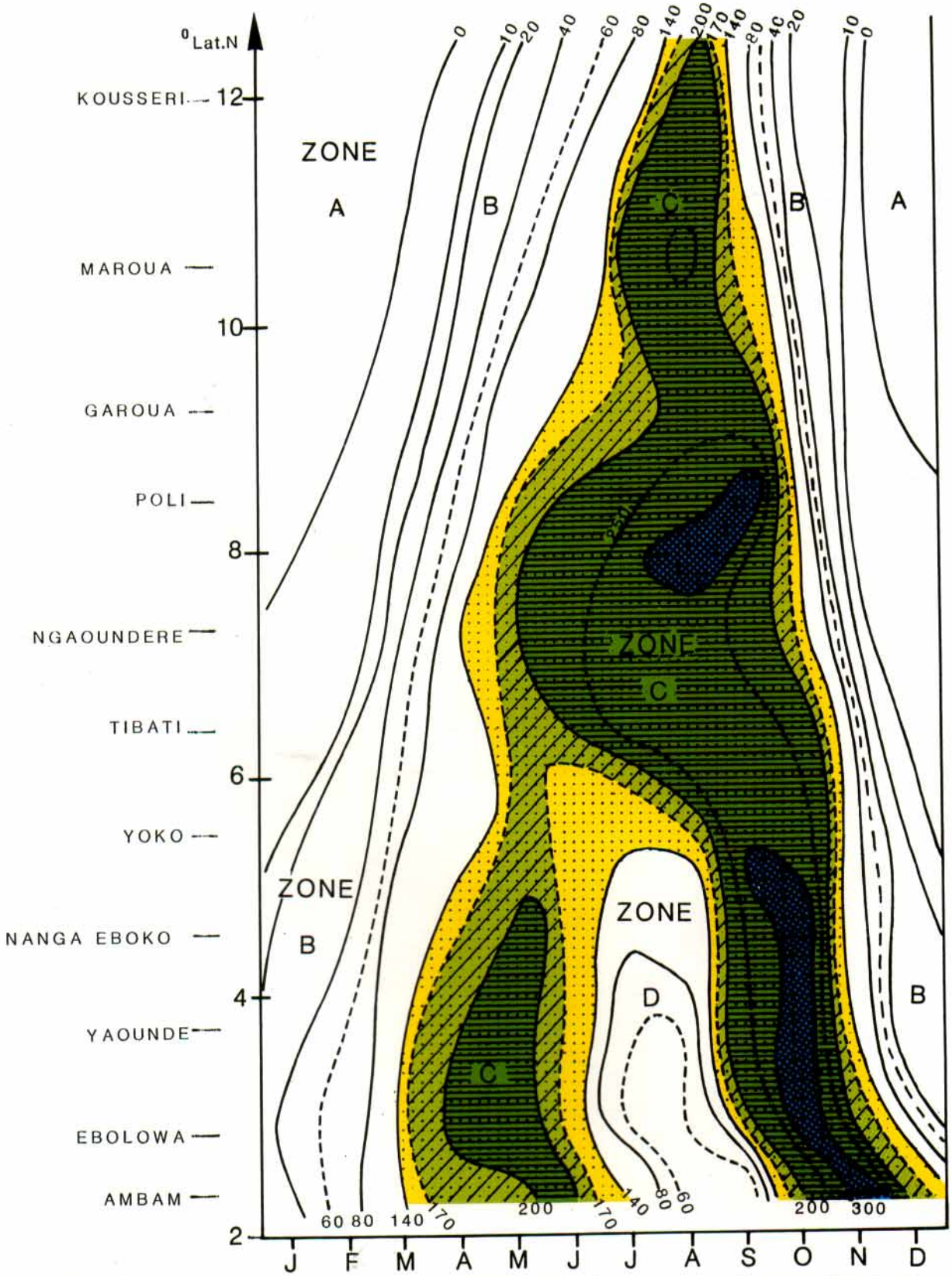


Planche 7. – Variations latitudinales des précipitations mensuelles moyennes au Cameroun (à noter le raccourcissement de la saison des pluies dans le Nord et l'apparition d'une saison sèche en juillet-août au Sud).

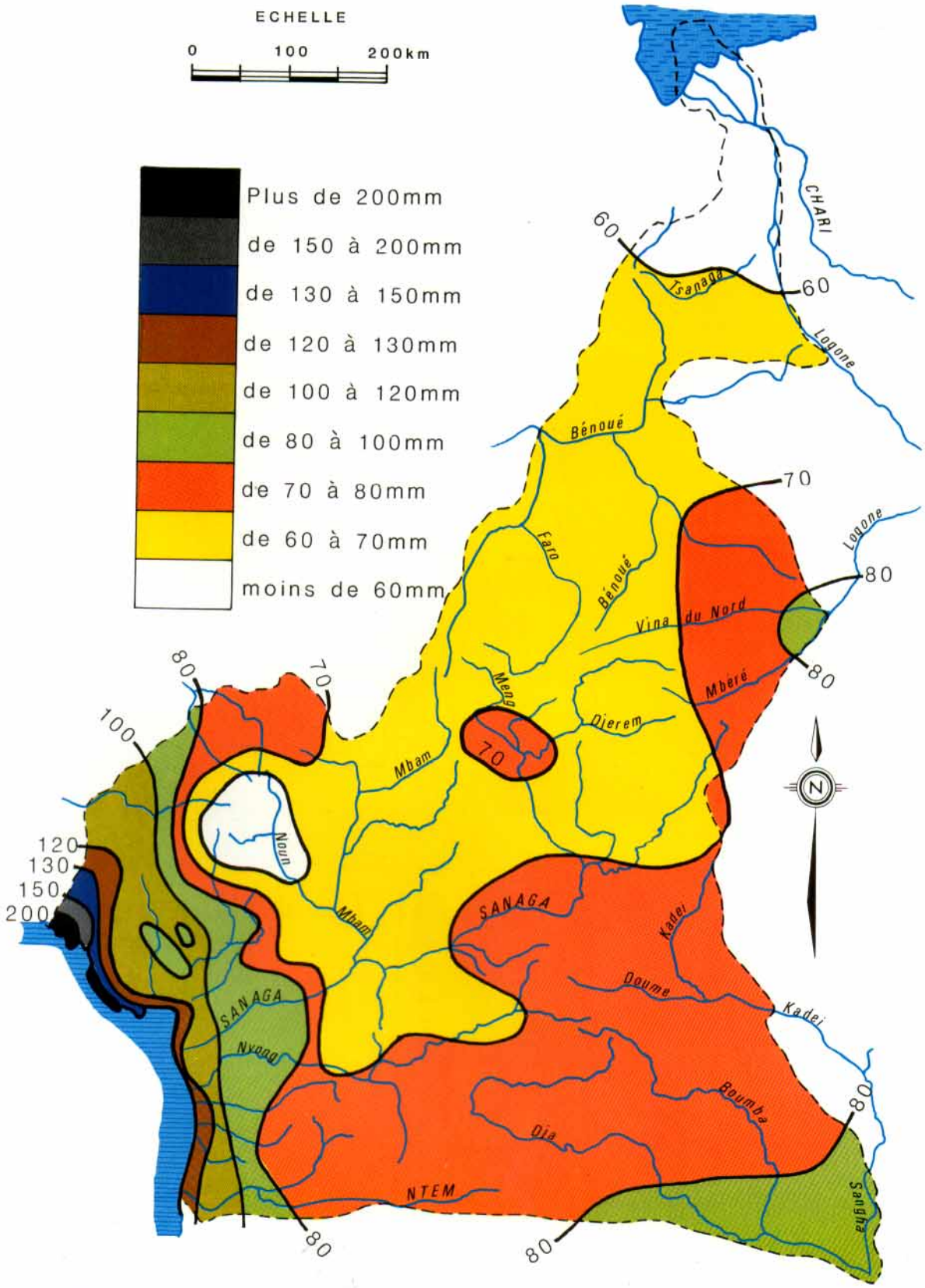


Planche 8. – Esquisse des courbes d'égales précipitations journalières de probabilité annuelle.

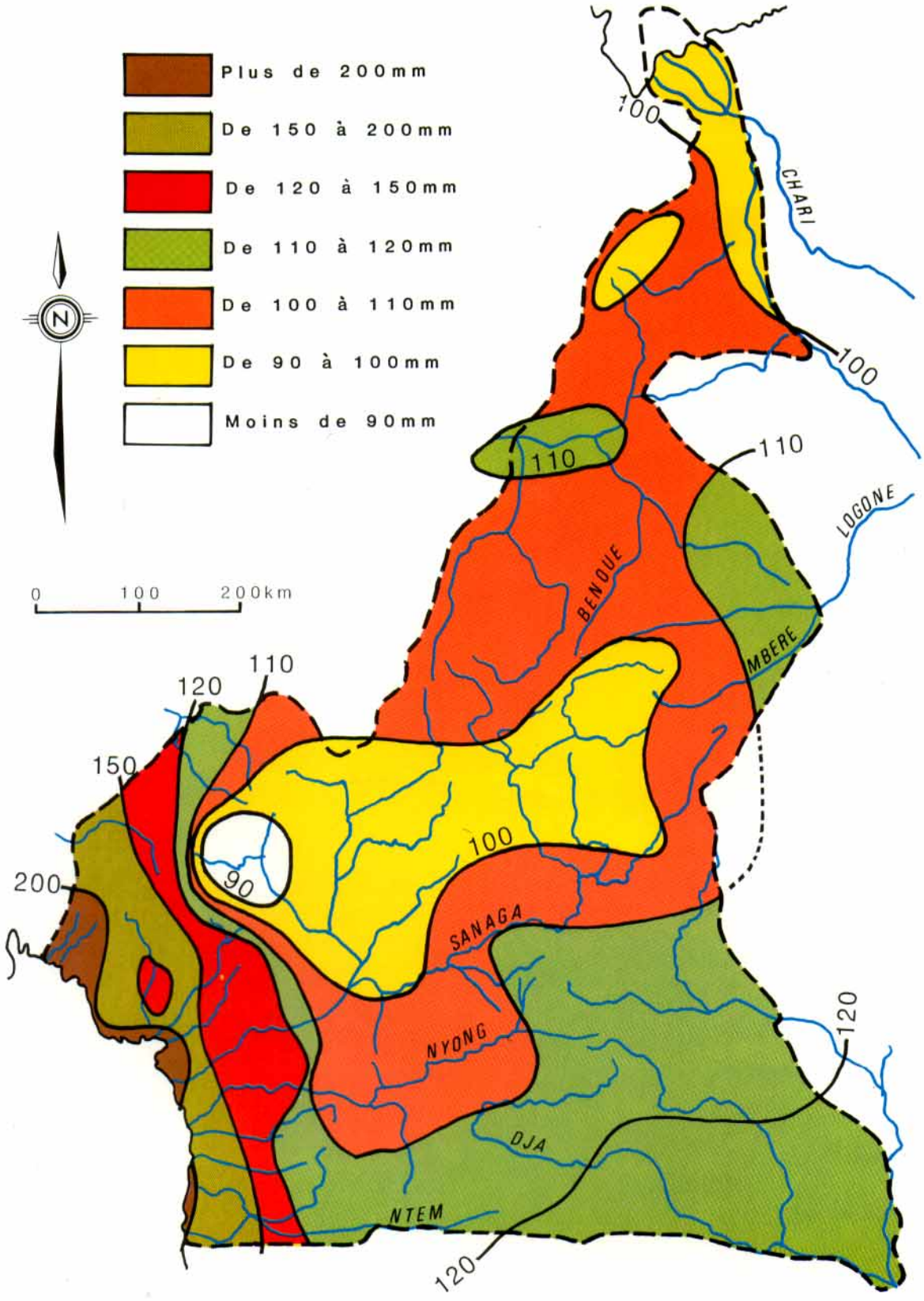

Plus de 200mm
De 150 à 200mm
De 120 à 150mm
De 110 à 120mm
De 100 à 110mm
De 90 à 100mm
Moins de 90mm
N
0 100 200km
CHARI
LOGONE
BENOUE
MBERE
SANAGA
NYONG
DJA
NTEM
100
110
120
150
200
90

Planche 9.

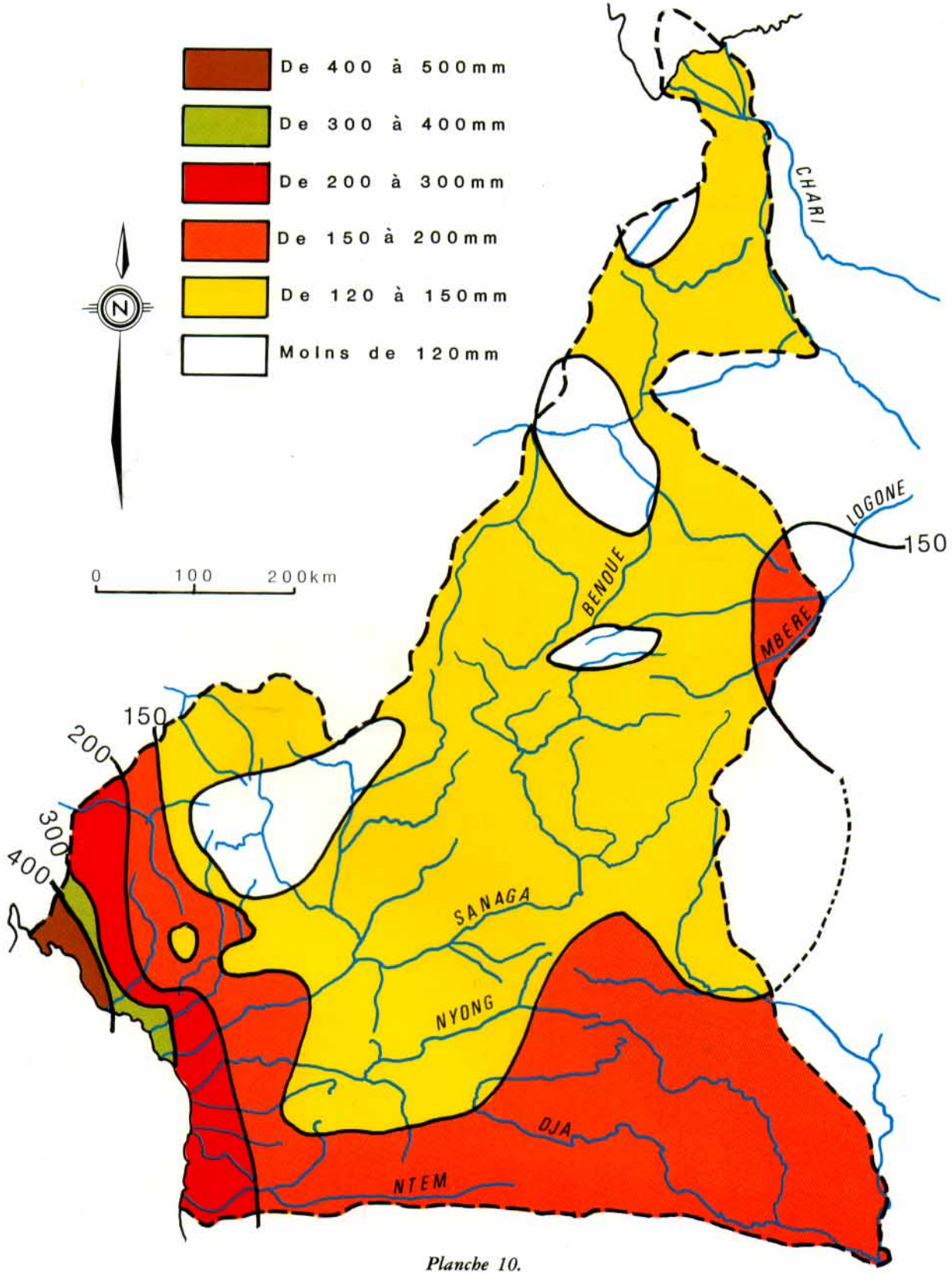

De 400 à 500mm
De 300 à 400mm
De 200 à 300mm
De 150 à 200mm
De 120 à 150mm
Moins de 120mm
N
0 100 200km
CHARI
LOGONE
150
BENOUE
MBERE
150
200
300
400
SANAGA
NYONG
DJA
NTEM

Planche 10.

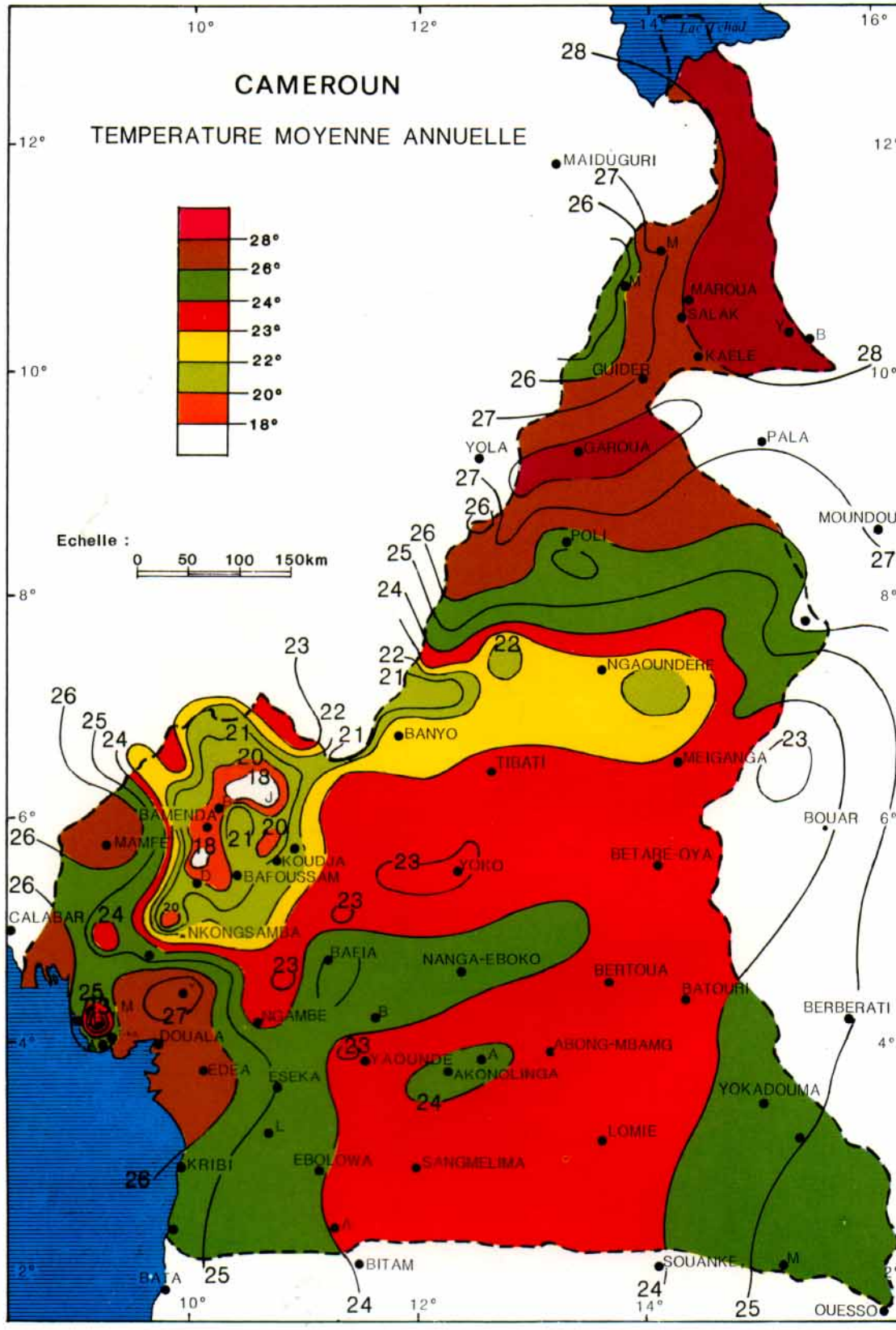


Planche 11. – (d'après J.B. Suchel).

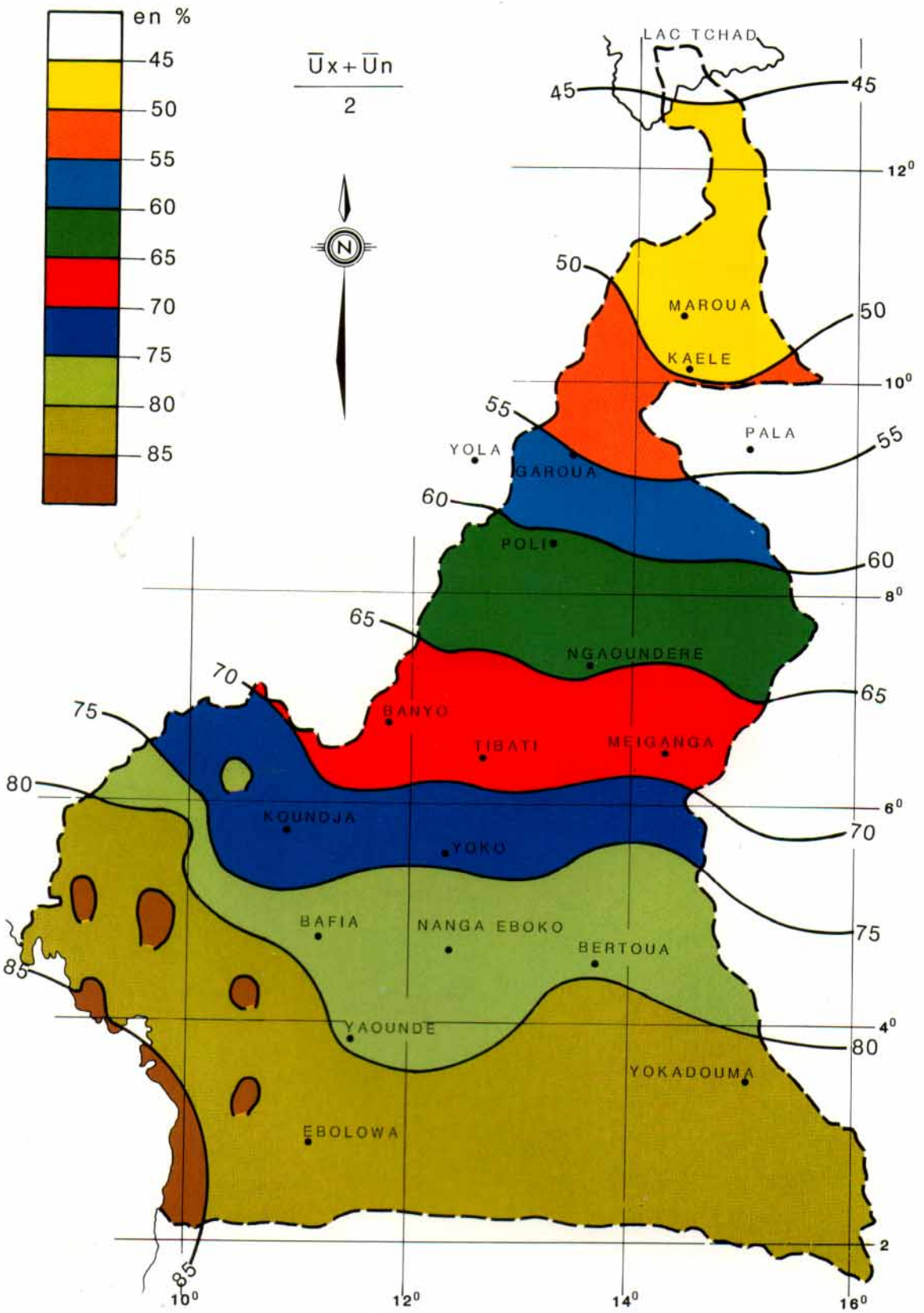

en %
45
50
55
60
65
70
75
80
85
$\frac{\overline{U}x+\overline{U}n}{2}$
LAC TCHAD
MAROUA
KAELE
PALA
YOLA
GAROUA
POLI
NGAOUNDERE
BANYO
TIBATI
MEIGANGA
KOUNDJA
YOKO
BAFIA
NANGA EBOKO
BERTOUA
YAOUNDE
YOKADOUMA
EBOLOWA
12°
10°
8°
6°
4°
2°
10°
12°
14°
16°

Planche 12.

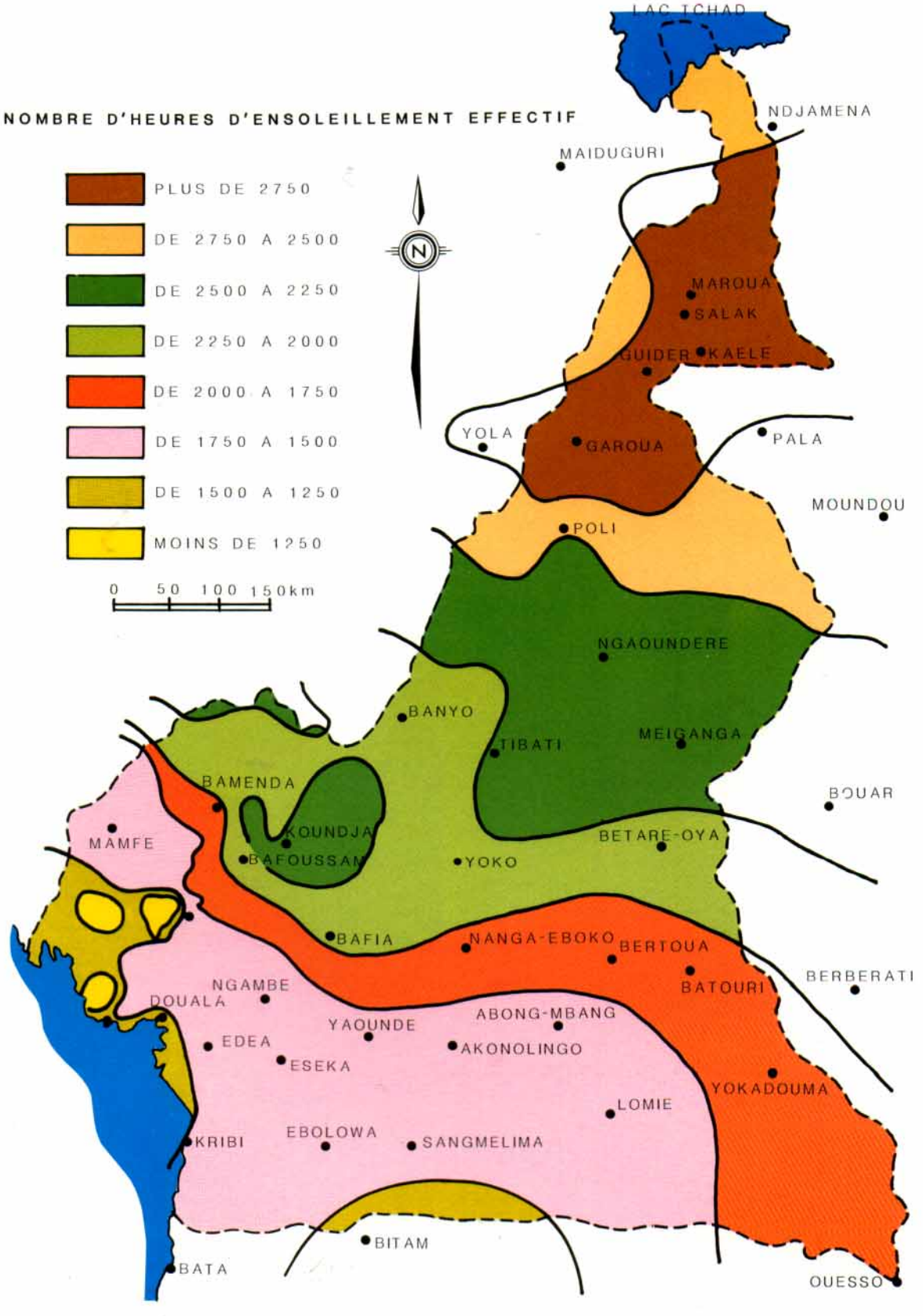


Planche 13. – Insolation moyenne annuelle probable (d'après J.B. Suchel).

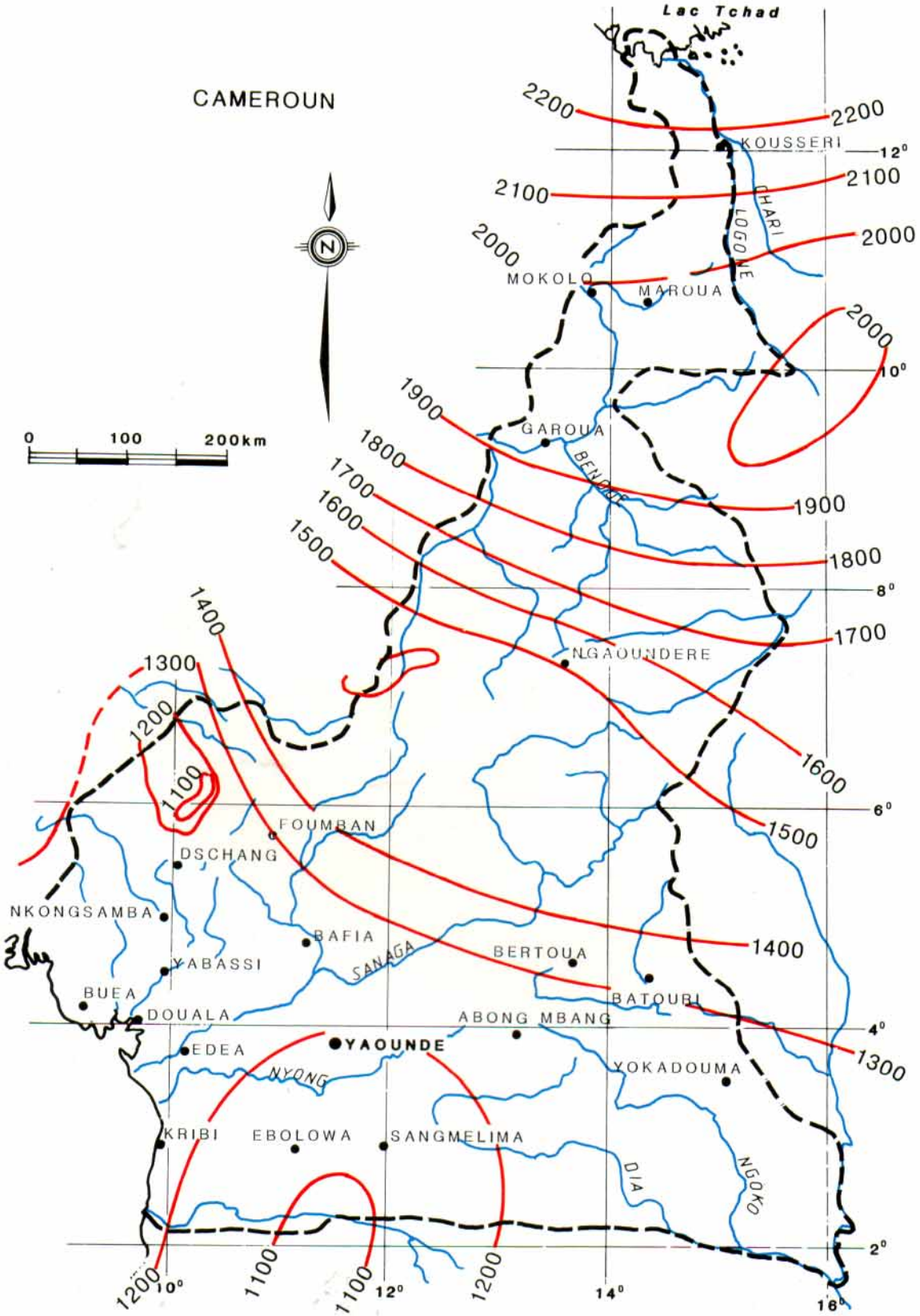


Planche 14. – Évapotranspiration potentielle. Valeurs annuelles en mm.

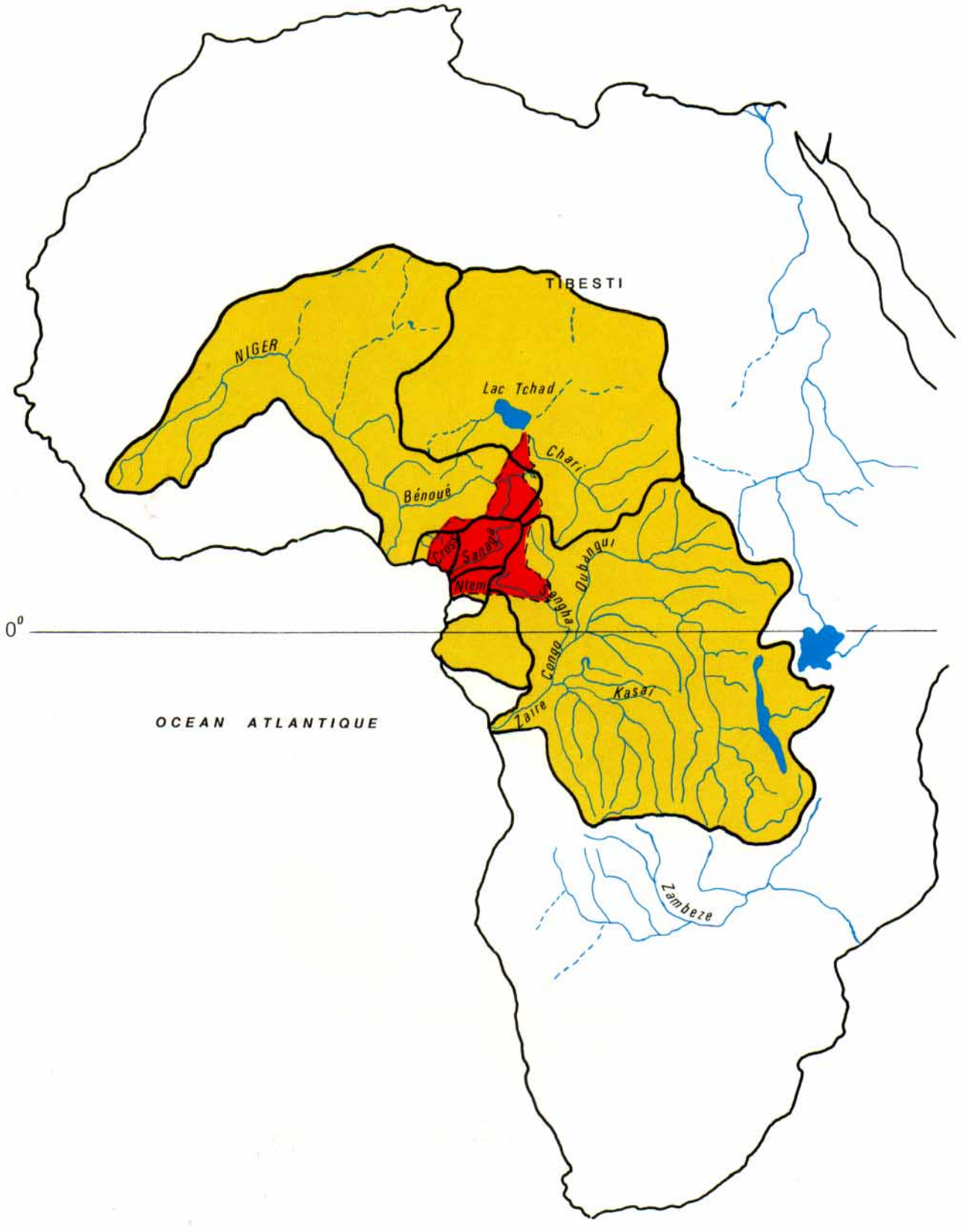


Planche 15. – La place du Cameroun dans l'hydrographie de l'Afrique.

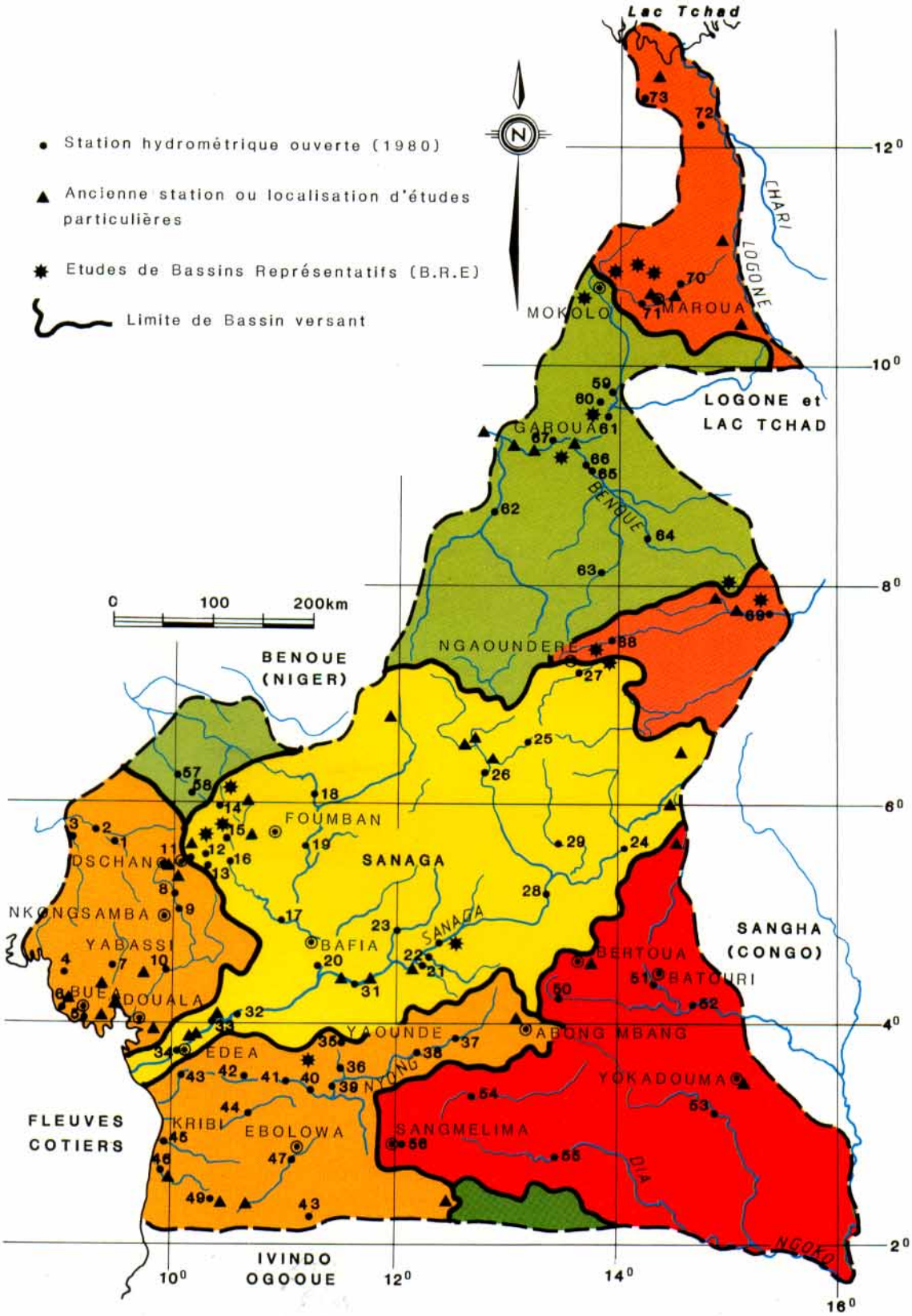


Planche 16. – Réseau hydrométrique du Cameroun.



◁ *Cliché Météosat dans le Canal Visible (6 mars 1978) (Météorologie nationale – Lannion).*

2e PARTIE

ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU NYONG ET DES FLEUVES CÔTIERS

Chapitre II — LE MILIEU NATUREL DES RÉGIONS DU NYONG ET DES FLEUVES CÔTIERS

Chapitre III — HYDROLOGIE DU NYONG

Chapitre IV — RÉGIMES HYDROLOGIQUES DES AUTRES FLEUVES CÔTIERS ET CONCLUSIONS

Étude hydrologique du Nyong et des fleuves côtiers

Le Cameroun s'ouvre sur l'Océan par une façade de plus de 400 km de longueur.

De l'estuaire de la Cross River à Calabar (Nigéria) à celui du Ntem à Campo, l'Océan reçoit les apports de quatorze fleuves principaux : la Cross, l'Akwayafo, le Ndian, la Moko, la Meme, le Mungo, le Wouri, le Dibamba, la Sanaga, le Nyong, le Lokoundje, la Kienke, la Lobe et le Ntem.

Mais ces fleuves sont d'inégale importance.

La Sanaga, à elle seule, draine un bassin versant plus étendu que le bassin camerounais de tous les autres fleuves côtiers réunis. La Sanaga rejoint l'Océan par un couloir étroit de 100 km de longueur sur 20 km de largeur et ses apports proviennent de régions nettement plus continentales que celles drainées par les autres tributaires camerounais du Golfe de Guinée. Elle a d'ailleurs fait l'objet d'une étude détaillée publiée en 1975 (Dubreuil *et al...*) dans laquelle nous avions rattaché son régime hydrologique au climat tropical de transition et dont nous reprendrons les principaux éléments plus loin dans cet ouvrage.

D'autres fleuves, modestes ou difficilement mesurables du fait de l'invasion marine d'estuaires profonds, n'ont pu faire l'objet que d'estimations. Le fleuve le mieux connu sur le plan des mesures hydrométriques est le Nyong. Son étude prendra ici une place de choix.

En se proposant de définir les caractéristiques du régime du Nyong, fleuve dont le bassin est entièrement sous couverture forestière, les études entreprises ont rapidement englobé l'ensemble des fleuves côtiers du Cameroun. En effet ceux-ci ont en commun avec le Nyong de drainer des bassins recevant des précipitations toujours suffisamment abondantes pour permettre le développement de la « grande forêt humide ».

De plus c'était l'occasion de faire le point sur l'inventaire des ressources en eau des régions tributaires de la façade maritime du Cameroun.

Ce problème des ressources en eau fait d'ailleurs toujours l'objet des préoccupations des planificateurs, en particulier dans les régions de forts peuplements. Or, si les régions étudiées dans cet ouvrage couvrent certaines zones de grande forêt inhabitées, elles englobent aussi deux des trois pôles de forte densité démographique du Cameroun : la région de Yaoundé et l'Axe Douala-Pays Bamiléké. C'est dire l'importance que revêt pour ces régions une bonne appréciation des ressources hydriques, celles-ci provenant presque exclusivement des eaux de surface.

Comme cela a été dit, le réseau hydrométrique est caractérisé par une densité, une ancienneté et parfois une qualité inégales.

De fait, l'hétérogénéité de l'information quoique en partie corrigée par l'analyse statistique des séries d'observations, aboutit à une détermination plus ou moins fine des caractéristiques hydrologiques des différents cours d'eau étudiés.

Dans l'état actuel des recherches, seules des estimations ont pu être faites pour quelques cours d'eau secondaires. Ces estimations sont alors obtenues par analogie avec des fleuves voisins situés dans un même écosystème.

CHAPITRE II

Le milieu naturel des régions du Nyong et des fleuves côtiers

Les régions du Nyong et des fleuves côtiers de la façade atlantique du Cameroun sont naturellement couvertes de forêts : la « grande forêt humide ».

Mais la forêt camerounaise est loin de constituer un seul écosystème et les régions étudiées sont très diversifiées. Elles se partagent globalement en deux sous-ensembles géographiques bien distincts dont les caractéristiques climatiques, géologiques, pédologiques et géomorphologiques conditionnent les régimes hydrologiques.

Ces deux sous-ensembles s'individualisent l'un au nord-ouest, l'autre au sud de la Sanaga.

Au nord, les fleuves côtiers drainent surtout des régions aux reliefs vigoureux, marquées par le volcanisme et soumises au climat équatorial côtier nord caractérisé par une longue et abondante saison des pluies. Ces régions nord couvrent 45 000 km².

Au sud, les régions étudiées sont généralement moins arrosées et soumises au climat équatorial de transition à deux saisons des pluies ; le substratum géologique est précambrien et les reliefs sont dans l'ensemble assez mous. Les régions sud couvrent une superficie de 71 000 km².

Si nous nous proposons de voir plus loin à l'occasion de l'étude hydrologique proprement dite les caractéristiques géomorphologiques de forme, de relief, données spécifiques à chaque bassin, il nous a paru intéressant de préciser dans ce chapitre les éléments qui caractérisent l'environnement géographique d'une part, l'environnement climatique, d'autre part, de ces régions.

Nous serons naturellement amené à insister sur les éléments susceptibles de jouer un rôle dans les régimes hydrologiques et à dégager les différences relevées à l'intérieur de la région. Ce chapitre sera aussi l'occasion de compléter au niveau régional l'esquisse générale qui a été proposée en début d'ouvrage.

1. L'ENVIRONNEMENT GÉOGRAPHIQUE

1.1. La végétation – *Une constante des paysages : la forêt humide*

Les bassins étudiés ont tous en commun d'appartenir au domaine de la forêt dense humide. C'est leur caractéristique commune essentielle, essentielle dans le paysage mais aussi pour leur comportement hydrologique.

Cette forêt dense humide forme un vaste ensemble phytogéographique qui dépasse largement les limites des régions étudiées ici. Si la forêt passe rapidement sur le bassin de la Sanaga à la zone post-forestière congo-guinéenne où la savane progresse, elle se poursuit sans discontinuité dans la cuvette congolaise, à l'est, au Nigéria, à l'ouest, et au Gabon et en Guinée équatoriale au sud.

La forêt dense humide (moist forest) est caractérisée par :

- un étage dominant d'arbres élevés aux vastes frondaisons, aux fûts verticaux souvent munis à la base de contreforts ;
- un étage moyen d'arbres aux feuillages denses ;
- un étage inférieur constituant le sous-bois formé d'arbres, de rares plantes herbacées, de lianes aux aspects multiples.

Il est possible de distinguer au sein de la « grande forêt » plusieurs sous-ensembles dont les limites ne sont pas toujours bien nettes mais dont les grands traits floristiques se rattachent à l'écologie du milieu.

L'écologie de la forêt camerounaise dépend essentiellement des influences climatiques et altitudinales

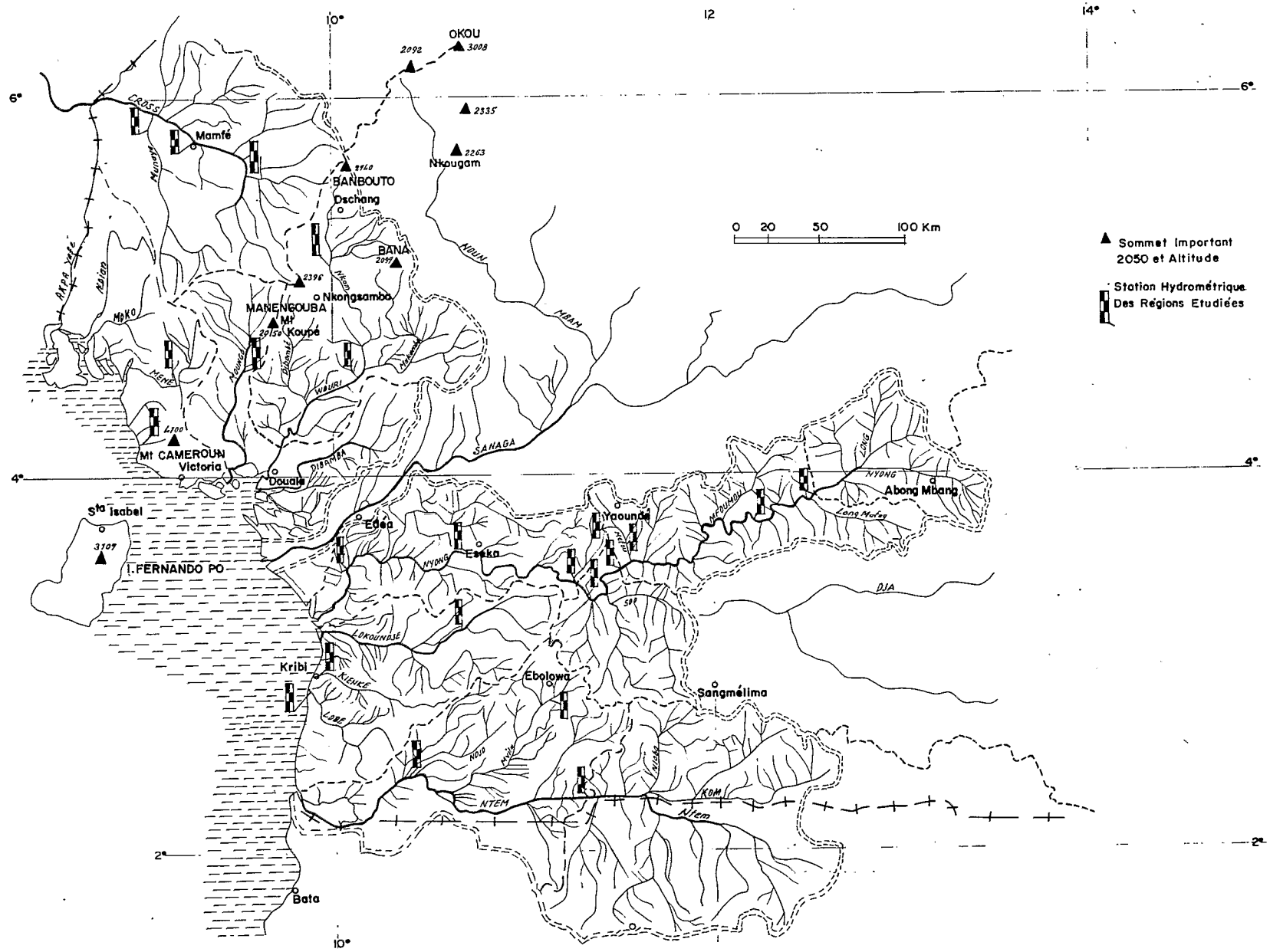


Fig. 2.1. – Hydrographie générale du Nyong et des fleuves côtiers.

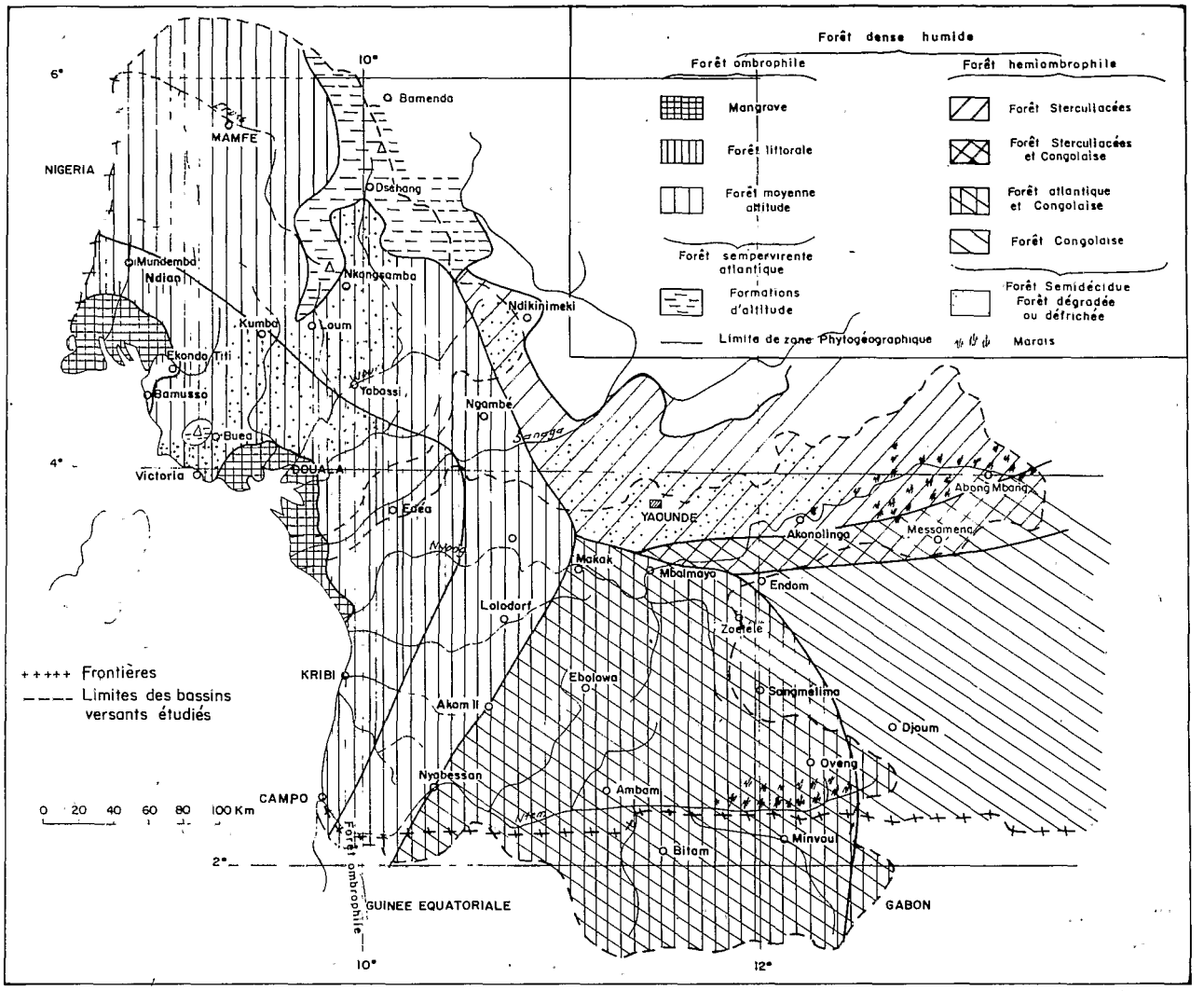


Fig. 2.2 – Phytogéographie des bassins du Nyong et fleuves côtiers.

et des influences biotiques (en particulier anthropiques). Les influences édaphiques (substratum, sols, topographie) ne jouent qu'un rôle secondaire.

Les influences climatiques se traduisent surtout par l'importance de la pluviométrie annuelle, le cycle des saisons et les températures (variant notamment avec l'altitude).

Les influences biotiques, essentiellement humaines, se manifestent par les défrichements agricoles, l'exploitation forestière et les usages domestiques, et, d'une manière générale, par une dégradation de la forêt originelle.

R. Letouzey distingue plusieurs sous-ensembles que nous allons rapidement décrire.

A) Forêt dense humide sempervirente de basse et moyenne altitude (appelée aussi forêt ombrophile)

Les Anglo-Saxons l'appellent « Rain Forest », ce qui traduit bien le caractère très arrosé des régions où cette forêt se développe.

L'isohyète annuelle 2 500-2 000 mm constitue *grosso modo* la limite inférieure de l'extension de cette zone phytogéographique, caractérisée par l'influence océanique.

a) *La mangrove* (1)

La mangrove occupe au Cameroun environ 2 500 km² :

- d'une part sur le bassin de Douala encadrant la baie du Wouri longeant la côte entre la Sanaga et le Nyong et remontant les biefs maritimes de ces fleuves, du Mungo et de la Dibamba ;

(1) Cf. « Étude d'une mangrove de l'estuaire du Wouri. Contribution à l'étude d'un Écosystème » – Voir bibliographie : Boye (M.), Olivry (J.C.) *et al.*, 1974.

– d'autre part, du nord-ouest de Bamusso à la frontière nigériane, en passant par Ekondo Titi et le sud de Ndian (Meme, Rio del Rey...). La mangrove se poursuit au Nigeria par la région de Calabar et les bouches du Niger.

Si la mangrove appartient bien au point de vue climatique à la forêt ombrophile, son écologie très particulière (influences édaphiques) détermine un paysage phytogéographique bien individualisé où dominent les palétuviers.

Trois zones principales peuvent être individualisées :
– paysages bordant les rivières et les criques de marée ou mangrove *sensu stricto* ;
– la zone intermédiaire de la mangrove peu mais régulièrement inondée ;
– l'arrière-mangrove s'apparentant à la forêt marécageuse continentale.

Pour l'ensemble de ces zones, on note un microclimat, de moins en moins net en allant vers l'intérieur, caractérisé par une atmosphère saline, la brise marine, et une humidité relative toujours voisine du taux de saturation.

1°) La mangrove *sensu stricto* se développe sur les dépôts meubles battus par les marées et colonise les dépôts alluviaux récents, les vasières, les nouvelles terres émergées.

Les marées y ont une amplitude variable dépassant fréquemment deux mètres.

Les formations à *Rhizophora racemosa* sont les plus importantes et sont pratiquement monospécifiques, surtout dans les zones de submersion importante. Sur les cours d'eau plus importants, ces palétuviers peuvent atteindre 45 m de hauteur et former une véritable futaie.

Ailleurs, ils forment une forêt basse (4 à 8 m de hauteur) très dense. Ces palétuviers dressent leurs troncs minces et rectilignes, à la cime pyramidale fastigiée, appuyés sur des racines échasses arcboutées recouvertes à marée haute et se terminant à leur base par de petites racines qui fixent le sol.

Une autre espèce, *Avicennia germinans*, est associée dans une proportion assez faible à *Rhizophora racemosa* dont la régénération est très active.

Au sein de ces formations, dans les vasières à submersion quotidienne, on observe des fourrés d'une arécacée asiatique, *Nype fucticans,* palmier introduit en Afrique vers 1906 à Calabar.

On observe aussi, le plus souvent localisés sur les rives concaves des rivières, des fourrés à *Hibiscus tiliaceus* associés à *Acrostichum aureum* formant des touffes dorées qui tranchent sur le vert grisâtre de la mangrove.

Dans les zones à faible submersion, au bord de bras d'eau de faible importance, peuvent se développer des formations de légumieuses arborescentes constituant une forêt à *Oxystigma mannii* et *Cynometra mannii.*

2°) Dans la zone intermédiaire de la mangrove un seul type de végétation se rencontre, bien déterminé par sa physionomie et sa composition. On distingue trois strates :
– la strate supérieure est composée de *Rhizophora harrisonnii* et *Pandanus candelabrum,* arbres de 2 à 6 m de hauteur aux cimes non jointives et au feuillage relativement diffus, laissant pénétrer la lumière ;
– la strate intermédiaire est composée de diverses espèces ligneuses arbustives n'excédant pas 2 m de hauteur et ne formant pas un fourré continu ;
– la strate inférieure est essentiellement herbacée.

3°) L'arrière-mangrove est située au contact de la terre ferme, mais n'existe pas partout. La marée s'y fait sentir mais la salinité est pratiquement nulle. Cette formation amphibie a la physionomie d'une forêt marécageuse. On y distingue les espèces typiques de mangrove peu salée : *Rhizophora harrisonnii, Drepanocarpus lunatus, Ormocarpum verrucosum,* et des espèces de forêts inondées dont les Arécacées (palmier) : *Phœnix reclinata* et *Raphia palma-pina,* bien représentés.

b) *La forêt ombrophile de basse altitude, dite littorale*

Cette forêt forme un arc de cercle grossièrement parallèle au littoral, de 50 km environ de profondeur, ne dépassant généralement pas 200 m d'altitude. Elle est caractérisée (dans les régions non dégradées) par la présence de *Lophira alata,* appelé « bongossi,» en douala et « azobé » par les forestiers.

En fait, *Lophira alata* s'observe encore jusqu'à la longitude de Yaoundé, dans les vallées du Nyong et de la Sanaga, et c'est surtout son association floristique avec trois autres espèces abondantes qui caractérise cette zone de forêt. Il s'agit de deux grands arbres : *Cynometra hankei* (Nkokom) et *Saccoglottis gabonensis* (bidou ou ozouga) et, dans l'étage moyen de *Coula Edulis* (éwomé) utilisé pour les piquets de cases. Les autres essences ligneuses appartiennent à quelques familles : Annonacées, Olacacées, Guttifères, Ebénacées, et Euphorbiacées pour lez zones basses humides, où on rencontre aussi de vastes touffes de *Bambusa vulgaris.* Les clairières accidentelles se couvrent rapidement de *Selaginella, Scleria* et *Anthoscleista.* L'origine de cette forêt est relativement récente. En effet, *Lophira alata* est une essence héliophile et a dû se développer sur de vastes zones de défrichements culturaux remontant à un siècle ou deux.

Cette essence subit par ailleurs une défeuillaison rapide d'une à deux semaines en début de saison sèche (décembre) qui mérite d'être signalée dans la forêt sempervirente.

Au nord de Douala, vers Yabassi, Mbanga, Ekondo Titi et Mundemba, de grandes zones de plantations industrielles ont pratiquement remplacé la forêt (palmeraies, bananiers, hévéas).

Dans les zones de cultures traditionnelles, l'occupation ancienne ou récente est signalée par le fromager *(Ceiba pentandra)* et le parasolier *(Munsanga smithii).* Le palmier à huile y pousse spontanément.

Dans la région de Kribi, *Pausinystalia Yombimbe* donne une écorce contenant un alcaloïde recherché pour ses propriétés aphrodisiaques. Entre Kribi et Campo, la forêt est très dégradée ; *Terminalia superbia* y devient une essence de remplacement de plus en plus abondante. Les plages sableuses sont bordées d'un fourré littoral où *Coco nucifera* tient une place importante, malheureusement en régression du fait des ravages d'une maladie, la « pourriture du cœur », qui implique le renouvellement complet de la cocoteraie par une variété résistante.

c) Forêt ombrophile atlantique de moyenne altitude

Faisant suite à la forêt littorale, cette zone phytogéographique s'étend *grosso modo* jusqu'à 150 km vers l'intérieur du Cameroun. Elle atteint les contreforts montagneux situés au nord-ouest de Mamfé, dans la région de Nkongsamba, du plateau Bamiléké et des savanes de Ndikinimeki. Vers l'est, elle se développe jusqu'à une ligne Ngambé-Eséka-Ebolowa. Plus au sud encore, elle pénètre jusqu'à 250 km du littoral, Oveng, Djoum (au sud-est de Sangmélima) mais partage le territoire avec la forêt hémiombrophile congolaise.

Sur les reliefs bien arrosés, la forêt se développe en altitude, jusqu'à 2 500 m au Mont Cameroun, 1 500 m aux Monts Rumpis, 2 000 m aux Monts Koupé et Nlonako.

Floristiquement les Légumineuses dominent, mais les Irvingiacées, les Rosacées et les Césalpiniacées y occupent aussi une place importante. Parmi les Légumineuses, on trouve *Albizzia bipendensis, pachyloba, Amphimas ferruginea, Daniellia Klainei,* etc. Dans l'arrière-pays de Kribi, *Tetraberlinia bifoliolata* forme des peuplements purs d'origine très ancienne.

Entre Mbanga et Nkongsamba, vers Manfé, Yabassi, Edéa et Eséka, la forêt est très mutilée par de vastes plantations (bananiers, palmiers, café robusta) et les exploitations forestières (azobé, acajou rouge ou blanc, sapelli, ayous).

Dans la forêt dégradée, *Pycnathus microcephalus* est très répandu. *Albizzia zigia, gummifera* parsèment les palmeraies de Yabassi et du Diboum. Vers l'est, apparaissent des diverticules de la cacaoyère camerounaise.

Les limites septentrionales des bassins de la Cross et du Wouri s'appuient sur des reliefs (Manengouba, Bamboutos, Baloum, Bana) qui ne présentent plus que des vestiges de la forêt humide de montagne légèrement différenciée par quelques essences d'altitude, les pâturages y étant particulièrement développés avec notamment *Sporobolus pyramidalis* (grasslands dans la région de Bamenda). Au-dessus de 2 000 m (2 500 m pour le Mont Cameroun), la végétation surtout herbacée a été définie comme celle d'îlots « subalpins ».

L'ensemble de la forêt atlantique « toujours verte », appelée aussi forêt biafréenne à l'ouest (moist evergreen rain forest), couvre l'ensemble des bassins versants des rivières étudiées à l'ouest du bassin de la Sanaga.

Au sud de la Sanaga, elle couvre encore l'ensemble des bassins des petits fleuves côtiers et une bonne partie des bassins du Nyong et du Ntem.

B) Forêt dense humide semi-décidue de moyenne altitude

Cette forêt se développe dans les régions intérieures des bassins du Nyong et du Ntem, sous des précipitations annuelles inférieures à 2 000 mm et est soumise aux influences équatoriales ; elle est caractérisée par une certaine caducité périodique des feuillages et la densité moins forte des grands arbres (forêt hémi-ombrophile). C'est le domaine de la cacaoyère camerounaise. On y distingue une partie méridionale (forêt congolaise) et une frange de forêt à Sterculiacées, sur la partie méridionale du bassin du Nyong.

a) Forêt hémi-ombrophile congolaise

Elle s'étend sur toute la partie camerounaise du bassin du Congo située sous le parallèle 4° et déborde sous son aspect floristique original à l'ouest, sur le haut-bassin du Ntem, jusqu'à Djoum, Oveng et au nord sur le bassin du Nyong, entre Endom et Zoétélé.

En fait, elle est observée encore beaucoup plus à l'ouest jusqu'à une ligne Makak-Akom II-Nyabessan mais en association avec les essences de la forêt atlantique. De même, plus au nord, elle atteint, en association avec les essences de la forêt à Sterculiacées, une ligne Yaoundé-Abong-Mbang sur le bassin du Nyong.

L'individualisation de cette zone est rendue d'autant plus difficile que les zones de peuplements actuels (région de Mbalmayo, Sangmélima, Ebolowa) ou anciens ont amené une dégradation importante de la forêt originelle.

La région peuplée est essentiellement celle de la cacaoyère, ombragée d'arbres provenant souvent d'un recrû secondaire, *Albizzia gummifera, Ceiba pentandra, Terminalia superba, Triplochyton scleroxylon,* et *Musanga cecropioides* qui forme de vastes parasoleraies postculturales. Les espèces caractéristiques de la forêt congolaise appartiennent aux Méliacées *(Entandrophragma, Trichilia)* et aux Sapotacées qui abondent avec *Baillonella toxisperma.*

Parmi les formations graminéennes de dégradation, on trouve *Setaria Chevalieri,* mais *Pennisetum purpureum* (Sisongo) si commun dans la forêt hémi-ombrophile à Sterculiacées est inexistant ici.

b) Forêt hémi-ombrophile à sterculiacées

Par opposition à la forêt ombrophile, elle se distingue par ses fûts très droits, nombreux, souvent de dimension moyenne, aux écorces généralement

grises, par la caducité prolongée des feuillages de la plupart des grandes espèces ligneuses. Les trois étages de végétation sont peu discernables. Le sous-bois est toujours envahi de grandes plantes herbacées (Maranthacées).

L'abondance des Sterculiacées caractérise cette forêt, avec *Sterculia oblonga, rhinopetala, tragacantha, Mansonia altissima, Pterygota Kamerunensis, Cola cordifolia, Lateritia.* A cette flore s'ajoutent des Ulmacées *(Celtis)* et des Moracées. On observe aussi *Terminalia superba* (Limba). Les jachère forestières se couvrent de sisongo (herbe à éléphant).

Seul le bassin du Nyong en amont de Mbalmayo est concerné par cette zone forestière, très dégradée dans la région de Yaoundé et exploitée dans celle de Mbalmayo.

Les raphias sont communément observés dans les bas-fonds. La forêt inondée de la vallée du Haut-Nyong présente quelques essences ligneuses spécifiques : *Mitragyma ciliata, Paludosa,* et les plaines marécageuses voient le développement des herbes aquatiques avec notamment *Echinocloa stagina* dont nous reparlerons.

La description des différents paysages phytogéographiques rencontrés sur les bassins versants étudiés et de leur floristique, les distinctions qui ont été faites, ne permettent pas d'envisager une différenciation des conditions de l'écoulement des rivières et des fleuves. La forêt dense humide constitue un facteur constant dans le régime hydrologique de ces cours d'eau. A l'échelle de grands bassins, même les zones de forêt dégradée, avec leur recrû secondaire, ne montrent pas d'incidence déterminante sur l'écoulement. Seules de vastes zones de plantations sont susceptibles de modifier certains paramètres hydrologiques. Mais les superficies concernées ne constituent qu'un faible pourcentage des bassins étudiés et ces plantations offrent généralement une couverture végétale dense comparable à celle de la forêt au point de vue « écran aux précipitations ».

Même pour de petits bassins représentatifs, les régimes hydrologiques dépendent davantage de la topographie, du réseau et de la nature des sols que de la nature de la forêt.

En fait, l'esquisse phytogéographique présentée ici traduit surtout les variations des conditions climatiques rencontrées dans les régions étudiées et en conditionne certains paramètres (humidité...).

Par ailleurs, la forêt participe à l'élaboration des sols dont les caractéristiques physiques interviennent au niveau de l'infiltration et du ruissellement des précipitations.

Enfin, et c'est là son rôle fondamental sur le plan hydrologique, la forêt dense humide offre un écran protecteur contre « l'agression » des précipitations, ce qui constitue un des traits communs majeurs aux bassins versants étudiés.

1.2. Le substratum géologique : *du socle cristallin aux dépôts sédimentaires et aux recouvrements volcaniques*

Comme pour l'ensemble du Cameroun, la couverture géologique des régions étudiées montre une prédominance des formations du « complexe de base » du précambrien. Cependant des formations de couverture, sédimentaires ou volcaniques, prennent dans les régions occidentale et maritime une extension importante.

L'Océan d'une part, par ses transgressions et régressions, la « ligne du Cameroun » (Passarge) d'autre part, par sa tectonique, ont permis dans l'ouest d'animer jusqu'à une époque récente une histoire géologique pratiquement figée dans les régions intérieures depuis la fin du précambrien.

Le bassin de la Sanaga sépare deux types de régions :
- l'une à couverture essentiellement précambrienne qui concerne les régions sud (bassins du Nyong, du Ntem...) ;
- l'autre à l'ouest (bassins du Wouri, du Mungo, de la Cross) dont la composante sédimentaire et volcanique prend une place importante dans la couverture géologique.

Les formations du socle ancien

Sans reprendre l'esquisse géologique proposée en 1re partie de cet ouvrage, rappelons que l'histoire géologique et tectonique du Cameroun commence à l'époque la plus reculée du Précambrien par les dépôts de sédiments en bordure du noyau le plus ancien (Catarchéen) du craton congolais dans ce qui aurait pu être un géosynclinal de la zone mobile. Les roches qui témoignent aujourd'hui de ces dépôts indiquent que les sédiments étaient principalement marneux, argilo-calcaires et rarement gréseux. Ces sédiments ont été traversés par des roches éruptives, granites syntectoniques anciens, diorites et gabbros, et ont subi par ailleurs un métamorphisme intense et profond (Catazone). Une importante phase de plissement (orogenèse Libérienne) a abouti à la formation du Complexe du Ntem dont l'extension est aujourd'hui limitée au sud du pays et qui constitue les bordures nord du craton du Congo (Archéen). La mise en place de ce complexe est achevée avec l'orogenèse Éburnéenne. Les granites sont suivant le cas d'âge précambrien D (2 700-3 000 millions d'années) ou précambrien C (2 000 à 2 300 M.A.).

Au nord de ce complexe du Ntem qui subsiste aujourd'hui sans avoir été remodelé, différentes phases d'érosion et de sédimentation ont abouti à la formation des séries intermédiaires (entre 1 800 et 1 300 M.A.) telles que les séries de Mbalmayo-

Bengbis d'Ayos et la série Schisto-quartzitique. Ces séries identifiées vers l'est en bordure du craton sont peu métamorphisées et n'ont pas été très affectées par l'orogenèse panafricaine qui va donner à l'ensemble de la zone mobile la physionomie du « Complexe ancien » que nous connaissons aujourd'hui.

Cette phase de plissements montre une direction générale des lignes tectoniques SW-NE ; elle est le plus souvent de type isoclinal. Elle sera suivie d'une intense phase de migmatisation qui se poursuit dans de nombreuses régions par une phase de granitisation. Il est alors bien difficile d'identifier dans ces « séries » de migmatites et granites les roches originelles. Les datations montrent que ces processus qui datent de 600 à 500 M.A. n'ont pas totalement « digéré » des roches anciennes qui subsistent en îlots dans des séries plus récentes (granites de la Lokoundje et du Nyong à 2 700 M.A.).

Parmi les terrains les plus anciens, l'ensemble charnokitique surtout observé à l'est de Douala pourrait se rattacher au complexe calco-magnésien du Sud-Cameroun, ou Complexe du Ntem. Ces charnokites sont surtout des gneiss et granites à hypersthène, des pyroxéno-amphibolites et des norites. Le Complexe du Ntem dans les régions d'Ebolowa et de Sangmélima comprend surtout des orthogneiss, granites et granodiorites à pyroxène.

Le cœur des anticlinoriums est occupé par des roches cratoniques et plutoniques (anatexites et granites syntectoniques non circonscrits de diverses variétés). Leur répartition est générale et semble liée aux gneiss calco-alcalins formant les flancs des anticlinaux. L'ensemble de ces gneiss calco-alcalins comprend des ectinites micaschistes et calciques (gneiss calciques, amphibolites, quartzites micacés...) et des embréchites et leptynites associés (gneiss-embréchites rubannés ou œillés).

Des formations pélitiques importantes occupant le cœur des synclinoriums sont localisées dans les régions ouest ; elles pourraient correspondre à des faciès de dépôts en mer profonde qui peuvent s'expliquer par l'éloignement plus grand du craton congolais où les faciès continentaux paraissent constituer la règle. Cet ensemble pélitique aboutit à des gneiss plagioclasi-

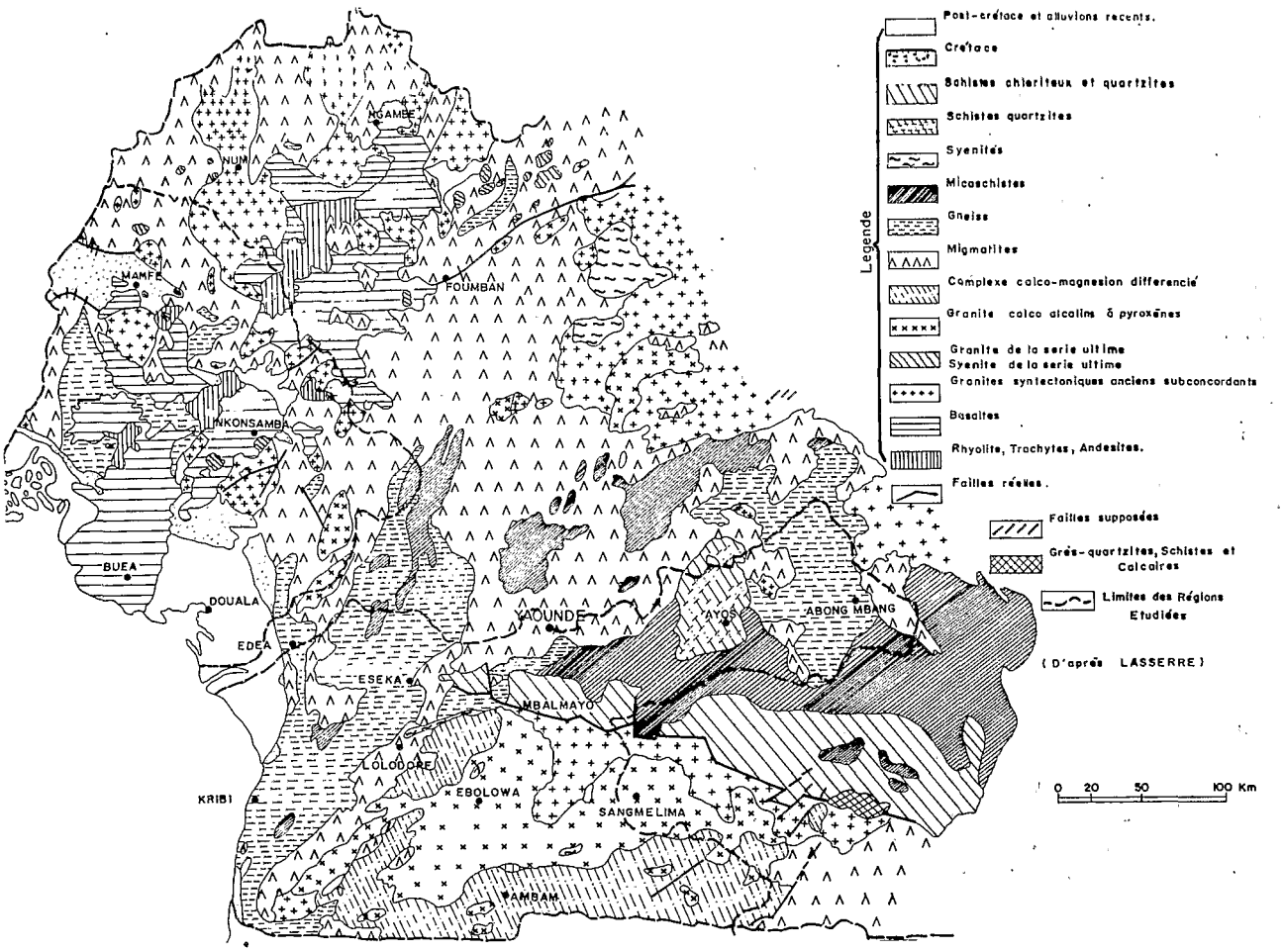


Fig. 2.3. – Esquisse géologique de la région étudiée.

ques, des gneiss leptynitiques alcalins et des quartzites micacés.

Le faible métamorphisme d'épizone a transformé les dépôts argileux ou argilo-gréseux continentaux en roches à faciès schisto-quartzeux (schistes, quartzites, ortho-amphibolites) de la Série d'Ayos sur le bassin du Nyong. D'autres dépôts aboutissent à la formation de schistes chloriteux constituant essentiellement la série de Mbalmayo-Bengbis.

Les Séries d'Ayos et de Mbalmayo-Bengbis sont les seules Séries intermédiaires à intéresser le bassin du Nyong.

Géomorphologie et cycles d'érosion

Une très longue période d'érosion succède au précambrien sans qu'aucun témoin subsistant ne permette d'en établir une chronologie précise. C'est seulement au Jurassique que Pugh (1954), cité par P. Segalen (1967), situe un premier cycle d'érosion décelable qui aurait amené l'aplanissement d'une surface dite de Gondwana dont les plateaux reconnus au Nigéria sont situés aujourd'hui à l'altitude de 1 400 m, tout comme le plateau Bamiléké.

Au crétacé, un changement du niveau de base aurait amené une reprise de l'érosion et la constitution d'une surface postgondwanienne d'altitude 1 000-1 200 m dont le plateau Bamoun, les îlots résistants des montagnes de Yaoundé ou celles d'Ebolowa pourraient être les témoins.

Au tertiaire, un nouvel aplanissement d'une grande extension en Afrique aurait conduit à la pénéplaine observée de nos jours à 600-700 m d'altitude, appelée Surface Africaine 1.

En fait, la géomorphologie et la tectonique ne permettent pas de préciser davantage l'histoire géologique « récente » des régions intérieures du Sud-Cameroun.

Les épisodes marins sur la côte et dans l'Ouest

Pour les régions côtières et occidentales, l'histoire connue a repris au crétacé.

Probablement à la même époque, une cause tectonique ou géomorphologique aurait déterminé la dénivellation, par rapport aux régions intérieures, de ce qui est devenu la plaine côtière du Cameroun, frange d'un bassin de subsidence centré sur le Wouri et qui va constituer une zone de convergence des principaux drains hydrographiques de la région, et du golfe de Mamfé ouvert sur les provinces ibos du Nigéria. Ces régions vont être soumises à une série de transgressions et de régressions.

- Le premier épisode marin de cette histoire « récente » se situe à l'Aptien supérieur dans le bassin de Campo (embouchure du Ntem) qui se rattache aux séries du bassin gabonais.
- Puis le golfe de Mamfé s'est ouvert à une mer albienne par l'Ouest et un bras de mer existait peut-être entre Mamfé et Kumba. La transgression des grès de base du Cénomanien dans la région de Mamfé remonte jusqu'à Nkongsamba par Ntale et Epen.
- Sur la plaine côtière, une transgression partie de l'ouest au Cénomanien (à l'Albien en Nigéria) atteint l'est au Sénonien inférieur (série de Logbadjeck). Les dépôts sont des grès de base *sensu lato* dont l'extension se limite vers l'est à une ligne Ndian-Kumba-Yabassi-Edéa-Nyong.

Les formations qui se déposent ensuite ont un faciès continental en bordure du socle et un faciès plus profond vers le centre du bassin côtier.

On observe trois cycles sédimentaires successifs au Turonien et au Sénonien. C'est au Sénonien que commence à jouer la flexure de Douala allant de Kompina à Edéa. Pendant le seul Sénonien, cette flexure a joué d'au moins 1 400 m si l'on en juge par la différence d'épaisseur des sédiments entre les zones bordières et le centre du bassin (2 800 m d'épaisseur). De son origine au quaternaire, cette flexure aurait joué de 4 000 m.

Une régression générale est observée à la fin du crétacé supérieur.

La région située à l'ouest de l'actuel Mont Cameroun aurait émergé (P. Diebold, 1960) depuis le crétacé terminal jusqu'au Miocène séparant ainsi le bassin de Douala de la région de Calabar.

Le bassin de Douala a probablement connu une émersion plus tardive. Des sédiments du paléocène et de l'éocène inférieur ont été reconnus du Mungo à Dizangué en passant par le Wouri. La lacune de l'éocène moyen et supérieur et de l'oligocène traduit aussi une émersion plus courte, la transgression miocène étant générale tant dans la région de Ndian que dans le bassin de Douala.

Le volcanisme

C'est pendant cette phase d'émersion à l'éocène qu'a probablement débuté le volcanisme dans l'ouest du Cameroun.

Le volcanisme a été d'abord basaltique, fissural sur de vastes surfaces, à dynamisme surtout hawaïen. Il a amené la mise en place des grands massifs volcaniques du Mont Cameroun, des Monts Rumpis, du Manengouba, des Bamboutos et des Monts de Bamenda (ensemble de la Dorsale camerounaise). A l'Éocène également, on observe les venues ultimes granitiques et syénitiques entraînant localement un métamorphisme de contact (Massif de Bana, Nlonako, Mont Koupé, Nda Ali).

Ce volcanisme basique a duré pendant tout le Miocène dont les sédiments sont interstratifiés avec des basaltes à l'ouest du Mungo.

Une deuxième phase volcanique acide (trachytes) accompagnée d'une tectonique cassante intense, probablement du début du Pliocène, se surimpose aux édifices basaltiques (Monts Rumpis, Ouest du Manengouba, Monts Bamboutos). Les sédiments du Pliocène n'ont pu être différenciés du Miocène dans les bassins côtiers.

Le quaternaire

Au quaternaire, le volcanisme basaltique a continué ou repris suivant les régions (Kumba, Loum, Manjo, Melong). Il est encore actuel au Mont Cameroun.

Des alluvions continentales se sont déposées dans la plaine des Mbos (Nkam). Des dépôts d'estuaire progressent vers le large, au milieu de la mangrove tant à l'Ouest (Rio del Rey) que dans la région de Douala (Mungo, Wouri où les sédiments atteignent 70 m d'épaisseur), et la partie maritime du bassin du Nyong.

L'hydrographie et la tectonique

Le passage du socle précambrien à la plaine sédimentaire littorale, marqué par la flexure Kompina-Edéa, est souligné dans l'hydrographie par un alignement, vers le sud, des ultimes ressauts des différents cours d'eau : chute de la Dibamba en amont de Bonepoupa, chutes de la Sanaga à Edéa dont l'aménagement a masqué l'initiale beauté, chute du Nyong à Dehane, rapides de la Lokoundje, rapides de la Kienké et chutes de la Lobe, ces dernières très spectaculaires tombant directement dans l'Océan. Si d'autres accidents hydrographiques des régions étudiées, chutes ou rapides, peuvent être attribués soit au passage d'une surface d'érosion à une autre, soit au volcanisme, soit à la différence de résistance des roches du complexe ancien, ceux évoqués ici correspondent bien au contact « socle-sédimentaire ».

L'examen du réseau hydrographique montre la permanence de deux directions préférentielles des cours d'eau qu'il faut rattacher à la tectonique. L'une, de SSW-NNE à SW-NE, correspond à la « ligne du Cameroun », ligne tectonique majeure dans le pays, à laquelle on doit des zones de broyage intensif avec la formation de zones mylonitisées importantes (Yabassi-Bafang, Kompany-Batie, Tchangue et Lokoundje à Bipindi, Ntem à Nyabessan). L'autre, secondaire, est orientée NW-SE ; elle a été appelée « ligne tectonique de la Bénoué ». Ces deux lignes tectoniques correspondent respectivement aux lignes somalienne et érythréenne qui seraient des constantes structurales de l'ensemble du socle africain. Bien entendu, la subordination du chevelu hydrographique au réseau de failles est d'autant plus marquée que les mouvements tectoniques ont été intenses, et par conséquent plus évidente dans les régions occidentales que dans le sud du pays.

L'opposition entre les régions de l'Ouest et du Sud-Cameroun

Au terme de cette histoire géologique locale, retracée ici à grands traits, on comprend mieux les différences géographiques qui opposent les régions du Sud-Cameroun aux régions occidentales.

A la monotonie géologique, sinon pétrographique, des séries du précambrien du Sud-Cameroun correspondent des régions au relief assez mou, où cependant des noyaux plus durs ayant résisté à l'érosion peuvent culminer jusqu'à 1 200 m d'altitude.

Aux régions occidentales, dont le modelé a été modifié par les transgressions marines, dont les différentes unités ont été « chahutées » par la tectonique et bouleversées par la surimposition du volcanisme, correspondent des bassins hydrographiques au paysage marqué par des reliefs vigoureux, tels le Mont Cameroun et les montagnes de la Dorsale camerounaise.

Une description détaillée des différentes séries géologiques rencontrées dans les régions étudiées, de leur faciès, de leur pétrographie, sort du propos d'une monographie hydrologique. Les différentes composantes de la couverture géologique de chaque bassin seront éventuellement précisées plus loin pour autant que cette information ait une incidence sur le régime hydrologique du cours d'eau étudié.

1.3. Esquisse pédologique : *Les sols sous forêt*

Au sud de l'Adamaoua, le processus majeur de formation des sols est la ferrallitisation ou individualisation des oxydes ou hydroxydes de fer et d'alumine, liée au climat humide et chaud. D'autres processus, tels le cuirassement des oxydes et hydroxydes, l'accumulation de matière organique, la formation de gley et pseudo-gley, interviennent également à des degrés divers.

Substratum géologique, modelé, climat, concourent à l'individualisation de différents types de sols cartographiés notamment par D. Martin (1966), P. Segalen (1957) et M. Vallerie (1968), et dont nous proposons une esquisse très vulgarisée.

A LES SOLS FERRALLITIQUES (Classe VIII)

Le climat semble jouer un rôle important dans la différenciation des sols ferrallitiques typiques en sols jaunes et en sols rouges : les sols jaunes occupent une large auréole côtière autour du golfe de Guinée (Baie de Biafra) et sont occupés par la forêt ombrophile ; les sols rouges, plus continentaux, reçoivent moins de précipitations et sont couverts par la forêt hémi-ombrophile.

En fait ce schéma, très imparfait, est altéré d'une part par la nature du substratum, d'autre part par les formes du modelé.

a) Les sols jaunes

Ils ont été différenciés en fonction de leur substratum sédimentaire ou cristallin.

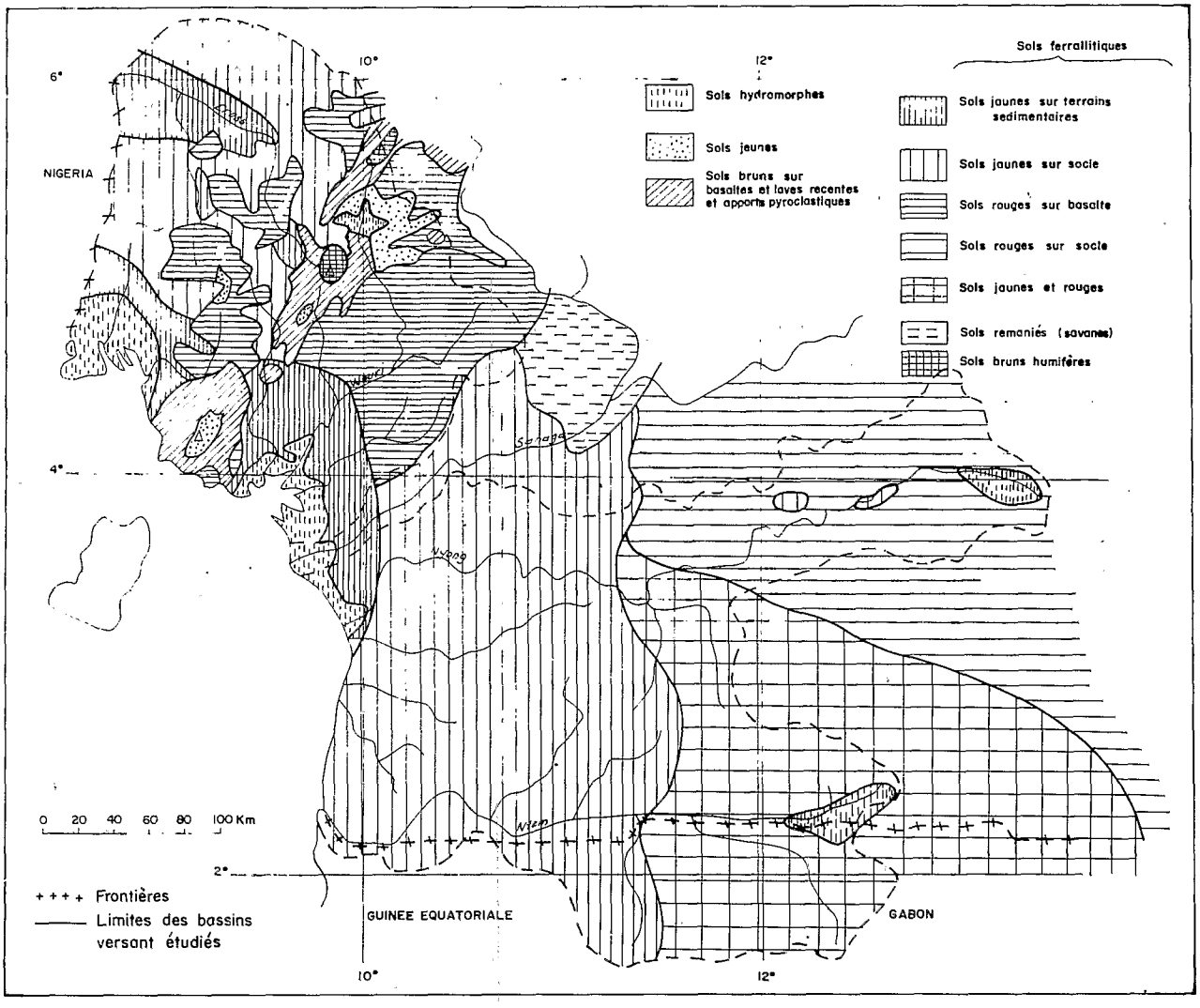


Fig. 2.4. – Esquisse pédologique.

1°) Sols jaunes sur roches sédimentaires (VIII 19)

Ces sols sont observés :

- de l'embouchure du Nyong à celle du Mungo pour la région de Douala, limités vers l'intérieur à une ligne Édéa-Yabassi-Mbanga ;
- dans la région de Ndian-Rio del Rey-Mémé Inférieure ;
- dans le golfe sédimentaire de Mamfé et ses prolongements sur la haute Munaya et le plateau de Ntale.

Formés sur des matériaux le plus souvent sableux ou gréseux du Crétacé au Miocène, ils contiennent une part importante de sables fins et grossiers (45 à 80 %). L'argile varie entre 10 et 50 %. Le limon ne dépasse pas 10 %. Les teneurs en matières organiques sont faibles, voisines de 2 % en surface.

Le pH est toujours acide mais croît avec la profondeur (de 5 à 6). Ces sols sont assez peu fertiles.

2°) Sols jaunes sur roches métamorphiques et éruptives anciennes (VIII 20)

Les roches-mères sont celles du complexe de base : gneiss, migmatites, granites à pyroxène, etc.

Les sols qui en dérivent occupent une grande partie des régions étudiées. Ils prennent notamment une grande extension au sud du Nyong où leur progression vers l'intérieur du pays est à rapprocher de celle de la forêt ombrophile associée à la forêt congolaise. Ainsi sur le haut-bassin du Ntem, on observe, suivant le modelé, des sols rouges ou jaunes. L'extension de ces sols jaunes dans des régions où la pluviométrie est inférieure à 1 700 mm montre bien les limites d'une différenciation basée sur la zonalité climatique.

Ces sols jaunes ne sont pratiquement pas observés sur le bassin du Wouri où la pluviométrie est dans l'ensemble supérieure à 2 m. Par contre ils sont bien

représentés sur le bassin de la Cross, le Haut-Mungo et le Rio del Rey.

Les profils présentent généralement :
- un horizon humifère de 5 à 10 cm, brun ;
- un horizon argileux jaune de quelques décimètres à plusieurs mètres ;
- une zone d'altération de la roche-mère présentant des bandes blanche et rouille.

On observe parfois à la base de l'horizon jaune des concrétions ferrugineuses passant à des cuirasses de faible étendue.

Les teneurs en argile sont généralement fortes (40 à 60 %) ; les sables représentent 30 à 50 % (sables fins). Le limon ne dépasse guère 15 %. Les teneurs en matière organique sont comprises entre 2 et 3 %. Ces sols sont acides et leur degré de fertilité est faible.

b) Les sols rouges

1°) Sols rouges sur roches métamorphiques et éruptives anciennes (VIII 17)

Avec les réserves qui ont été faites plus haut, ces sols rouges paraissent correspondre à une zone moins humide que pour les sols jaunes ; la pluviométrie est généralement inférieure à 2 000-1 800 mm. On rencontre cependant ces sols rouges sur une grande partie du bassin du Wouri en amont de Yabassi.

Ils constituent l'essentiel de la couverture pédologique du bassin du Nyong en amont de Mbalmayo et se retrouvent associés aux sols jaunes sur le bassin du Ntem et ceux du Soo et du Fala, affluents du Nyong en aval de Mbalmayo.

Du point de vue morphologique, les sols rouges sont assez proches des sols jaunes, à la couleur près. Leur structure est cependant moins compacte et paraît plus stable. Les horizons riches en concrétions sont souvent importants et des cuirasses de thalweg sont fréquentes. Les propriétés physiques et chimiques sont également assez voisines de celles des sols jaunes ; le pH est un peu moins acide.

2°) Sols rouges sur basaltes (VIII 18)

Ces sols sont l'aboutissement de la série évolutive des sols formés sur roches volcaniques soumis au processus de ferrallitisation. Ces sols se rencontrent sur les basaltes anciens des plateaux de l'Ouest, des bassins de la Cross, du Mungo et de la Mémé.

Ils sont remarquablement monotones et typiques. Souvent très profonds (5 à 10 m), ils apparaissent homogènes avec une structure généralement prismatique dans les premiers mètres.

La présence de pseudo-sables plus ou moins stables peut tromper sur la nature argileuse des horizons supérieurs. Les teneurs en argiles vont de 40 à 70 %, celles des limons varient de 25 à 30 %. L'horizon de surface est faiblement humifère et peu organique. Le pH est légèrement acide.

3°) Sols de savane (VIII 16)

Signalés ici pour mémoire, ces sols complexes remaniés à concrétions et à débris de cuirasse n'apparaissent qu'aux limites des régions étudiées (Ndikiniméki, Bafia).

c) Sols ferrallitiques cuirassées (VIII 22, VIII 23)

Ce sont des sols jaunes ou rouges, plus souvent rouges, qui présentent un horizon cuirassé. Dans la plupart des cas, la cuirasse résulte de l'action d'une nappe phréatique avec engorgement et enrichissement d'horizons profonds par des solutions riches en fer. Les cuirasses le plus souvent vacuolaires peuvent être concrétionnées ou massives. Dans les sols dérivés de basalte, elles sont alumineuses, mais dans le sud, elles sont riches en oxydes et hydroxydes de fer. Ces sols n'ont pas été cartographiés du fait de leur faible étendue et de leur dispersion dans les régions étudiées.

d) Sols ferrallitiques humifères (Classe VIII 21)

Ces sols sont assez peu étendus et localisés dans les parties élevées des massifs volcaniques de l'Ouest (Manengouba, Bamboutos). Au processus de ferrallitisation s'ajoute un processus d'enrichissement en matière organique dû aux conditions climatiques (température fraîche, 16° C au-dessus de 2 000 m). Le profil montre de 0 à 10 cm un horizon noir grumeleux et friable, puis de 10 à 40 cm un horizon noir compact et prismatique reposant directement sur le basalte altéré. Les teneurs en matière organique sont importantes.

B) LES SOLS HYDROMORPHES (Classe X)

Les sols hydromorphes résultent essentiellement de l'action sur une roche-mère quelconque pendant toute ou partie de l'année d'une nappe phréatique, le processus fondamental étant la formation d'un gley. L'accumulation de matières organiques, concrétionnement et cuirassement peuvent s'associer suivant les conditions du milieu.

Plusieurs distinctions ont été faites dans les régions étudiées.

a) Sols hydromorphes côtiers

Ces sols rencontrés sur des alluvions littorales du Rio del Rey et du bassin de Douala comprennent *grosso modo* les sols de mangrove et les sols plus continentaux de ces régions. Au sud de la plaine de Tiko, l'influence volcanique se traduit par un faciès des sols assez voisin de ceux établis sur roches volcaniques récentes.

Dans le bassin de Douala et celui du Rio del Rey les sols les plus continentaux sont pauvres en éléments nutritifs et le drainage difficile n'en permet pas la mise en valeur.

Pour la mangrove, trois grandes catégories de sols, avec toute une gamme de sols de transition, ont été définies :

- sols sableux plus ou moins humifères au niveau des plus hautes marées ;
- slikkes avec vase argileuse un peu sableuse dans la tranche bathymétrique intertidale ;
- tourbes ou argiles plus ou moins humifères au niveau moyen des hautes-mers.

b) **Les sols de marais** (X1)

On les observe sous les forêts marécageuses du Sud-Cameroun (Haut-Nyong et Haut-Ntem) où ils sont souvent associés à des sols ferrallitiques rouges.

Ils sont caractérisés par une accumulation de matière organique assez peu décomposée, riche en débris végétaux de toute sorte ; au-dessous on observe un horizon gris ou tacheté.

Le niveau de la nappe phréatique est le plus souvent très élevé pendant toute l'année ; le sol ne sèche jamais et la transformation minérale des produits organiques est très lente.

c) **Les sols hydromorphes à concrétions** (X 3)

Ils sont observés principalement dans la plaine des Mbos (haut-bassin du Wouri-Nkam). Le profil caractéristique montre :
- un horizon gris humifère argilo-sableux de 0 à 30 cm,
- un horizon ocre à concrétions ferrugineuses noires de 30 à 120 cm,
- de fortes concentrations de concrétions ferrugineuses sur 20 cm,
- un horizon argileux gris bigarré de rouge et ocre jusqu'à 230 cm,
- puis l'horizon de gley typique.

Les teneurs en argile varient de 40 à 60 %, le limon de 15 à 25 % et le sable de 10 à 50 % suivant la nature des dépôts alluviaux initiaux.

C) LES SOLS JEUNES

Essentiellement localisés dans les régions occidentales de l'étude, ces sols comprennent des sols bruts ou peu évolués d'érosion et des sols bruns sur matériau volcanique récent.

a) **Les sols bruts peu évolués** (Classes I et II)

Ils occupent une faible superficie et sont localisés au pourtour des massifs montagneux ou des falaises. On les observe notamment sur le rebord sud du plateau Bamiléké et au Mont Cameroun. Ce sont le plus souvent des sols de pente assez minces soumis à une érosion accélérée lorsque la couverture végétale est pauvre. Des apports de cendre volcanique amènent la formation de sols plus épais et plus riches qui font la transition avec les sols bruns.

b) **Les sols bruns** (Classe IV)

Ils se sont développés sur un matériau volcanique récent, principalement des basaltes, et sont observés dans le pourtour du Mont Cameroun, la région de Kumba, Mbanga et de Nkongsamba, le Nord-Est du bassin de la Cross.

Les sols bruns, plus évolués que ceux provenant d'apports pyroclastiques, sont cependant juvéniles et présentent un profil peu différencié de couleur brune, profond de 1 à 3 mètres. La structure est généralement grumeleuse, la porosité bonne et la perméabilité assez forte. Ils présentent une forte teneur en limon et sont généralement sablo-limoneux ou argilo-limoneux. Ils sont riches en matière organique (10 % en surface) et sont généralement très fertiles.

2. L'ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE : PARAMÈTRES RÉGIONAUX DU CLIMAT

Les bassins du Nyong et des fleuves côtiers appartiennent à des zones humides et arrosées, qui caractérisent le domaine de la forêt, mais diffèrent entre elles suivant la latitude, l'altitude ou la proximité de l'océan.

Nous avons déjà décrit les mécanismes déterminants caractérisant les différentes zones climatiques observées au Cameroun (anticyclone de Sainte-Hélène et dépression ou anticyclone Saharien). Les oscillations saisonnières du Front Intertropical (FIT), qui sépare la masse d'air maritime instable et humide de la masse d'air continental, stable et très sec, suivent *grosso modo* le déplacement en déclinaison du soleil d'un tropique à l'autre et déterminent en un point donné l'observation de plusieurs types de temps suivant la saison.

Alors qu'en zone tropicale, on observe deux saisons principales (sèche et humide), les régions équatoriales de transition présentent quatre saisons : deux saisons sèches d'inégale ampleur séparées par deux saisons des pluies. La petite saison sèche s'observe au sud du parallèle 5°, lorsque le FIT atteint sa position septentrionale (juillet). La grande saison sèche correspond à la position la plus méridionale du FIT qui descend jusqu'aux latitudes de Yaoundé (janvier).

Ce type de climat à quatre saisons concerne les bassins hydrographiques du Sud-Cameroun, du Nyong au Ntem. Au nord de Douala par contre, la proximité du golfe de Guinée entraîne l'observation de deux saisons : une longue saison des pluies, alimentée par une mousson puissante, et une saison

Tableau 2.1. – Liste des stations météorologiques.

N°	STATIONS	Lat. N	Long. E	Alt. m	PARAMETRES MESURES AUTRES QUE LES PRECIPITATIONS
	Régions côtières nord-ouest				
1	Mamfé	5° 42	9° 18	126	T U e Ep ETP I
2	Dschang	5° 27	10° 03	1382	V T U e Ep ETP I
3	Nkongsamba	4° 57	9° 56	877	V T U e Ep ETP
4	Nkondjock	4° 52	10° 15	200	
5	Loum	4° 42	9° 43	242	
6	Kumba	4° 38	9° 27	236	
7	Mbanga	4° 30	9° 34	115	
8	Idenau	4° 12	8° 59	10	
9	Buea	4° 09	9° 14	700	I
10	Ekona	4° 08	9° 15	380	
11	Débundscha	4° 06	8° 59	18	
12	Bota	4° 07	9° 12	10	
13	Tiko	4° 05	9° 21	46	T U e Ep ETP I
14	Yabassi	4° 27	9° 58	30	T
15	Douala	4° 04	9° 41	12	V T U e Ep ETP I
16	Yingui	4° 32	10° 18	200	
17	Edéa	3° 48	10° 08	31	V T U e Ep
18	Dizangué	3° 45	10° 00	50	
	Sud-Cameroun				
19	Eséka	3° 38	10° 47	423	V T U e Ep
20	Lolodorf	3° 14	10° 44	440	
21	Makak	3° 33	11° 02	600	
22	Yaoundé	3° 50	11° 32	782	V T U e Ep ETP I
23	Mbalmayo	3° 31	11° 30	641	
24	Akonolinga	3° 46	12° 15	671	T U e Ep
25	Ayos	3° 54	12° 31	693	
26	Abong Mbang	3° 58	13° 12	694	V T U e Ep
27	Doumé				
28	Sangmélima	2° 56	11° 59	713	V T U e Ep
29	Ebolowa	2° 55	11° 09	603	T U e Ep
30	Nkoemvone	2° 49	11° 08	10	
31	Kribi	2° 56	9° 54	18	V T U e Ep
32	Campo	2° 22	9° 50	25	
33	Nyabessan				
34	Ambam	2° 23	11° 16	602	V T Ep
35	Djoum	2° 40	12° 41	684	
36	Bitam (Gabon)	2° 05	11° 29	600	Ep ETP

V : vents. *T :* Températures. *U :* Humidité. *e :* Tension de vapeur. *Ep :* Évaporation Piche. *ETP :* évapotranspiration potentielle (calcul Turc). *I :* insolation.

sèche d'autant plus brève que l'on se rapproche de la côte ; la plus ou moins grande abondance des pluies a permis aux climatologues de distinguer une zone dite à climat « équatorial côtier nord » et une zone dite à climat « tropical de l'Ouest » caractérisée par l'altitude élevée des régions concernées.

Nous nous proposons de préciser ici les valeurs et variations des principaux paramètres climatiques, mesurés aux différentes stations météorologiques dans le but de mieux définir les caractéristiques du climat des régions étudiées.

La pluie constituant le phénomène météorologique essentiel pour la connaissance du régime hydrologique, l'étude des précipitations a retenu plus particulièrement l'attention de l'hydrologue. Nombre de paramètres climatologiques étudiés ici sont indépendants, mais l'information est très inégale, que ce soit pour le nombre de paramètres mesurés, la durée des observations ou la répartition spatiale des stations.

2.1. Étude des principaux paramètres climatologiques

2.1.1. Vents (Vitesses et directions)

Mesurées à 6, 12 et 18 heures, les vitesses des vents ont été classées dans le tableau ci-dessous, par tranches de vitesses (m/s) en pourcentage du total des observations. Les vitesses du vent inférieures ou égales à 1 m/s, caractérisent les « calmes ».

Tableau 2.2

Vitesses m/s / Stations	⩽ 1	2-4	5-6	7-14	15-21	< 21
DSCHANG	67.5	28.2	3.31	1.0	0	0
NKONGSAMBA	63.0	25.3	10.2	1.46	0.04	0
DOUALA	54.1	41.3	4.34	0.33	0	0
EDEA	74.5	23.2	1.99	0.20	0.08	0
ESEKA	69.2	26.8	2.97	1.00	0.03	0
YAOUNDE	52.1	40.5	6.31	1.27	0.05	0.05
ABONG-MBANG	84.4	15.9	0.59	0.14	0.03	0
SANGMELIMA	88.2	11.1	0.6	0.1	0	0
KRIBI	57.4	41	1.5	0.1	0	0
AMBAM	85	14.1	0.68	0.20	0	0

Les vents sont rarement violents, sauf avant les tornades où l'on observe parfois de brèves bourrasques dont la probabilité d'être comptabilisées dans les stations météorologiques est très faible.

La carte de la figure 2.5 indique les fréquences moyennes annuelles des vents de surface, suivant les huit directions, le pourcentage des calmes étant rappelé par un cercle d'autant plus grand que les calmes sont importants.

Les vents dominants se situent dans le quadrant sud-ouest, avec comme direction principale le vent sud-ouest, direction générale de la « mousson » qui concerne l'ensemble de la région étudiée. Aux limites nord et est apparaissent pour une très faible part, des vents de quadrant nord-est correspondant aux avancées méridionales de « l'harmattan ».

La figure 2.6 montre pour Douala, Kribi, Yaoundé l'importance quasi permanente en janvier, avril, juillet et octobre du vent de quadrant sud-ouest.

On notera que les stations littorales sont plus ventilées que celles de l'intérieur (influence de la brise marine). Pour Yaoundé, le faible pourcentage de calmes s'explique par la situation de la station sur un plateau bien dégagé.

2.1.2. Température de l'air

Les valeurs caractéristiques moyennes mensuelles et annuelles, calculées pour 15 stations, ont été reportées dans les tableaux 2.3 et 2.4.

Tx est la moyenne mensuelle des températures maximales journalières

Tn est la moyenne mensuelle des températures minimales journalières

$\frac{Tx + Tn}{2}$ est la température moyenne mensuelle (T moy.)

Tx — Tn est l'écart diurne moyen mensuel.

Les variations mensuelles des premiers paramètres sont données dans la figure 2.7.

Variations des températures moyennes mensuelles

L'examen de ces tableaux et graphes montre que les variations mensuelles de la température moyenne dépendent principalement de celles des températures maximales, variations dont l'amplitude annuelle est la plus marquée.

Les variations de la température minimale moyenne mensuelle sont de faible amplitude ; le minimum est observé en décembre-janvier pour les quelques stations où l'influence tropicale et continentale se fait ressentir, en juillet-août pour la majeure partie des autres stations où la petite saison sèche est observée, et en octobre pour les stations de Douala, Tiko, Yabassi.

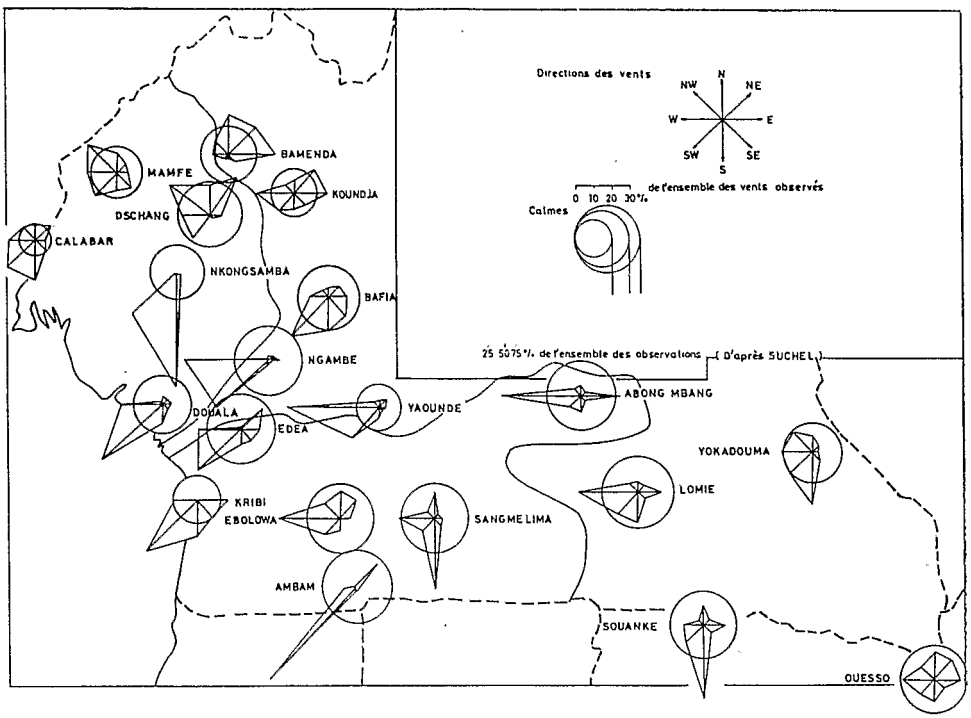


Fig. 2.5. – Fréquences moyennes annuelles des vents de surface selon les huit directions principales et des calmes.

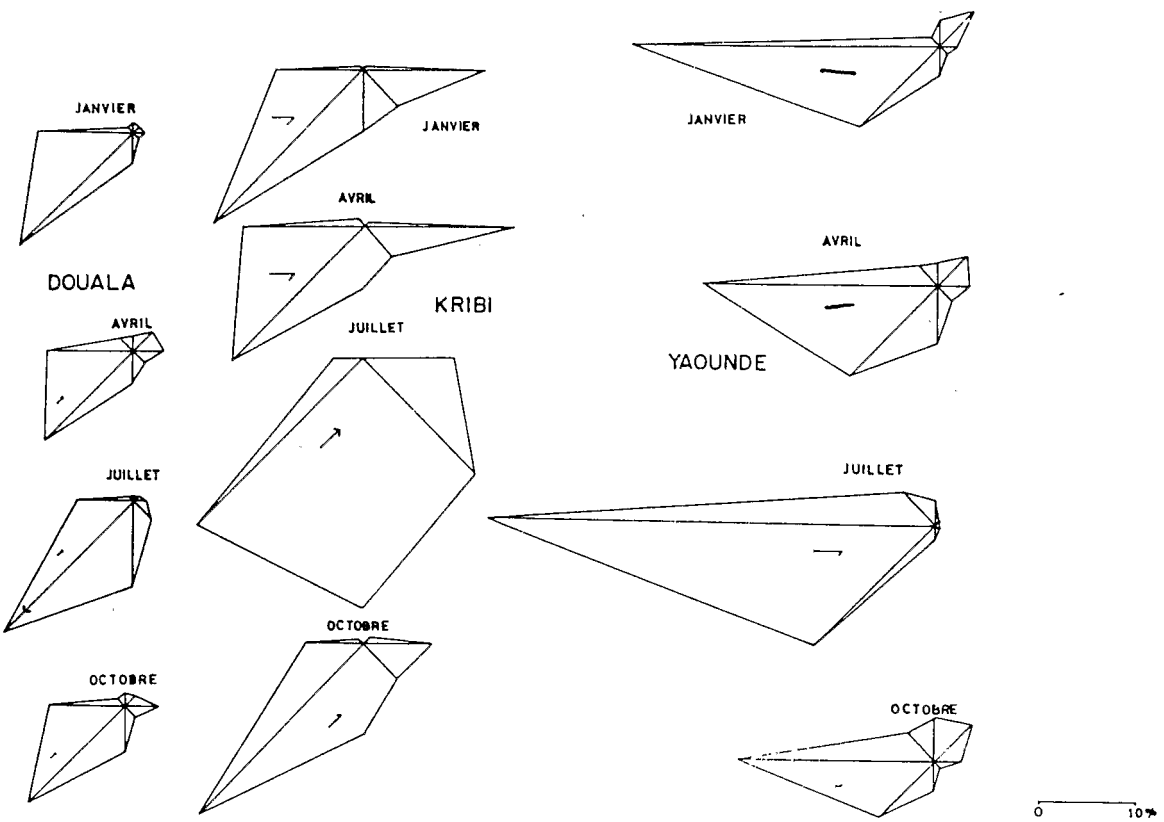


Fig. 2.6. – Fréquence moyenne mensuelle de la direction des vents pour les mois de janvier, avril, juillet, octobre aux stations de Douala, Kribi, Yaoundé.

Tableau 2.3. – Températures.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mamfé													
Tx	31.3	33.6	33.2	32.8	32.1	31.0	29.3	28.7	29.9	30.9	31.5	31.1	31.3
Tn	22.0	20.9	22.2	22.3	22.3	22.1	22.0	21.9	21.8	22.0	21.5	20.4	21.8
Tmoy.	26.6	27.3	27.7	27.5	27.2	26.6	25.6	25.3	25.8	26.4	26.5	25.7	26.5
Tx-Tn	9.3	12.7	11.0	10.5	9.8	8.9	7.3	6.8	8.1	8.9	10.0	10.7	9.5
Dschang													
Tx	26.9	27.4	26.7	26.0	25.1	24.0	22.5	22.3	23.4	24.3	25.4	26.4	25.0
Tn	13.6	14.6	15.6	16.2	16.2	15.5	15.5	15.5	15.4	15.4	14.6	13.4	15.1
Tmoy.	20.3	21.0	21.2	21.1	20.7	19.8	19.0	18.9	19.4	19.9	20.0	19.9	20.1
Tx-Tn	13.3	12.8	11.1	9.8	8.9	8.5	7.0	6.8	8.0	8.9	10.8	13.0	9.9
Nkongs.													
Tx	27.6	28.6	28.1	27.8	27.4	25.6	23.9	23.8	25.0	26.1	27.0	27.4	26.5
Tn	18.5	18.9	19.4	19.4	19.4	18.7	18.5	18.4	18.5	18.7	18.9	18.5	18.8
Tmoy.	23.1	23.8	23.8	23.6	23.4	22.1	21.2	21.1	21.8	22.4	22.9	22.9	22.7
Tx-Tn	9.1	9.7	8.7	8.4	8.0	6.9	5.4	5.3	6.6	7.4	8.1	8.9	7.7
Tiko													
Tx	31.4	32.2	31.8	31.7	31.2	29.3	27.3	26.9	28.3	29.5	30.3	30.9	30.1
Tn	22.0	22.4	22.6	22.5	22.4	22.1	22.1	22.2	22.1	21.7	22.1	21.5	22.1
Tmoy.	26.7	27.3	27.1	27.1	26.8	25.7	24.7	24.5	25.2	25.6	26.2	26.2	26.1
Tx-Tn	9.4	9.8	9.2	9.2	8.8	7.2	5.2	4.7	6.2	7.7	8.2	9.4	7.9
Douala													
Tx	31.1	31.8	31.8	31.7	31.1	29.2	27.2	27.1	28.4	29.5	30.3	31.0	30.0
Tn	23.0	23.5	23.3	23.1	23.2	22.9	22.4	22.4	22.5	22.4	22.8	23.0	22.8
Tmoy.	27.1	27.7	27.6	27.4	27.2	26.1	24.8	24.8	25.5	26.0	26.6	27.0	26.4
Tx-Tn	8.2	8.3	8.5	8.6	7.9	6.3	4.8	4.7	5.9	7.1	7.5	8.0	7.1
Edéa													
Tx	32.0	32.7	32.5	32.5	32.0	30.0	27.6	27.3	28.8	30.3	31.2	31.9	30.7
Tn	22.5	23.1	22.6	22.6	22.7	21.9	21.6	21.7	21.9	21.9	22.4	22.6	22.2
Tmoy.	27.3	27.9	27.6	27.6	27.4	25.9	24.6	24.5	25.4	26.1	26.8	27.3	26.5
Tx-Tn	9.5	9.6	9.9	9.9	9.3	8.1	6.0	5.6	6.7	8.4	8.8	9.3	8.4
Eséka													
Tx	29.9	31.0	30.9	30.5	29.7	28.1	26.1	26.0	27.4	28.3	29.1	29.6	28.0
Tn	22.0	22.0	21.6	21.3	21.3	20.9	20.3	20.1	20.4	20.4	21.0	21.8	21.0
Tmoy.	25.9	26.5	26.3	25.9	25.5	24.5	23.2	23.1	23.9	24.4	25.1	25.7	25.0
Tx-Tn	7.9	9.0	9.3	9.2	8.4	7.2	5.8	5.9	7.0	7.9	8.1	7.8	7.7
Yaoundé													
Tx	28.9	29.7	29.7	29.2	28.4	27.3	25.8	26.2	27.2	27.5	28.2	28.4	28.0
Tn	19.1	19.4	19.4	19.3	19.2	19.0	18.7	18.5	18.8	18.5	18.9	19.0	18.9
Tmoy.	24.0	24.6	24.6	24.3	23.8	23.2	22.3	22.4	23.0	23.0	23.5	23.7	23.5
Tx-Tn	9.8	10.3	10.3	9.9	9.2	8.3	7.1	7.7	8.4	9.0	9.3	9.4	9.0

Tableau 2.4. – Températures (suite et fin).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Akonol.													
Tx	28.9	30.7	30.4	29.7	29.3	28.1	26.9	26.9	27.9	28.0	28.8	28.8	28.7
Tn	19.6	20.1	19.9	19.9	19.8	19.8	19.4	19.6	19.5	19.4	19.9	19.3	19.7
Tmoy.	24.2	25.4	25.2	24.8	24.6	23.9	23.2	23.3	23.7	23.7	24.3	24.2	24.2
Tx-Tn	9.3	10.6	10.5	9.8	9.5	8.3	7.5	7.3	8.4	8.6	8.9	9.5	9.0
Abong Mbang													
Tx	28.2	29.7	29.9	29.7	28.9	28.1	26.2	26.4	27.7	28.1	28.6	28.1	28.3
Tn	17.3	17.8	18.9	19.0	18.9	18.8	18.6	18.6	18.8	18.6	18.3	17.6	18.4
Tmoy.	22.8	23.8	24.4	24.4	23.9	23.5	22.4	22.5	23.3	23.4	23.5	22.9	23.4
Tx-Tn	10.9	11.9	11.0	10.7	10.0	9.3	7.6	7.8	8.9	9.5	10.3	10.5	9.8
Kribi													
Tx	30.8	31.2	31.4	31.2	30.4	29.1	28.0	27.7	28.0	28.8	30.0	30.6	29.8
Tn	23.6	23.7	23.5	23.4	23.3	23.0	22.3	22.3	22.6	22.6	22.8	23.5	23.1
Tmoy.	27.2	27.4	27.5	27.3	26.8	26.1	25.2	25.0	25.3	25.7	26.4	27.0	26.4
Tx-Tn	7.2	7.5	7.9	7.8	7.1	6.1	5.7	5.4	5.2	6.2	7.2	7.1	6.7
Ebolowa													
Tx	28.8	29.6	29.4	29.4	28.7	27.4	26.2	26.2	27.1	27.5	28.1	28.3	28.1
Tn	20.1	20.3	20.0	20.0	20.1	20.0	19.7	19.6	19.7	19.7	20.0	20.1	19.9
Tmoy.	24.5	25.0	24.7	24.7	24.4	23.7	22.9	22.9	23.4	23.6	24.0	24.2	24.0
Tx-Tn	8.7	9.3	9.4	9.4	8.6	7.4	6.5	6.6	7.4	7.8	8.1	8.2	8.1
Sangmélima													
Tx	28.4	29.4	29.5	29.2	28.6	27.4	26.4	26.3	27.3	27.7	28.0	28.0	28.0
Tn	19.1	19.5	19.2	19.2	19.2	19.2	18.8	19.0	19.0	18.7	19.0	18.6	19.0
Tmoy.	23.7	24.5	24.3	24.2	23.9	23.4	22.6	22.2	23.1	23.2	23.5	23.3	23.5
Tx-Tn	9.3	9.9	10.3	10.0	9.4	8.2	7.6	7.3	8.3	9.0	9.0	9.4	9.0
Yabassi													
Tx	32.1	33.2	32.8	32.6	31.8	30.7	29.3	28.3	29.1	30.1	31.5	31.6	31.1
Tn	22.3	23.6	22.9	22.3	21.6	21.5	21.3	21.2	20.6	20.3	22.1	22.0	21.8
Tmoy.	27.3	28.3	27.8	27.4	26.7	26.1	25.3	24.8	24.9	25.2	26.7	26.8	26.4
Tx-Tn	9.8	9.6	9.9	10.3	10.2	9.2	8.0	8.1	8.5	9.8	9.4	9.6	9.4
Ambam													
Tx	28.5	29.3	29.5	29.2	28.2	27.4	26.5	25.8	27.2	27.4	27.8	27.7	27.9
Tn	20.6	20.9	20.3	20.5	20.2	20.4	19.6	19.7	19.9	19.9	20.3	20.3	20.2
Tmoy.	24.6	25.1	24.9	24.8	24.2	23.9	23.1	22.8	23.6	23.7	24.1	24.0	24.1
Tx-Tn	7.9	8.4	9.2	8.7	8.0	7.0	6.9	6.1	7.3	7.5	7.5	7.4	7.6

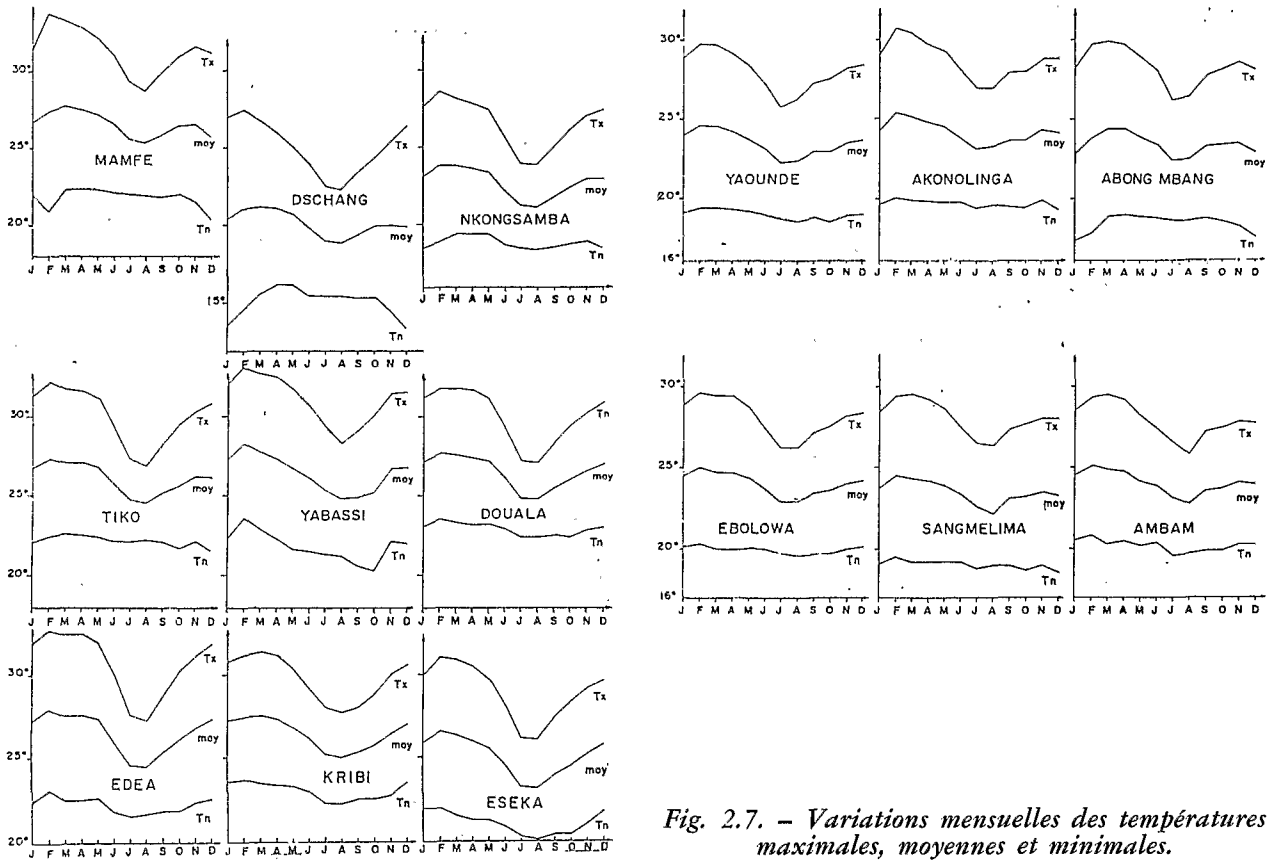


Fig. 2.7. – Variations mensuelles des températures maximales, moyennes et minimales.

Le maximum des températures maximales moyennes mensuelles s'observe en février, en fin de grande saison sèche, pour la plupart des stations de l'Ouest. Pour les stations du Sud et du Littoral, les valeurs maximales restent élevées de février à avril avec de plus fortes valeurs observées parfois en février, le plus souvent en mars. Le minimum des températures maximales est observé en juillet-août, le plus souvent en août, ce qui correspond suivant les régions, soit à d'abondantes précipitations (Douala, Nkongsamba, Yabassi), soit à la petite saison sèche des régions du Sud (brouillards, forte nébulosité). Les températures moyennes mensuelles suivent, nous l'avons dit, *grosso modo*, les variations des températures maximales, avec maximum en février-mars et minimum en juillet-août, mois qui sont respectivement les plus chauds et les plus froids de l'année.

Variations des écarts diurnes moyens mensuels

L'examen des écarts diurnes moyens mensuels montre que les plus fortes valeurs sont observées à la fin de la grande saison sèche ou au début de la saison des pluies qui lui succède. Le maximum d'amplitude de Dschang se situe en janvier et traduit l'influence du climat tropical de transition, influence qui est peut-être encore ressentie pour les stations continentales d'Abong-Mbang, Yaoundé et Mamfé où ce maximum apparaît en février. Cette influence du climat tropical de transition se traduit par des amplitudes supérieures à 10° C. L'influence océanique et équatoriale entraîne l'apparition plus tardive d'amplitudes maximales plus faibles (entre 8 et 10° C, en février, surtout mars, parfois avril).

L'écart diurne moyen mensuel minimum est observé en juillet ou août, exceptionnellement en septembre pour Kribi. Il est de faible amplitude pour les stations placées sous l'influence océanique (de l'ordre de 5° C) et rarement inférieur à 7° C pour les stations de situation plus continentale.

La figure 2.8. propose une carte de courbes d'égales amplitudes thermiques diurnes moyennes annuelles montrant l'influence de la continentalité et de l'orographie sur ce paramètre, l'écart diurne moyen annuel étant le plus faible sur le littoral. Pour les régions étudiées ici, il varie de 6° C à 11° C.

Températures moyennes annuelles

Une carte en courbes isothermes moyennes annuelles est donnée figure 2.8 (d'après Suchel). Les zones les plus chaudes se situent sur la bande côtière

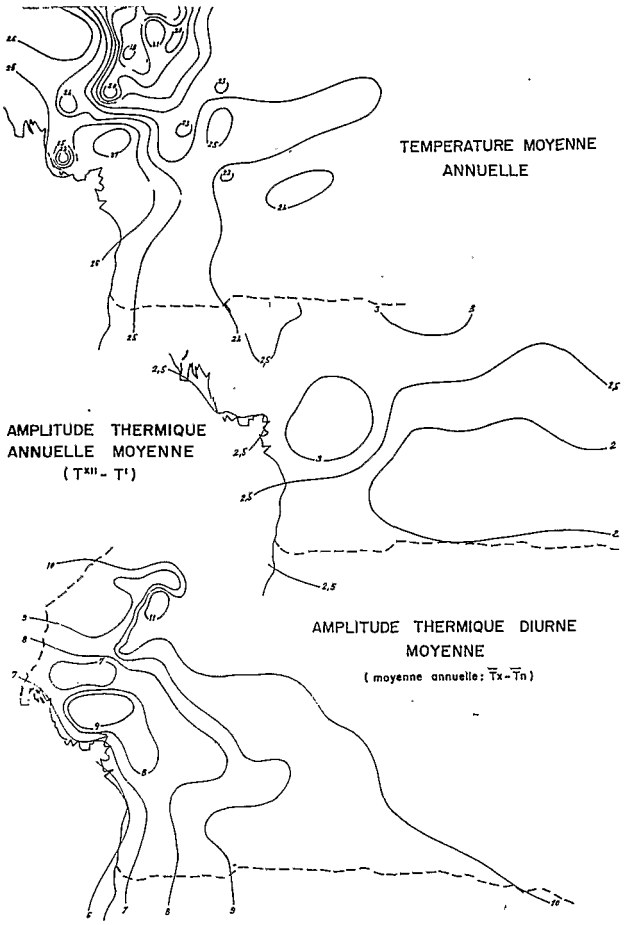


Fig. 2.8. – Variations spatiales des températures et de leurs amplitudes.

et en arrière dans les régions de basse altitude (Edéa et Mamfé, 26,5° C).

En fait, les températures moyennes (maximales, minimales et moyennes) dépendent essentiellement de l'altitude de la station.

Pour les 15 stations étudiées, la régression linéaire, obtenue avec un coefficient de corrélation r = 0,990 semble assez bonne. La relation s'écrit : $tz° = 26,6 - 4,4\, z.10^{-3}$ où z est l'altitude en m de la station. On notera cependant que la régression étudiée ici donne un poids trop important aux stations côtières et à partir de travaux antérieurs (Olivry, 1973b), nous proposons la relation moyenne suivante : $tz° = 27 - 5\, z.10^{-3}$.

2.1.3. Humidité de l'air

L'humidité de l'air s'exprime par le degré hygrométrique ou humidité relative et la tension de vapeur d'eau qui y est contenue.

Humidité relative

Elle est définie en pourcentage, comme le rapport de la tension de vapeur e à la tension de vapeur saturante ew, en fonction de la température et de la pression de l'air.

$$U\ \% = 100\ \frac{e}{ew}$$

Pratiquement, elle est mesurée à l'aide de psychromètres indiquant une température sèche et une température humide.

Dans les stations météorologiques, l'humidité relative est mesurée à 6 h, 12 h et 18 h.

Le tableau 2.5 donne les valeurs moyennes mensuelles du maximum (relevé à 6 h) et du minimum (relevé à 12 h) pour les 13 stations. Les valeurs maximales varient peu d'un mois à l'autre. Elles sont souvent très proches de la saturation et pratiquement toujours supérieures à 90 %.

Les valeurs minimales plus variables sont plus significatives des variations climatiques d'une région à l'autre.

Leurs variations ont été portées figure 2.9. Elles montrent un minimum et un maximum. Le minimum est observé en janvier pour Dschang et Douala, en février pour les autres stations (mars pour Kribi), soit pendant la grande saison sèche. Une plage des valeurs maximales est observée en juillet-août pour Dschang, Nkongsamba, Eséka, Yaoundé, la valeur maximale étant relevée pour les autres stations en août, sauf pour Abong-Mbang (juillet) et Kribi (septembre).

Cette apparition générale du maximum d'humidité relative, centrée sur le mois d'août, quelle que soit la zone climatique particulière aux régions étudiées, doit être soulignée. Ce maximum est à rattacher au minimum des températures moyennes.

Si la date d'apparition du maximum d'humidité paraît normale, dans les zones climatiques de l'Ouest, elle peut surprendre dans les régiones du Sud-Cameroun où elle coïncide avec la petite saison sèche. Celle-ci s'individualise donc très nettement par ses caractéristiques de la grande saison sèche ; si les pluies sont rares en juillet-août, la nébulosité, et par suite l'humidité, est par contre très importante, comme on le verra plus loin dans les variations de l'insolation mensuelle. Alors que la grande saison sèche s'observe, de part et d'autre de la trace au sol du FIT, la petite saison sèche en climat équatorial correspond au passage d'une zone de nuages stratiformes due à la proximité des hautes pressions de l'anticyclone de Sainte-Hélène, située au sud de la zone pluvieuse de la mousson, marquée, elle, par l'apparition de beau temps entre les orages et les grains.

L'amplitude annuelle des variations mensuelles de l'humidité mesurée à 12 h varie d'une région à l'autre. Elle est relativement forte dans les régions ouest. Elle varie de près de 40 % à Dschang où la transition avec le climat tropical est nette. Elle est encore de 23 % à Nkongsamba et Mamfé, de 19 et 18 % pour Tiko et Douala.

Tableau 2.5. – Humidité relative en %.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mamfé													
Max	98	96	96	97	97	98	98	97	97	97	97	98	97
Min	56	49	57	61	63	66	69	72	68	66	61	59	62
Dschang													
Max	91	92	93	94	93	95	98	98	97	95	94	87	94
Min	42	49	60	68	71	77	81	81	79	73	57	47	65
Nkongs.													
Max	92	91	92	92	93	96	97	98	97	95	94	93	94
Min	64	63	68	72	74	79	86	86	83	77	73	68	74
Tiko													
Max	98	97	97	98	98	99	99	99	99	99	99	98	98
Min	62	61	66	65	67	73	80	82	75	69	69	65	70
Douala													
Max	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Min	66	67	69	69	72	77	83	84	80	75	68	69	73
Edéa													
Max	97	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97
Min	66	64	67	70	70	76	81	83	80	75	71	68	73
Eséka													
Max	96	95	95	96	97	97	97	97	97	98	98	96	97
Min	72	70	71	74	77	83	86	86	84	81	77	74	78
Yaoundé													
Max	98	97	97	97	98	98	97	97	98	98	98	98	98
Min	61	59	63	67	70	73	75	75	73	72	67	65	68
Akonol.													
Max	96	95	95	96	97	96	95	96	98	97	95	96	96
Min	54	52	53	57	60	64	65	67	65	63	59	55	60
Abong Mbang													
Max	95	97	97	97	98	98	97	97	97	98	98	99	98
Min	66	63	64	67	70	74	77	74	72	72	67	68	70
Kribi													
Max	95	94	94	95	94	94	92	93	95	96	95	95	94
Min	71	71	70	70	73	74	74	76	78	76	73	72	73
Ebolowa													
Max	97	97	97	97	97	97	96	96	97	97	97	98	97
Min	63	62	64	66	68	71	72	74	72	71	69	65	68
Sangmélima													
Max	99	98	98	99	99	99	98	98	99	99	99	99	99
Min	60	57	61	61	65	68	68	69	68	66	65	63	64

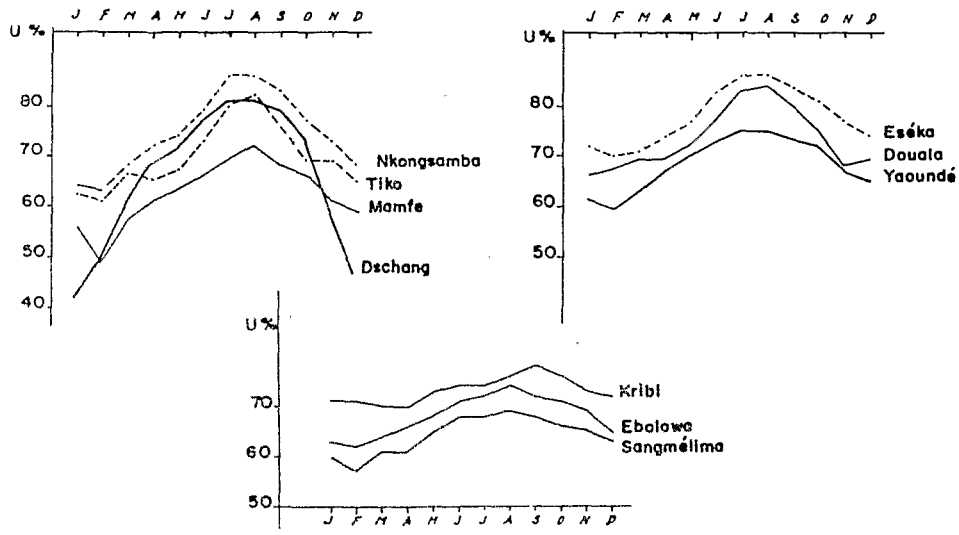


Fig. 2.9. – Variations mensuelles de l'humidité relative à 12 h.

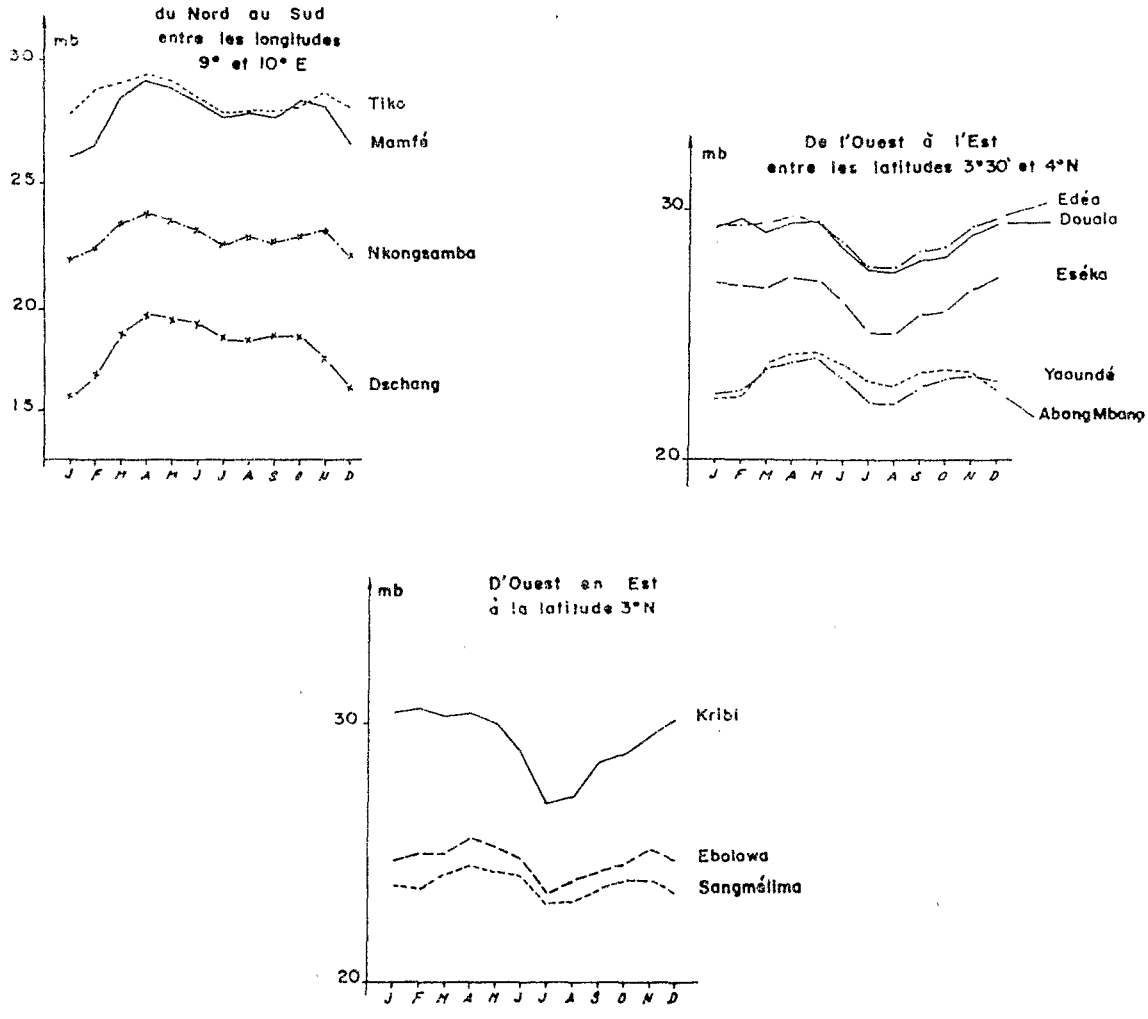


Fig. 2.10. – Tension de vapeur.

Au sud de la Sanaga, elle diminue encore avec la latitude : 17 et 16 % à Edéa, Eséka et Yaoundé, mais plus que 12 % à Ebolowa et Sangmélima et tombe même à 8 % à Kribi.

Les variations spatiales de l'humidité relative moyenne annuelle {(Umax + Umin)/2} ont été reportées sur la carte de la figure 2.10. L'ensemble des régions étudiées ici a une humidité moyenne annuelle supérieure à 80 % avec deux zones de l'arrière-pays côtier où elle dépasse 85 %.

Tension de vapeur

Elle a été calculée en millibars d'après la moyenne des températures et des humidités relatives pour les 13 stations déjà citées. Les résultats sont donnés dans le tableau 2.6. La figure 2.10 indique les variations observées. Dans les régions ouest, on note un minimum et maximum principaux respectivement en janvier et avril-mai, avec minimum et maximum secondaires respectivement en juillet-août et octobre-novembre.

Au sud de la Sanaga et à Douala, le minimum principal se situe en juillet-août ; on note deux maximums, avril-mai et novembre-décembre, qui tendent à prendre des valeurs voisines, séparés par un minimum secondaire en janvier qui disparaît dans les régions littorales (Kirbi, Douala, Edéa), donnant une large plage de fortes valeurs de novembre à mai.

La carte de la figure 2.12 montre que la tension de vapeur moyenne annuelle atteint presque 30 mb sur le littoral et n'est inférieure à 24 mb qu'en tête de bassins, où elle peut même descendre à 20 mb dans les régions d'altitude.

2.1.4. Évaporation

Évaporation Piche

Les moyennes mensuelles exprimées en mm ont été reportées dans le tableau 2.7 pour les stations principales.

La figure 2.15 propose le dessin de variations mensuelles. Un maximum principal est observé généralement en mars dans les régions sud, jusqu'à Douala et Tiko (sauf pour Ebolowa et Sangmélima : février) ; en remontant vers le nord dans les régions ouest, il devient plus précoce : février à Mamfé et Nkongsamba, décembre à Dschang.

Le minimum principal évolue de la même manière de juin, au sud, à août plus au nord.

Maximum et minimum secondaire apparaissent dans les régions du Sud, respectivement en juillet-août et septembre, octobre-novembre. Lorsque le climat équatorial devient plus marqué, ils tendent à prendre les valeurs extrêmes les plus fortes (Kribi, Ambam et surtout Campo).

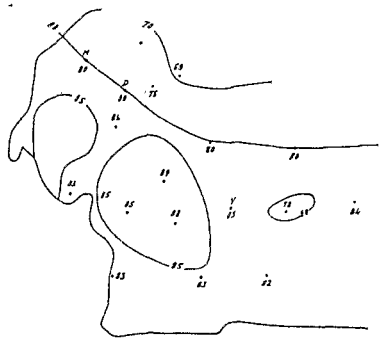


Fig. 2.11. – Humidité relative moyenne annuelle (en %).

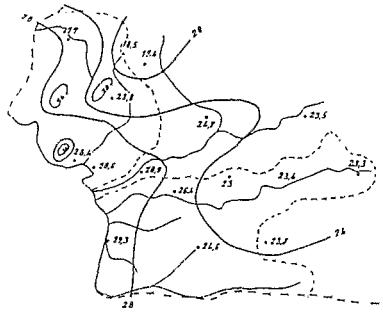


Fig. 2.12. – Tension de vapeur en mb.

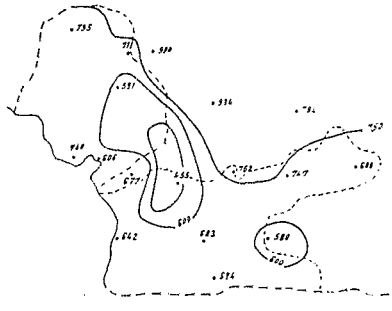


Fig. 2.13. – Évaporation Piche en mm.

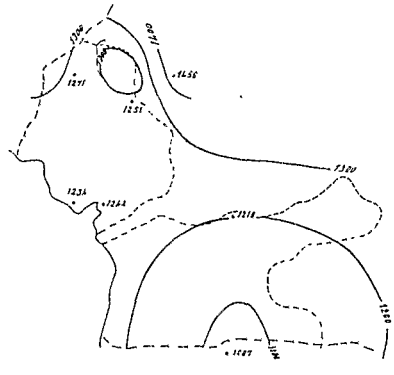


Fig. 2.14. – ETP annuelle (Turc, en mm).

Tableau 2.6. – Tension de vapeur en millibars.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mamfé	26	26.5	28.4	29.1	28.8	28.2	27.6	27.8	27.6	28.3	28.0	26.5	27.7
Dschang	16.5	17.4	19.0	19.8	19.6	19.4	18.8	18.7	18.9	18.9	18.0	16.8	18.5
Nkongsamba	22	22.4	23.4	23.8	23.5	23.1	22.5	22.8	22.6	22.8	23.0	22.0	22.8
Tiko	27.8	28.8	29.0	29.4	29.1	28.4	27.5	27.4	27.9	28.0	28.9	29.4	28.6
Douala	29.2	29.6	29.0	29.4	29.5	28.4	27.5	27.4	27.9	28.0	28.9	29.4	28.6
Edéa	29.3	29.3	29.4	29.7	29.5	28.7	27.6	27.6	28.2	28.5	29.2	29.6	28.9
Eséka	27.0	26.9	26.8	27.2	27.1	26.3	25.0	25.0	25.7	25.9	26.7	27.2	26.4
Yaoundé	22.5	22.7	23.5	23.8	23.9	23.2	22.2	22.8	23.1	23.2	23.1	22.2	23.0
Akonolinga	22.8	22.9	23.4	24.1	24.3	24.0	23.1	23.4	23.6	23.6	23.5	22.6	23.4
Abong Mbang	22.4	22.5	23.7	24.1	24.2	23.8	23.1	22.9	23.4	23.5	23.5	22.8	23.3
Kribi	30.4	30.6	30.3	30.4	30	28.9	26.9	27.2	28.5	28.8	29.5	30.2	29.3
Ebolowa	24.6	24.9	24.9	25.5	25.2	24.7	23.4	23.8	24.2	24.5	25	24.6	24.6
Sangmélima	23.7	23.6	24.0	24.5	24.3	24.1	23.0	23.1	23.5	23.8	23.9	23.5	23.8

La carte de la figure 2.13 montre que l'évaporation Piche annuelle est inférieure à 750 mm sur l'ensemble des régions étudiées, inférieure à 600 mm de Nkongsamba à Lolodorf et à Sangmélima, et inférieure à 500 mm dans la région d'Eséka.

Évaporation sur Bac

Nous donnons ci-dessous quelques valeurs de l'évaporation journalière mensuelle moyenne mesurée sur bac Colorado type ORSTOM et bac de classe A, en mm/jour.

	BAC COLORADO TYPE ORSTOM												TOTAL ANNUEL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
YAOUNDÉ	2.7	2.9	2.7	2.8	3.0	2.1	2.1	1.9	1.6	2.3	2.5	2.7	892 mm

	BAC DE CLASSE A												TOTAL ANNUEL
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
YAOUNDÉ	3.3	4.4	3.9	3.9	3.6	3.0	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2	3.0	1 205 mm

Tableau 2.7. – Évaporation piche en mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mamfé	73.6	92.9	85.9	66.9	68.8	52.2	41.9	36.3	43.5	52.6	62.3	63.4	735.3
Dschang	90.8	85.7	71.2	53.3	53.1	56.7	29.2	28.9	30.8	51.4	79.1	101.3	711.5
Nkongsamba	67.4	75.5	69.6	60.7	51.7	35.2	22.8	21.7	28.5	41.9	49.9	58.8	591.1
Tiko	82.2	87.6	90.7	73.0	68.0	50.0	36.0	31.1	42.5	54.2	54.6	69.7	739.6
Douala	57.7	63.3	66.6	60.6	55.9	45.8	34.2	32.5	39.0	47.5	49.0	54.6	606.7
Edéa	67.6	73.7	79.2	69.6	66.0	47.1	35.2	32.4	37.1	52.0	56.2	61.4	677.5
Eséka	48.5	54.8	57.2	46.1	40.9	30.1	25.2	22.7	24.5	29.3	34.5	40.9	454.7
Yaoundé	77.5	85.7	86.3	68.3	61.3	52.2	53.1	55.6	51.4	50.3	55.2	65.4	762.3
Akonolinga	70.3	84.6	86.5	67.1	59.6	52.2	54.5	51.4	46.4	52.4	60.7	61.9	747.6
Abong Mbang	61.5	74.1	78.0	65.0	55.6	45.4	44.7	50.9	51.3	50.6	56.3	54.5	687.9
Kribi	57.3	60.8	65.3	56.1	52.9	54.7	57.4	51.7	39.7	40.1	50.6	55.2	641.8
Ebolowa	69.5	70.0	68.4	60.3	54.1	49.3	52.7	53.9	46.8	46.7	50.1	61.4	683
Sangmélima	53.6	64.9	63.8	56.2	48.1	39.7	42.8	42.4	41.6	39.8	42.5	44.4	579.8
Ambam	66.6	67.8	73.6	66.1	51.9	47.8	61.2	56.4	52.5	47.9	48.0	54.2	694

L'absence d'un réseau minimum de bacs d'évaporation de l'un ou l'autre type ne permet pas l'interprétation des variations spatiales de ce paramètre. Les résultats donnés sont simplement indicatifs.

Évapotranspiration potentielle

Elle a été calculée pour 6 stations de la région étudiée par L. Lemoine et J.C. Prat (1974), à partir de la formule établie par L. Turc donnant l'ETP mensuelle en mm/mois.

Cette formule s'écrit : $ETP = (Ig + 50)\ 0{,}40\ \frac{t}{t+15}$ dans laquelle Ig est la valeur mensuelle de la radiation solaire globale, exprimée en petites calories par cm² de surface horizontale et par jour, et t, la température moyenne exprimée en °C.

La radiation solaire globale Ig est obtenue par la formule $Ig = Ig_A\ (0{,}18 + 0{,}62\ \frac{h}{H})$ où Ig_A est l'énergie de la radiation solaire qui serait reçue en absence d'atmosphère ; Ig_A ne dépend que de la latitude du

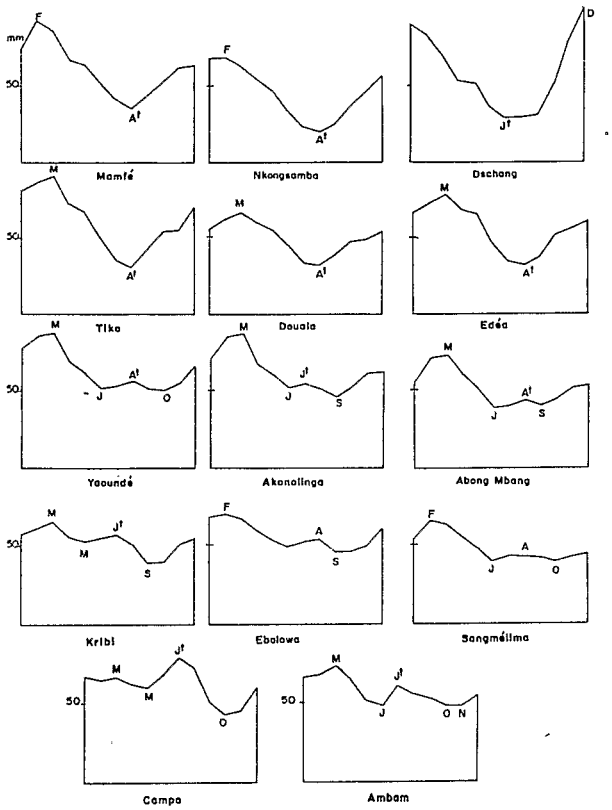


Fig. 2.15. – Variation de l'évaporation Piche.

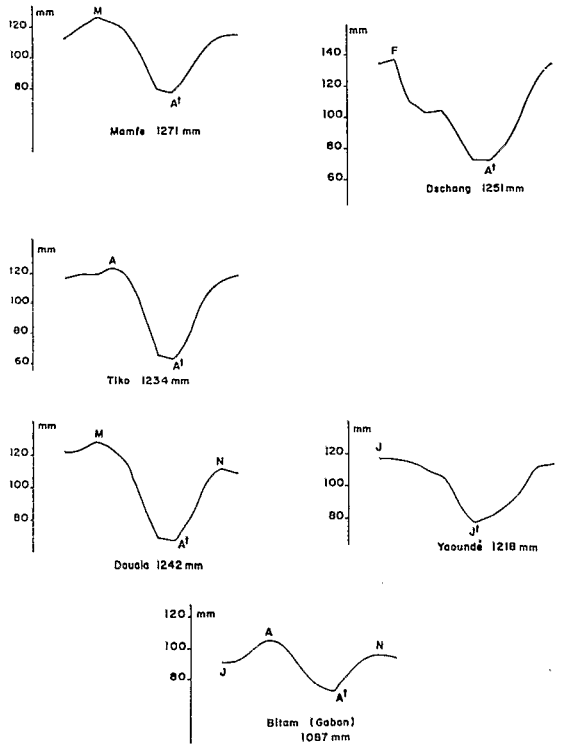


Fig. 2.16. – Variation de l'ETP calculée suivant Turc.

lieu et est donnée en cal/cm² jour par les tables d'Angot ; h/H est le rapport de la durée de l'insolation réelle (héliographe) sur la durée astronomique du jour donné par des tables.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 2.8 (cf. figure 2.16).

Tableau 2.8. – Évapotranspiration potentielle calculée (L. Turc).

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mamfé	112	118	125	123	116	99	79	78	90	105	113	113	1271
Dschang	134	137	109	102	104	89	72	71	80	99	121	133	1251
Tiko	117	119	119	124	118	95	65	63	78	103	115	118	1234
Douala	122	123	129	125	116	90	68	67	81	102	111	108	1242
Yaoundé	117	117	114	109	106	89	77	80	87	97	112	113	1218
Bitam (Gabon)	91	93	100	105	100	86	75	72	85	92	95	93	1087

La carte de la figure 2.14 donne les courbes d'égale évapotranspiration potentielle annuelle. Pour l'ensemble des régions étudiées, l'ETP est inférieure à 1 300 mm. Elle tombe en dessous de 1 200 mm sur une partie du cours moyen du Nyong et les régions plus au sud ; elle n'atteint pas 1 100 mm sur le Ntem, dans la région d'Ambam.

Sur les régions côtières et dans l'Ouest, l'ETP est supérieure à 1 200 mm, sauf pour les régions d'altitude. Ces chiffres sont bien en rapport avec les déficits d'écoulement trouvés dans ces régions.

Le graphe de la figure 2.17 montre qu'il n'y a pas de relation nette entre l'ETP calculée et l'Évaporation Piche, cette dernière ne présentant que l'intérêt d'un élément de comparaison entre stations.

2.1.5. Insolation

La mesure de la durée d'insolation en réseau est de réalisation récente au Cameroun.

Des relevés épisodiques ou de durées très variables non homogénéisés ont toutefois permis à Suchel d'établir une carte de l'insolation moyenne annuelle probable (voir fig. 2.18). Cette carte montre qu'à l'exception du haut-bassin du Nkam, l'ensemble des régions étudiées a un nombre moyen d'heures d'ensoleillement effectif inférieur à 1 750 heures par an, avec moins de 1 500 heures par an, sur le bassin supérieur du Ntem (Ambam) et dans les régions côtières, de Kribi à la frontière nigériane. L'insolation annuelle tombe même en dessous de 1 250 heures dans les régions du Mont-Cameroun et du cours supérieur du Mungo.

Nous indiquons dans le tableau 2.9 les moyennes mensuelles pour quatre stations longue-durée (Tole et Tombel étant respectivement proches de Buea et de Loum) et 3 stations suivies pendant 9, 7 et 5 ans seulement.

Tableau 2.9. – Insolation (heures).

Stations (et nombre d'années d'observations)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Yaoundé (28 a)	178	172	154	151	152	116	85	84	100	122	156	175	1645
Douala (29 a)	130	144	137	151	140	89	43	39	69	113	127	134	1316
Tole (15 a)	144	130	107	122	116	58	26	18	33	68	104	133	1059
Tombel (19 a)	162	166	116	120	140	89	57	48	67	103	137	148	1353
Mamfé (9 a)	167	171	174	167	165	123	74	68	90	133	159	175	1666
Tiko (7 a)	171	170	159	171	170	116	39	33	66	130	163	183	1571
Dschang (5 a)	244	233	153	134	156	120	74	71	87	139	205	248	1864

Le maximum d'insolation se situe pendant la saison sèche, de décembre à février, et avril à Douala. Le minimum s'observe en juillet-août, période de pluies très abondantes dans la région de Douala et petite saison sèche avec ciel couvert pour Yaoundé.

2.2. Étude des précipitations

2.2.1. Critique et homogénéisation des données mensuelles et annuelles

Pour déceler les erreurs systématiques dues à d'éventuels changements d'exploitation des pluviomètres (emplacement, éprouvette de mesure, etc., qualité du lecteur), les observations aux différentes stations ont été testées :

- en première analyse par examen de la courbe des valeurs cumulées de la pluviométrie annuelle, ou courbe de simple masse en vue de déceler les principales cassures pouvant être le fait d'une erreur systématique ;
- en seconde analyse par la méthode des doubles masses, comparant l'information pluviométrique de poste à poste ;
- enfin par la méthode mise au point par G. Hiez et qui introduit à partir du traitement de l'ensemble des postes d'une région un « vecteur régional » d'homogénéisation.

J. Callède a bien voulu se charger de ces travaux, réalisés en calcul automatique, qui introduisent les observations de stations pluviométriques secondaires (notamment dans la région de Mont-Cameroun), non étudiées ici, et permettent de préciser la qualité des observations effectuées aux stations retenues dans cette étude. Ses conclusions sont résumées ci-après :

Idenau : 9 années d'observations. Contrôlée avec Soden (17 années), Linkfluss (7 années), totalisateur P2 (3 années), totalisateur P19 (7 années). Station correcte. Poste de réf. : Soden, complété à 20 années d'observation. Double masse Idenau-Debundscha très convenable (11 années).

Debundscha : 34 années d'observation. Contrôlée avec Issongo (6 années), totalisateur P16 (7 années) et totalisateur P17 (8 années). Station correcte, complétée à 38 années d'observation.

Bota (administration) : 5 années d'observation. Contrôlée avec Bussumbu (10 années), Krater (7 années), Mabéta Beach (7 années). Bussumbu paraît douteux.
Station complétée (via Moliwe Nursery) avec les relevés de Victoria, soit 44 années au total. Risque d'être douteux de 1909 à 1930. Juillet 1966 bien faible.

Buea : 26 années d'observation. Contrôlée par double-masse avec Bota et Débundscha. Apparemment correct.

Ekona (administration) : 8 années d'observation. Contrôlée avec Powo Palms (10 années), Lysoka (5 années) et Ekona Research (8 années). Ekona Research faux en 1968-69. Station complétée à 12 années d'observation.

Tiko : 20 années d'observation. Station vérifiée avec Nsonne Molewé (9 années), Likomba Rubber (8 années), Holtfott Bananes (7 années), Esuké Bananes (6 années), Bwinga Estate (4 années), Béno Tiko (2 années).
Likomba Rubber paraît douteux de 1965 à 1967.

Douala (Aéro) : Il s'agit du pluviomètre installé près de l'ancienne aérogare (station de radiosondage en 1974). 30 années d'observation. Complétée avec Douala Hôpital (57 années). Excellente double-masse avec Douala-Deido. Bonaberi (Gare) est de bonne qualité, mais Dizangué est à écarter. Les doubles-masses font apparaître une cassure en 1960 sur Douala-Hôpital : changement d'emplacement du pluviomètre (à l'origine, il s'agissait de l'ancien hôpital, situé près de l'hôtel des Cocotiers).
Au total, 73 années d'observations.
La double-masse Douala-Tiko est mauvaise : les conditions géographiques en sont peut-être la cause.

Kumba : 33 années d'observation, toutes sans aucun détail journalier. Contrôlée avec Barombi Kang (4 années) et Mukonje (8 années). Station complétée à 36 années.

Edéa : Historique de la station à contrôler. Il semblerait qu'il y ait eu un changement entre 1960 et 1965 (ceci a été vérifié avec une double-masse Edéa-Douala). Relevés à partir de 1963 (inclus) multipliés par 1,036.

Doume : Historique de la station à faire : un changement d'emplacement aurait eu lieu en 1959

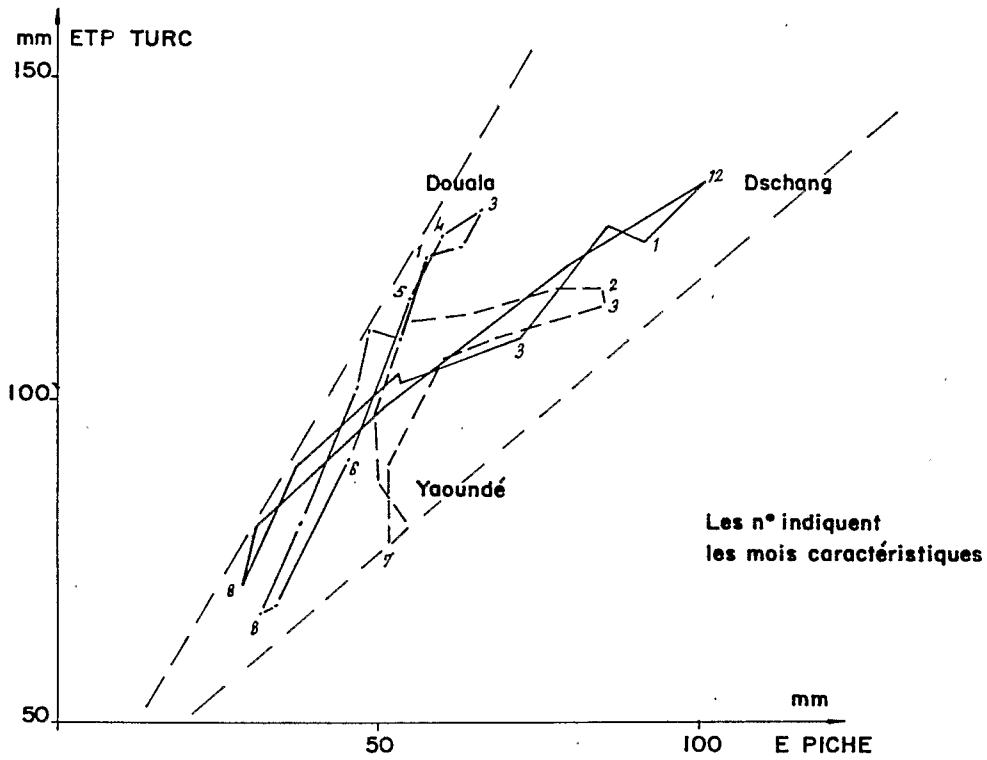


Fig. 2.17. Corrélation entre ETP calculée (Turc) et Piche pour 3 stations.

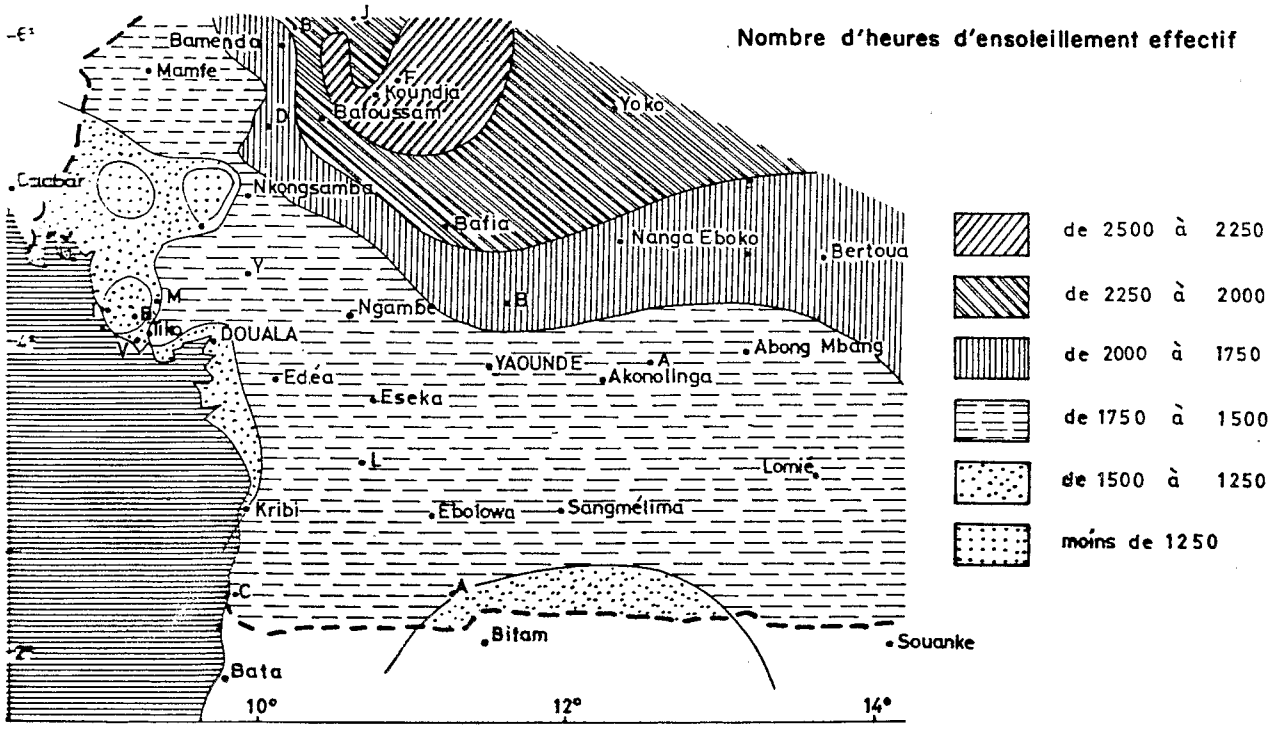


Fig. 2.18. – Insolation moyenne annuelle probable.

(février). 1950, 1952 et 1959 éliminés. Période 1960-66 multipliée par 1,05. Il n'est pas possible de travailler sur le détail journalier.

Yaoundé : Station correctement observée.

Mbalmayo : Fusion des stations École Technique Forestière et Enseignement. Mbalmayo-Agro est à éliminer. Historique E.T.F. à connaître : il semblerait qu'il y ait eu un changement d'emplacement du poste E.T.F. entre 1966 et 1968 (pas de relevés en 1966, reprise en août 1967 avec un autre observateur).

Abong-Mbang : Station correctement observée.

Akonolinga : Peut-être un changement d'emplacement en 1945 puis en 1948. Les années 1953 à 1956 sont à éliminer.

Ayos : Période 1958-70 inutilisable (relevés faux et incomplets). Impossible de travailler sur le détail journalier.

Nyabessan : Les années 1959 à 1962 sont fausses. Test sur les seize années restantes correct.

Nkoemvone : Douze années. Station correcte.

Ebolowa : Cassure se situant entre 1958 et 1961 (changement d'emplacement ou mauvais appareillage). Années 1936 et 1937 fausses. Les relevés postérieurs à 1960 sont multipliés par 0,910.

Sangmélima : Également station synoptique. Une cassure en 1955 (changement d'emplacement ?). Les relevés postérieurs à 1955 sont multipliés par 1,045.

Mbanga : 39 années d'observation, mais aucun détail journalier avant 1952. La période 1955-1964 est douteuse sinon complètement fausse. Station contrôlée avec Mukonge (8 années) qui montre que la période 1965-1972 est correcte. Contrôlée aussi avec Kumba (33 années) et Nyombé (17 années). La double-masse Kumba-Mbanga n'est pas trop mauvaise... Période conservée : 1932-1954 et 1965-1972 (30 années d'observation).

Dschang : 44 années complètes d'observation. Changement d'environnement ou d'emplacement en 1952. Relevés 1952-1956 à multiplier par 1,079. Relevés 1960-1964 sur pluviomètre 100 π (à multiplier par 1,27).

Dizangue : Les années antérieures à 1936 (compris) sont mesurées avec une éprouvette pour 100 π. Valeur à multiplier par 0,787. 1945, 1946, 1954 éliminés. Il semblerait qu'il y ait eu des modifications en 1953 et en 1960 (valeurs 1955-1960 multipliées par 1,04).

Nkongsamba : Rien à signaler, station correcte.

Nkondjok : Rien à signaler, station correcte.

Mamfe : Rien à signaler, station correcte.

Loum (Chantiers) : Période 1936-1956 pas très bien observée.
Éprouvette pour 100 π de 1959 à 1962 (0,787). Changement d'emplacement ou d'environnement. Les données postérieures à 1968 (inclus) sont observées à Loum-agro et sont à multiplier par 0,899.

Yabassi : Les relevés des années 1946-1949 sont à éliminer. 1963-1967, bien que de très mauvaise qualité, sont conservés. Station synoptique de l'origine à 1956, puis poste pluviométrique agricole de 1957 à 1972, et à nouveau synoptique depuis juillet 1972. Station douteuse.

Yingui : Les années 1960-1962, manifestement trop inventées, sont à éliminer.

Ambam : Relevés 1934, 1935, 1936 à multiplier par 2. 1949 faux. Historique à effectuer : il y aurait eu changement d'emplacement (ou d'environnement), en 1947, 1956 et 1960 (la station passe successivement synoptique, climatologique, synoptique, climatologique et enfin synoptique).
Période 1948-1957 multipliée par 0,951.
Période 1958-1961 multipliée par 1,27 (pluviomètre 100 π).

Eseka : Il semble qu'il y ait eu emploi d'une éprouvette pour 100 πen 1950 et 1951, avec un changement d'emplacement ou d'environnement en 1951. Relevés antérieurs à 1949 (inclus) multipliés par 0,956.
Années 1950 et 1951 multipliées par 0,824.

Makak : Rien à signaler.

Lolodorf : Période 1960-1972 éliminée (relevés faux).

Campo : Série 1960-1965 notée fausse, mais seuls 1964 et 1965 ont été supprimés. Erreur d'éprouvette en 1939 et 1940 (valeurs multipliées par 0,787).

Kribi : Il y aurait eu changement d'emplacement de station vers 1956-1957. Relevés antérieurs à 1956 (inclus) multipliés par 0,930.

2.2.2. Précipitations annuelles

Répartition statistique des hauteurs de pluies annuelles

L'étude de la répartition statistique des hauteurs annuelles de précipitation a été faite sur 35 stations dont 28 ont été observées pendant plus de 20 ans, 21 plus de 30 ans et 14 plus de 40 ans. L'ajustement d'une loi de distribution normale (Loi de Gauss) a été obtenu par le calcul de la moyenne et de l'écart-type des divers échantillons. Les résultats de cette étude sont donnés dans le tableau 2.10.

Le classement des hauteurs annuelles de précipitations est traduit dans les 3 premières colonnes de résultats avec indication des valeurs extrêmes observées (Pmax, Pmin) et de la médiane observée.

Après indication de l'écart-type (ET), on trouvera de part et d'autre de la valeur moyenne de la pluviométrie annuelle, la prédétermination des hau-

Tableau 2.10. – Répartition statistique des pluies annuelles.

Stations	Nbre an.	P max	P médiane	P min	ET	Années humides		Moy.	+ IC à 95 %	Années sèches		Cv
						20 ans	10 ans			10 ans	20 ans	
Mbanga	30	3031	2289	1663	310	2798	2687	2290	113	1893	1781	0.135
Douala	63	5328	4129	3000	499	4897	4717	4078	126	3439	3259	0.122
Débundscha	34	14694	10040	7340	1677	12947	12343	10196	575	8049	7445	0.165
Idenau	20	9589	8214	6130	1083	9881	9491	8104		6717	6327	0.134
Tiko	18	4172	2728	2040	653	4023	3789	2957		2124	1890	0.120
Buéa	26	3670	2881	2010	443	3634	3474	2907		2340	2181	0.152
Bota	41	5323	3449	2100	901	5062	4738	3585	281	2432	2108	0.251
Ekona	12	2920	2323	1860	285	2785	2683	2318		1953	1851	0.123
Kumba	33	3523	2371	1912	328	2930	2812	2393	114	1974	1856	0.137
Loum	36	4186	3036	2152	392	3671	3530	3028	131	2527	2385	0.129
Mamfé	48	5392	3359	2330	480	4163	3990	3375	139	2760	2587	0.142
Dschang	41	2288	1922	1413	212	2269	2193	1921	66	1650	1574	0.110
Nkongsamba	40	3353	2723	2057	276	3195	3096	2732	87	2388	2288	0.101
Nkondjok	17	3624	2857	2476	351	3549	3422	2973		2523	2396	0.118
Yabassi	41	3577	2716	2020	362	3354	3224	2761	113	2298	2168	0.131
Yingui	15	2644	2044	1586	298	2572	2464	2083		1703	1795	0.143
Dizangué	42	3896	2998	2052	434	3639	3483	2927	134	2372	2215	0.148
Edéa	50	3386	2679	1804	367	3233	3101	2631	104	2161	2029	0.140
Eséka	38	2897	2153	1513	322	2679	2563	2150	104	1737	1621	0.150
Lolodorf	25	2987	2030	1733	286	2565	2462	2096		1730	1627	0.137
Makak	26	2276	1804	1330	254	2258	2167	1841		1516	1425	0.138
Yaoundé	49	2142	1592	1151	218	1955	1877	1598	62	1319	1240	0.136
Mbalmayo	34	1990	1569	1017	221	1893	1813	1529	76	1246	1166	0.147
Akonolinga	35	1864	1556	1097	201	1850	1777	1519	68	1261	1189	0.133
Ayos	11	1591	1458	1131	185	1696	1630	1393		1156	1090	0.133
Abong Mbang	45	2136	1687	1275	200	2001	1929	1673	60	1418	1346	0.119
Doumé	24	1992	1405	1036	223	1815	1735	1449		1163	1083	0.154
Sangmélima	42	2362	1708	972	265	2158	2062	1723	82	1384	1288	0.154
Ebolowa	48	2127	1677	1167	195	2039	1969	1719	56	1469	1399	0.114
Nkoemvone	12	2165	1891	1633	169	2153	2092	1876		1660	1600	0.090
Ambam	40	2342	1656	941	227	2042	1961	1670	72	1379	1298	0.136
Djoum	29	2077	1599	1175	237	1988	1903	1600		1296	1211	0.148
Nyabessan	18	2174	1693	1129	276	2161	2061	1708		1354	1255	0.162
Kribi	45	3785	2822	1944	393	4380	3339	2836	117	2333	2192	0.139
Campo	31	3465	2646	2027	357	3283	3154	2696	128	2239	2110	0.133

teurs de pluies de fréquences décennale et vicennale (10 et 20 ans de période de retour) pour les années humides et les années sèches.

Une dernière colonne traduit l'irrégularité interannuelle par le coefficient de variation : Cv = ET/Pmoy. Pour les stations ayant plus de 30 années d'observations, nous indiquons après la moyenne la valeur de l'intervalle de confiance à 95 %, ce qui signifie, par exemple pour Douala, station pour laquelle on lit :

P moy $\pm$ IC = 4 078 $\pm$ 126 (soit une approximation à $\pm$ 3 %), que la hauteur pluviométrique moyenne annuelle vraie a 95 chances sur cent d'être comprise dans l'intervalle { 3952, 4204 }.

La hauteur de précipitations interannuelle de Yaoundé est connue (pour IC à 95 %) à $\pm$ 3,9 %, soit comprise entre 1 536 et 1 660 mm. Pour Kribi, la moyenne vraie est comprise entre 2 719 et 2 953 mm, toujours pour IC choisi à 95 %.

La figure 2.19 reproduisant la distribution gaussique de l'échantillon de hauteurs annuelles de précipitations pour quelques stations montre l'opposition entre stations continentales et stations littorales.

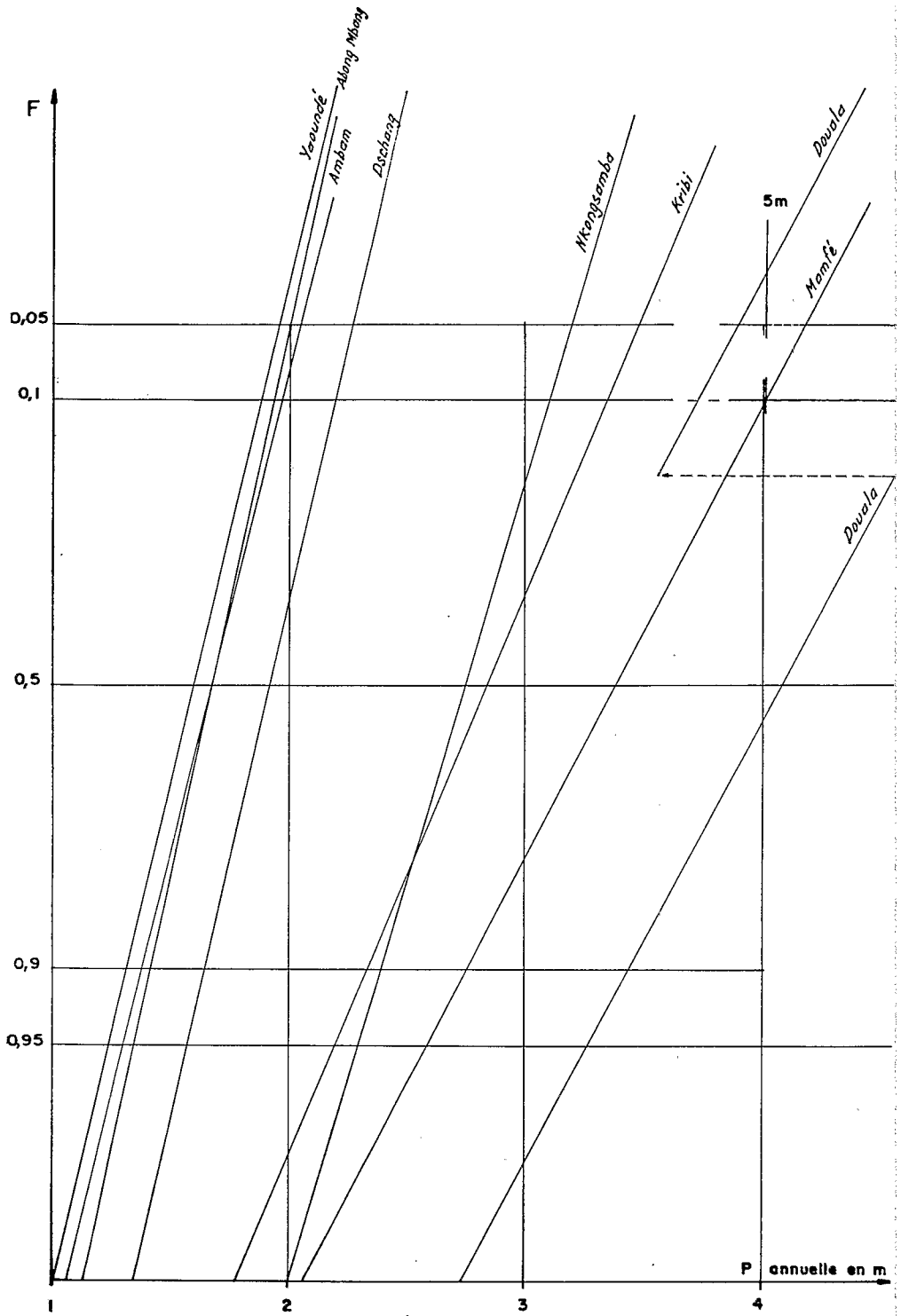


Fig. 2.19. – Distribution normale des précipitations annuelles de quelques stations.

Distribution spatiale des hauteurs de précipitations interannuelles

La carte de la figure 2.20 propose pour les régions étudiées une esquisse des courbes isohyètes interannuelles, établies sur la période homogénéisée de 40 ans (1937-1976).

Cette homogénéité des données consiste en une extension des séries courtes, à partir des séries longues d'un poste voisin. Elle aboutit à l'estimation d'une valeur moyenne sur la période d'homogénéisation à partir de la valeur moyenne observée sur une période courte par la différence des valeurs moyennes correspondantes de la station de référence, en fonction de la liaison existant entre les chroniques d'observation des deux stations, et du rapport des écarts-types correspondants :

$$y_n = \bar{y}_k + r_{kxy} \frac{s_{ky}}{s_{kx}} (\bar{x}_n - \bar{x}_k)$$

Les valeurs indiciées K se rapportent à la période d'observation ; celles indiciées n se rapportent à la période d'homogénéisation (40 ans ici) ; les valeurs x concernent la station de référence et les valeurs y la station à homogénéiser. r est le coefficient de corrélation entre les relevés correspondants des deux stations. Cette équation montre que $\bar{y}_n$ tend vers $\bar{y}_k$ lorsque r tend vers zéro : ceci signifie qu'en l'absence de liaison linéaire suffisamment significative entre les deux postes, il n'y a pas d'homogénéisation valable, et le gain de l'extension est nul. D'autre part, $\bar{y}_n$ tend vers $\bar{y}_k$, lorsque $(x_n - x_k)$ tend vers zéro : ceci veut dire, pour un coefficient de corrélation significatif, que la période d'observation de k années est bien représentative de la période d'homogénéisation de n années.

Le choix de stations de référence est dicté par la période d'homogénéisation choisie, et par les liaisons interstations qui sont testées par le calcul des coefficients de corrélation.

L'étude de l'homogénéisation aboutit à des résultats de valeur très inégale suivant les régions concernées. Les liaisons interstations sont particulièrement mauvaises dans les régions sud-ouest notamment. L'orographie en est la cause principale, en particulier pour la région du Mont Cameroun. Dans le tableau 2.11, nous indiquons les valeurs des hauteurs annuelles de précipitations moyennes sur la période (1937-1976).

La carte montre une opposition marquée entre les régions de l'Ouest et celles du Sud, les premières étant nettement plus arrosées.

- Pratiquement, les régions de l'Ouest reçoivent partout plus de 2 m de précipitations annuelles (sauf haut-bassin du Nkam et Makombé), et les 2/3 environ de la superficie de ces régions reçoivent plus de 3 m de pluie par an.
- Les régions sud reçoivent moins de 1,7 m de pluies annuelles sur la moitié continentale des superficies concernées. La hauteur de précipitations annuelles décroît rapidement du littoral vers l'intérieur du pays.

Tableau 2.11

Hauteurs de précipitations interannuelles sur la période (1937-76) en mm.

Mbanga	2 293	Nkongsamba	2 722	Ayos	1 449
Douala	4 084	Nkondjok	3 003	Abong-Mbang	1 676
Débundscha	10 196	Yabassi	2 871	Doumé	1 449
Idenau	8 104	Yingui	2 129	Sangmélima	1 717
Tiko	2 891	Dizangué	3 005	Ebolowa	1 791
Buea	2 907	Edéa	2 694	Nkoemvone	1 890
Bota	3 595	Eséka	2 213	Ambam	1 642
Ekona	2 293	Lolodorf	2 153	Djoum	*1 589**
Kumba	2 415	Makak	1 830	Nyabessan	1 666
Loum	3 028	Yaoundé	1 578	Kribi	2 866
Mamfé	3 298	Mbalmayo	1 638	Campo	2 648
Dschang	1 922	Akonolinga	1 479		

* Les valeurs mises en italiques sont approximatives.

Cette décroissance des hauteurs de précipitations, lorsqu'on s'éloigne de la côte, est relativement régulière au sud de la Sanaga. Par contre, dans l'Ouest, les reliefs importants modifient du tout au tout le dessin des courbes isohyètes. Le Mont Cameroun en particulier est responsable de très fortes pluviométries (plus de 10 m par an) rencontrées au pied du versant maritime et des régions déficitaires placées sous le vent du massif volcanique (Kumba, Mbanga, Ekona). On notera également sur le haut-bassin du Nyong une région à précipitations déficitaires axée sur Akonolinga-Ayos.

2.2.3. Précipitations mensuelles

Étude statistique

L'étude statistique de l'échantillon de valeurs mensuelles a été résumée dans les tableaux 2.12 à 16, mois par mois, avec rappel des valeurs annuelles. Pour chaque station, nous indiquons la valeur moyenne, le quartile supérieur, le quartile inférieur de l'écart-type. Une étude plus poussée avec ajustement de diverses lois de distribution ne se justifiait pas ici. Il va de soi que la distribution normale ne s'applique pas aux échantillons mensuels des mois de saison sèche et de transition (lois tronquées). Pour les mois de saison des pluies, la distribution est rarement normale comme en témoigne la détermination des coefficients de dissymétrie de Fisher.

L'étude des coefficients de variation (Cv = ET/Pmoy) montre de plus fortes valeurs pour les mois de saison sèche. La signification de cette observation doit toutefois être sérieusement nuancée ;

Tableau 2.12. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Mbanga													
Moy.	28.2	69.6	144.1	199.7	208.4	220.8	303.4	328.0	354.3	311.8	101.9	21.0	2289.7
Q1	39.3	91.5	187.5	222.8	228.8	291.4	341.2	393.3	431.2	396.2	115.0	31.5	2517.5
Q3	0.0	33.0	98.8	145.0	157.7	177.0	228.0	268.0	274.0	253.5	65.5	2.0	2061.7
ET	35.1	43.5	65.7	70.5	81.5	64.1	91.0	98.8	103.3	132.7	56.0	25.6	310.0
Douala													
Moy.	54.8	83.9	201.8	233.2	318.0	515.3	718.3	729.7	593.5	420.0	151.5	59.0	4078.1
Q1	83.5	121.3	239.6	282.6	374.7	604.9	868.9	839.7	721.7	491.9	186.7	99.9	4496.9
Q3	18.9	43.2	146.0	187.6	234.2	374.3	558.6	564.7	460.3	342.8	107.7	24.7	3658.2
ET	51.2	49.0	87.3	66.6	112.5	194.3	216.7	236.3	172.3	112.5	61.7	44.0	499.2
Débund.													
Moy.	253.2	332.9	533.8	556.2	746.8	1298.2	1488.0	1407.0	1624.4	1159.0	642.1	370.8	10195.9
Q1	304.5	405.2	657.1	602.0	933.9	1590.6	1751.8	1680.5	1901.9	1439.7	858.6	530.2	10817.6
Q3	129.6	153.1	297.2	384.3	520.6	940.5	1170.2	1174.0	1357.9	854.6	455.3	164.5	8914.8
ET	172.7	228.7	350.0	319.1	281.2	477.7	411.2	405.2	356.8	446.4	245.9	285.3	1677.5
Idenau													
Moy.	91.0	127.5	258.9	295.3	487.5	1096.8	1438.2	1459.4	1491.1	928.9	317.6	111.5	8104.0
Q1	104.1	171.6	312.0	378.9	594.9	1338.1	1599.8	1658.0	1667.6	1071.7	432.3	162.3	9062.6
Q3	61.3	89.4	176.2	202.1	384.8	874.7	1316.9	1290.2	1204.2	729.5	211.3	41.4	7250.4
ET	63.6	61.8	98.8	110.8	152.6	323.7	285.4	265.3	370.8	272.7	167.3	77.3	1083.4
Tiko													
Moy.	13.8	60.0	138.7	166.0	196.0	416.6	716.5	583.1	314.3	250.4	103.1	13.7	2956.6
Q1	19.4	98.9	169.7	211.1	218.3	576.6	809.2	658.9	427.8	300.7	103.5	21.6	3255.3
Q3	0.6	18.7	92.2	113.6	177.3	271.0	539.8	479.3	200.3	166.7	60.1	0.9	2507.7
ET	13.5	44.8	55.7	64.1	45.6	215.3	290.9	219.2	110.4	106.4	107.8	16.9	650.3
Buea													
Moy.	31.5	65.1	147.5	186.7	246.2	257.3	465.2	546.7	510.5	336.4	86.5	27.7	2907.3
Q1	41.9	77.8	203.5	229.4	326.8	308.0	562.8	640.9	615.2	448.8	124.9	48.0	3292.6
Q3	4.6	32.0	91.4	143.9	146.7	191.0	364.4	404.1	466.0	237.0	45.5	3.8	2605.8
ET	31.9	40.1	85.3	65.9	114.3	86.6	132.7	166.9	145.4	135.8	44.8	32.0	443.0
Bota													
Moy.	37.9	59.0	126.1	166.8	266.6	599.0	878.6	712.6	369.2	218.2	94.6	34.4	3585.3
Q1	58.6	80.4	163.4	222.3	334.8	804.3	1194.4	936.6	453.1	269.8	117.5	46.8	4212.7
Q3	2.8	23.3	86.3	108.5	166.7	368.5	504.6	527.8	268.8	142.8	65.1	6.9	2833.2
ET	50.6	49.2	56.2	140.3	296.1	418.0	250.2	147.6	106.7	39.3	36.5	79.3	900.6

Tableau 2.13. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ekona													
Moy.	20.1	26.1	114.4	180.5	172.9	262.6	425.2	458.9	335.9	213.0	94.2	14.0	2318.0
Q1	35.1	44.6	162.6	233.4	193.7	313.9	518.1	547.1	389.1	264.3	151.9	19.7	2389.3
Q3	4.6	2.2	80.8	143.7	143.0	195.6	339.4	390.1	313.9	167.7	49.1	0.0	2188.4
ET	17.6	27.3	55.9	73.6	52.0	85.9	100.3	111.8	106.8	57.8	55.6	20.7	284.8
Kumba													
Moy.	26.4	74.3	165.2	226.2	254.5	229.6	304.9	353.8	300.5	301.0	128.6	24.0	2393.0
Q1	43.7	117.9	192.0	276.2	306.4	278.9	370.9	403.6	355.4	361.4	159.4	33.8	2587.0
Q3	2.4	27.5	133.4	181.7	192.9	174.0	224.5	212.3	242.9	247.2	81.0	4.1	2126.8
ET	34.4	54.7	59.2	71.4	75.2	78.2	107.9	207.7	72.2	91.7	59.0	28.2	327.5
Loum													
Moy.	34.2	79.7	171.7	210.3	269.2	359.5	445.9	472.4	482.9	362.1	128.6	26.8	3028.4
Q1	59.3	108.6	197.2	274.0	320.3	482.9	551.6	574.9	577.9	420.1	183.7	49.8	3286.6
Q3	7.2	42.7	112.1	149.0	211.7	254.9	309.6	360.0	367.7	287.6	81.6	0.2	2752.2
ET	33.2	49.6	128.4	83.7	91.2	132.6	155.2	161.1	147.0	107.8	67.0	25.3	392.0
Mamfé													
Moy.	31.5	66.5	179.8	220.5	316.0	421.6	497.4	462.3	550.5	442.6	146.5	40.1	3375.3
Q1	49.6	97.4	243.2	265.8	363.1	499.6	575.2	536.7	609.8	525.8	192.6	66.4	3577.7
Q3	5.4	22.5	124.2	171.0	233.4	339.8	404.5	381.8	453.5	325.2	70.1	2.8	3155.1
ET	33.9	54.3	86.3	68.7	113.9	106.2	179.6	135.4	147.2	156.5	102.5	48.6	480.5
Dschang													
Moy.	17.8	45.6	132.8	196.9	190.0	230.9	230.3	251.9	335.4	238.4	46.0	12.6	1921.3
Q1	29.8	74.6	167.8	218.7	212.8	265.7	269.2	294.7	399.6	283.8	57.5	17.1	2068.6
Q3	0.6	19.6	94.4	148.9	149.2	181.0	188.4	199.8	275.5	199.0	17.5	0.0	1810.6
ET	24.2	37.0	55.4	67.2	62.2	63.1	65.5	63.7	84.8	66.1	38.3	16.2	212.1
Nkongs.													
Moy.	13.9	48.5	142.2	189.5	225.3	250.0	420.8	511.5	479.1	342.5	105.5	18.5	2741.9
Q1	25.4	64.8	176.2	227.2	282.5	291.2	473.9	565.8	547.9	405.6	123.6	26.8	2906.3
Q3	0.9	12.6	97.1	140.1	165.8	207.1	338.0	416.6	376.4	272.6	71.3	0.8	2563.9
ET	16.0	47.7	72.6	66.9	83.9	78.9	99.5	194.1	117.1	90.0	55.4	25.8	276.5
Nkondjok													
Moy.	43.5	47.9	156.3	234.4	254.7	279.7	417.8	494.5	523.7	379.4	128.0	19.3	2972.6
Q1	41.5	66.2	233.9	281.3	348.4	315.6	478.2	577.4	644.0	449.0	178.7	12.4	3278.8
Q3	0.0	12.1	77.0	170.4	196.1	229.9	385.6	417.5	425.3	312.8	73.5	0.0	2717.1
ET	81.4	54.4	106.7	75.3	93.7	79.4	72.4	137.3	128.8	123.0	83.9	33.1	351.4

Tableau 2.14. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Yabassi													
Moy.	41.7	55.3	151.4	202.7	245.9	308.3	387.1	423.8	425.7	346.8	116.1	28.6	2761.2
Q1	53.7	86.3	179.8	235.9	309.7	366.1	475.1	486.9	519.1	403.6	159.5	41.9	3017.3
Q3	8.2	20.3	95.6	168.6	182.5	222.7	266.8	358.5	343.5	276.0	73.9	4.4	2552.5
ET	42.6	42.5	76.6	57.0	73.4	130.7	149.6	119.8	124.0	121.2	71.1	35.1	361.6
Yingui													
Moy.	16.8	24.7	133.6	200.1	238.5	208.9	191.2	268.0	323.6	319.1	124.0	29.0	2083.5
Q1	20.1	34.6	197.5	246.2	304.6	257.3	256.3	376.7	373.7	349.2	219.8	47.7	2286.6
Q3	1.8	12.0	92.2	139.8	147.3	158.4	126.4	166.6	287.4	286.7	48.7	10.9	1808.0
ET	21.3	18.1	80.8	75.5	88.1	90.0	67.6	110.0	73.3	47.6	85.6	24.0	297.6
Dizanguë													
Moy.	42.5	62.6	172.2	237.9	313.3	275.0	309.1	419.7	512.7	384.6	157.8	39.0	2927.2
Q1	65.3	92.1	207.5	273.8	376.8	319.5	370.6	557.3	604.3	462.6	190.1	51.0	3155.6
Q3	12.9	22.0	118.0	197.2	229.4	205.5	210.5	290.1	440.3	290.3	96.4	15.3	2585.7
ET	32.4	42.5	70.3	66.8	103.2	119.4	138.1	168.2	129.0	106.0	87.5	33.4	434.0
Edéa													
Moy.	41.2	58.5	149.5	235.9	275.3	247.7	240.0	340.4	471.3	374.2	153.2	41.3	2631.0
Q1	58.0	87.0	190.6	279.8	316.5	323.2	317.9	431.8	554.2	438.5	187.1	51.9	2922.0
Q3	10.3	28.8	112.3	185.1	233.3	156.9	146.2	237.7	376.1	312.0	103.9	13.4	2319.0
ET	46.6	40.2	60.9	71.1	87.0	105.6	117.6	134.9	122.7	99.0	62.1	39.7	367.2
Eséka													
Moy.	29.4	42.7	165.0	236.5	272.9	183.4	113.3	172.0	362.7	375.4	153.6	41.4	2150.0
Q1	49.3	62.1	205.4	273.0	311.2	240.4	152.0	214.7	454.7	422.6	207.0	50.6	2374.0
Q3	5.9	12.0	110.5	190.5	211.5	130.1	64.9	119.0	255.8	330.8	106.7	19.1	1893.1
ET	23.7	31.0	73.9	61.9	83.2	68.0	63.6	78.0	143.8	74.1	66.1	34.1	322.3
Lolodorf													
Moy.	43.7	75.6	180.6	262.5	283.8	184.9	57.8	75.8	268.7	375.2	208.8	59.5	2095.9
Q1	64.0	97.7	221.4	304.0	320.0	232.5	81.6	94.8	335.8	412.0	272.6	77.8	2287.9
Q3	5.1	42.0	126.3	203.0	231.2	140.8	29.3	44.7	190.1	334.7	157.1	33.9	1879.5
ET	45.5	39.6	69.6	61.0	70.3	72.5	38.8	44.0	97.1	72.7	76.8	37.8	286.2
Makak													
Moy.	29.2	59.6	184.2	221.7	238.6	135.5	56.0	101.2	253.9	371.6	150.2	35.6	1814.4
Q1	49.0	90.3	297.8	282.0	288.6	167.2	65.0	133.8	296.0	412.2	175.0	53.9	2038.9
Q3	10.5	38.3	129.8	167.0	187.5	81.0	31.8	66.4	190.8	310.0	104.0	14.4	1707.4
ET	21.4	33.8	80.7	69.5	66.1	61.8	31.3	47.4	68.8	98.1	67.5	26.3	254.1

Tableau 2.15. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Yaoundé													
Moy.	26.3	53.3	148.4	190.4	210.4	159.3	59.0	75.2	224.6	304.4	121.8	26.9	1597.6
Q1	38.6	70.9	194.1	223.9	241.6	211.6	82.0	107.7	264.5	348.1	164.7	39.4	1749.6
Q3	7.9	25.7	107.2	141.5	165.6	103.5	25.9	44.7	171.3	245.3	77.3	8.4	1435.7
ET	26.3	41.0	51.6	65.9	57.0	67.2	41.4	45.7	71.7	75.1	60.8	24.0	218.0
Mbalmayo													
Moy.	24.6	52.6	158.8	189.9	199.5	137.3	59.2	65.0	201.5	293.8	140.7	33.7	1529.4
Q1	35.8	72.4	190.5	253.1	234.4	171.1	87.0	90.9	264.7	345.8	203.2	45.4	1670.1
Q3	1.7	25.5	110.9	126.9	160.5	93.3	19.3	32.3	141.1	231.3	88.1	7.9	1349.0
ET	27.2	36.5	68.1	72.9	50.4	58.3	49.2	49.6	78.1	77.4	68.6	28.2	221.4
Akonolinga													
Moy.	23.5	34.0	127.2	158.1	196.6	142.7	69.2	96.5	241.7	277.5	113.5	29.7	1519.3
Q1	32.6	55.8	158.1	208.7	255.1	188.5	97.3	141.3	293.0	329.1	149.8	42.7	1640.9
Q3	1.6	11.0	79.0	115.9	160.2	104.0	34.5	49.3	189.3	225.6	67.5	10.0	1342.4
ET	29.2	26.6	51.3	54.7	65.2	54.6	41.1	56.1	80.8	61.8	54.3	28.5	201.5
Ayos													
Moy.	24.3	49.0	98.4	157.0	182.1	129.9	51.9	78.1	224.9	258.8	102.1	31.0	1393.0
Q1	41.0	79.2	162.3	218.8	216.0	156.4	60.5	124.5	287.9	307.9	132.4	45.4	1568.5
Q3	1.8	21.0	64.5	107.3	144.7	91.5	28.5	40.5	175.3	182.7	66.2	12.0	1185.9
ET	24.8	43.8	64.4	81.4	66.0	46.3	39.7	62.1	97.5	42.1	29.4	60.9	184.8
Abong Mbang													
Moy.	26.4	58.9	135.0	166.8	212.5	178.0	86.9	104.1	257.1	304.7	110.6	36.2	1673.5
Q1	43.9	85.9	173.7	201.2	239.8	224.4	112.5	145.8	315.8	356.0	140.4	53.7	1825.5
Q3	0.8	20.6	87.5	132.2	174.4	132.8	53.7	62.4	175.8	245.2	75.4	7.3	1516.8
ET	26.0	46.9	64.0	47.8	59.5	65.1	53.8	98.1	87.9	51.1	51.1	34.1	199.7
Doumé													
Moy.	27.6	51.7	116.4	139.7	187.1	166.1	89.6	91.6	190.2	251.7	87.2	25.9	1449.1
Q1	54.3	80.9	139.9	168.7	219.7	190.6	126.6	132.0	225.9	319.5	118.0	32.0	1606.7
Q3	5.7	15.8	78.5	89.0	130.5	131.8	48.8	43.0	129.7	196.2	42.5	0.0	1305.2
ET	28.5	47.8	56.8	77.6	81.5	72.0	58.9	56.8	74.4	79.5	53.3	33.4	223.2
Sangmélima													
Moy.	42.3	63.0	154.1	197.0	210.1	165.9	83.3	92.0	241.6	282.8	147.6	44.4	1723.0
Q1	67.2	82.9	190.7	228.3	257.3	200.8	126.3	118.8	298.9	316.5	200.0	74.9	1922.6
Q3	13.8	35.0	103.0	159.3	156.7	120.5	35.1	42.5	199.8	237.7	97.5	21.2	1568.0
ET	32.2	40.0	82.0	62.9	76.4	68.4	64.0	63.1	74.2	67.7	62.8	32.6	265.0

Tableau 2.16. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ebolowa													
Moy.	44.5	74.0	174.7	212.1	220.0	151.2	47.5	67.0	199.1	308.4	183.6	59.1	1718.7
Q1	59.6	95.4	220.4	249.0	269.5	182.3	73.4	86.2	244.5	356.9	218.8	74.6	1819.1
Q3	22.2	42.2	126.0	175.2	169.3	119.2	12.2	30.6	155.9	222.1	153.6	34.8	1618.2
ET	43.5	47.4	70.4	58.9	73.1	56.0	39.1	48.3	62.2	157.6	59.0	31.9	195.1
Nkoemvone													
Moy.	53.4	91.1	193.3	231.1	229.5	128.1	66.7	61.0	223.6	340.2	199.7	58.4	1876.3
Q1	92.7	130.1	241.1	302.2	304.2	160.8	78.4	71.5	261.3	376.3	215.8	105.3	1998.0
Q3	18.4	63.7	156.2	178.1	143.3	73.4	34.7	13.4	174.4	274.8	170.9	25.4	1738.3
ET	43.0	40.2	63.0	72.4	88.2	60.9	61.7	58.5	56.0	71.6	44.9	46.6	168.7
Ambam													
Moy.	38.8	75.4	171.2	197.1	197.1	200.5	135.8	40.6	50.2	198.3	301.8	183.3	1670.0
Q1	52.9	97.5	219.6	224.0	245.6	164.8	66.8	75.9	230.1	348.6	214.1	97.9	1819.2
Q3	15.8	47.0	132.7	154.7	131.1	92.9	12.5	23.8	155.2	236.4	143.8	35.1	1539.8
ET	32.6	39.6	68.2	66.2	77.0	62.4	37.0	35.9	58.4	98.8	60.5	53.5	227.1
Djoum													
Moy.	36.6	60.2	129.6	177.1	197.1	158.0	71.0	79.5	218.7	263.6	139.9	51.4	1599.6
Q1	53.0	77.9	161.2	225.2	233.8	184.6	95.8	107.9	297.0	312.4	185.4	73.3	1791.8
Q3	12.9	36.9	93.5	135.2	164.6	116.7	23.0	34.0	119.7	190.1	82.0	31.8	1407.7
ET	30.3	41.8	54.4	57.3	51.5	74.1	57.3	60.4	109.6	86.2	66.1	27.5	236.8
Nyabessan													
Moy.	49.9	72.7	183.3	214.2	221.5	85.4	13.0	38.3	162.6	339.9	201.1	52.0	1707.8
Q1	73.6	105.7	216.9	269.8	267.0	126.6	17.4	46.1	193.0	402.2	254.5	69.6	1928.2
Q3	25.0	38.0	146.8	158.2	172.5	30.4	0.0	12.3	115.0	283.7	170.8	28.0	1586.3
ET	29.6	49.7	51.0	83.8	96.2	67.8	17.1	44.9	162.6	74.0	62.1	40.5	276.3
Kribi													
Moy.	92.1	118.0	200.7	260.5	343.2	274.1	111.9	230.5	501.6	491.8	200.8	94.2	2835.8
Q1	124.8	147.9	258.5	286.4	397.7	359.4	156.8	297.6	578.9	564.6	244.4	136.0	3100.4
Q3	56.8	66.9	146.0	189.7	273.6	126.7	42.5	107.4	390.1	391.7	141.4	47.2	2538.2
ET	48.4	63.8	96.7	93.2	116.6	176.0	89.0	178.7	174.5	144.4	73.2	63.4	392.8
Campo													
Moy.	113.1	131.6	200.8	268.8	327.3	182.4	65.7	139.9	425.5	500.1	242.8	86.4	2696.3
Q1	180.1	163.7	259.8	323.2	487.6	246.5	94.2	211.9	565.6	661.2	297.8	107.7	2944.1
Q3	53.0	68.9	148.9	202.9	233.6	82.0	18.9	57.1	279.1	371.3	189.7	48.4	2490.1
ET	78.3	77.9	80.9	90.8	127.7	138.7	91.1	119.0	190.2	164.5	82.4	54.0	357.4

Tableau 2.17. – Hauteurs de précipitations journalières de récurrence donnée (Pearson III).

Stations	Hauteurs de précipitations journalières atteintes ou dépassées										Maximum observé	Nbre années
	Par an :				1 fois tous les :							
	10 fois	5 f.	2 f.	1 f.	2 ans	5 ans	10 a.	20 a.	50 ans	100 a.		
Ekona	46.1	59.4	77.2	90.7	104	122	136	149	168	181	128	*6*
Débundscha	153	192	244	284	324	378	418	459	513	554	367.5	*3*
Tiko	64.7	86.1	115	138	161	192	216	240	272	296	199.2	*9*
Kumba	45.4	58.6	76.3	90.0	104	122	136	150	169	183	148.3	*6*
Mbanga	47.9	62.3	81.5	96.1	111	130	145	160	179	194	114.5	*8*
Loum	67.0	86.1	112	131	150	176	196	215	241	261	300.0	*10*
Nkongsamba	44.6	55.9	70.9	82.2	93.7	109	120	132	147	159	175.0	*34*
Mamfé	55.6	70.4	90.2	105	120	141	156	171	191	207	158.6	*11*
Dschang	31.8	39.8	50.4	58.5	66.6	77.3	85.5	93.6	104	113	88.0	*21*
Nkondjok	51.1	64.2	81.4	94.6	108	125	138	151	169	182	160.6	*11*
Yingui	40.5	50.5	63.5	72.2	82.9	95.6	105	115	127	137	110.0	*12*
Yabassi	52.3	66.7	86.1	101	116	136	151	166	186	201	153.5	*17*
Douala	74.6	97.8	130	154	180	214	240	266	301	327	237.8	*38*
Dizangue	57.4	72.5	92.5	108	123	143	158	173	193	208	216.2	*13*
Edéa	49.6	64.2	83.8	98.8	114	134	150	165	186	201	191.8	*37*
Eséka	41.3	53.8	70.6	83.7	96.8	114	128	141	159	173	186.3	*33*
Lolodorf	38.0	48.6	62.9	73.9	85.0	99.8	111	122	137	149	114.9	*9*
Kribi	58.0	77.0	104	123	144	172	193	214	243	264	205.3	*33*
Campo	56.9	76.7	104	126	148	177	200	223	254	277	197.4	*15*
Makak	35.0	45.0	58.3	68.6	78.9	92.5	103	113	127	138	136.7	*20*
Yaoundé	33.5	43.8	57.8	68.5	79.3	93.8	105	116	130	141	111.0	*34*
Ayos	32.4	42.5	55.8	66.0	76.1	89.6	99.8	110	124	134	93.5	*4*
Akonolinga	34.2	44.7	58.9	69.7	80.6	95.1	106	117	132	143	102.5	*17*
Abong Mbang	36.5	48.0	63.6	75.4	87.4	103	116	128	144	156	127.0	*30*
Mbalmayo	35.4	46.1	60.4	71.3	82.2	96.7	108	119	133	144	119.0	*15*
Sangmélima	35.7	46.7	61.6	73	84.6	100	112	123	139	151	143.5	*27*
Ebolowa	36.0	46.6	60.7	71.6	82.5	97.0	108	119	134	145	112.7	*34*
Nyabessan	33.1	41.6	52.6	60.8	69.0	79.9	88.0	96.0	107	115	93.6	*10*
Ambam	35.7	46.2	60.4	71.3	82.2	96.7	108	119	134	145	132.6	*17*
Djoum	36.6	48.0	63.3	75.2	87.2	103	116	128	144	157	116.0	*9*

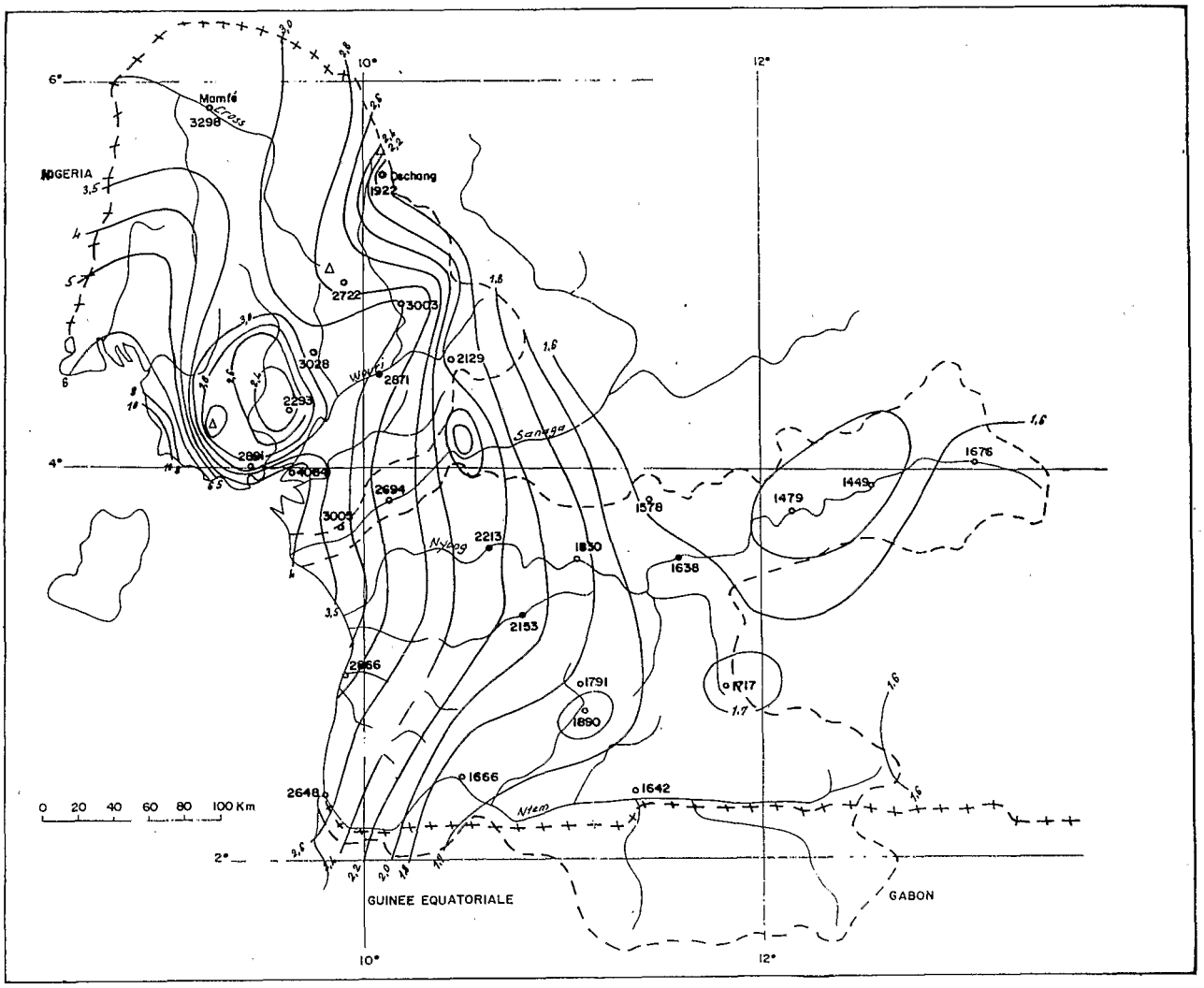


Figure 2.20. – Esquisse des isohyètes interannuelles pour la période de 1937 à 1977 (40 ans) sur le bassin du Nyong et des fleuves côtiers.

l'irrégularité interannuelle des précipitations reçues pendant les mois de saison sèche est bien marquée en valeur relative du fait des faibles valeurs moyennes mensuelles mais reste modeste en valeur absolue, par rapport aux variations interannuelles des mois de saison des pluies. Les graphes donnés plus loin dans les figures 2.21 et 22 le montrent bien.

Les variations mensuelles de Cv ont été reportées pour sept stations représentatives (fig. 2.23). Ces graphes traduisent ce qui a été dit sur la forte irrégularité interannuelle des mois de saison sèche. On notera cependant que cette irrégularité diminue pour les stations à climat franchement équatorial, et que pour les stations du Sud, l'irrégularité interannuelle de la « petite saison sèche » juillet-août est plus forte que celle de la grande saison sèche, ce qui n'est pas encore le cas pour les stations de Yaoundé et Abong-Mbang soumises au climat équatorial de transition.

Histogrammes moyens

Les histogrammes moyens de 31 stations ont été dessinés figures 2.21 et 22 dans un ordre regroupant, *grosso modo,* les stations d'après leur situation géographique en latitude et longitude. L'examen de ces histogrammes explique à lui seul les variations climatiques rencontrées dans le milieu étudié.

- L'abondance des précipitations sur le littoral du Mont-Cameroun est rappelée pour mémoire. Il tombe plus d'eau en septembre à Débundscha que dans toute l'année à Yaoundé.
- La saison des pluies est continue de mars à novembre à l'ouest de la Sanaga et peut durer

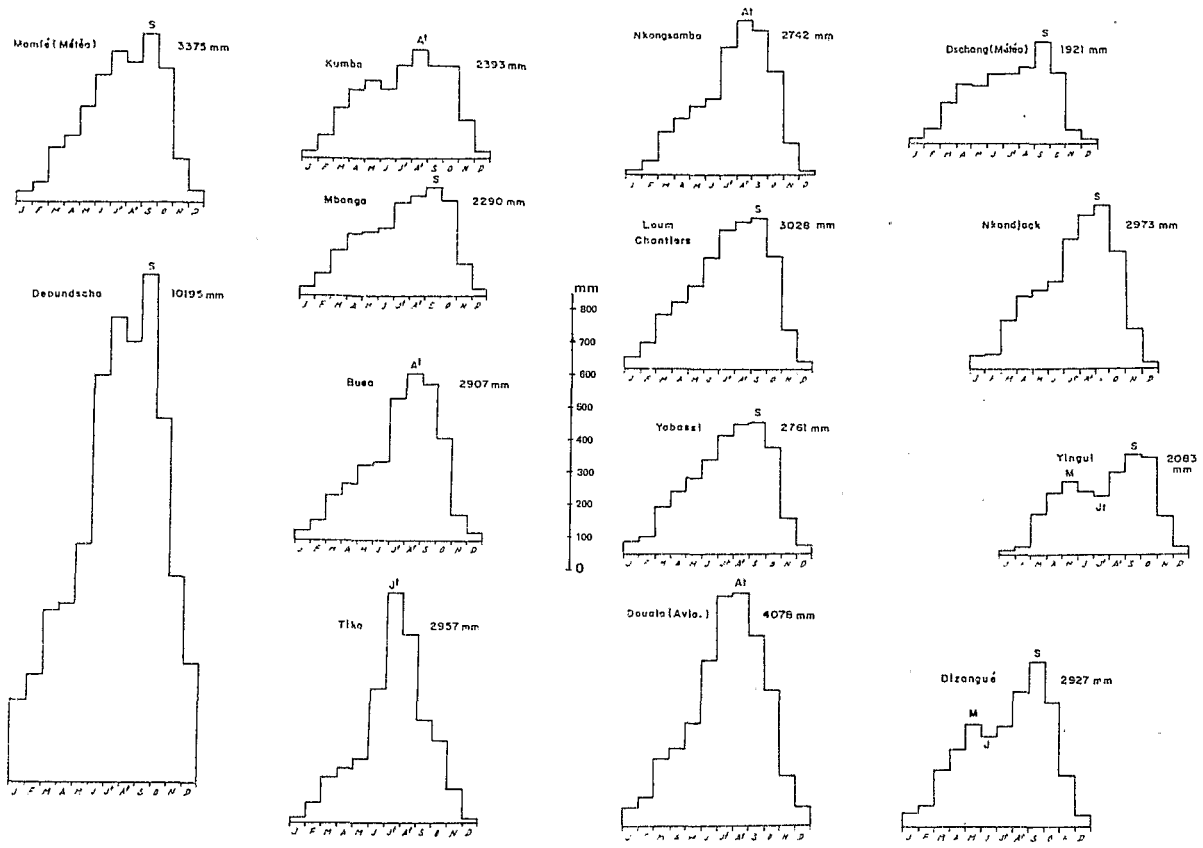


Fig. 2.21. – Histogrammes moyens des précipitations mensuelles.

localement jusqu'à 10 et 11 mois, réduisant la saison sèche « théorique » à décembre et janvier.

- Le mois le plus arrosé se situe généralement en septembre, à l'ouest de la Sanaga, sauf dans la région du Wouri où il peut être observé en août et parfois en juillet.
- Au sud de la Sanaga, le mois le plus arrosé se déplace de septembre à octobre, en allant vers l'est et le sud. On voit également se matérialiser la petite saison sèche de plus en plus nettement.
- A peine sensible à Yingui, Édéa et Dizangué où elle est marquée par une simple baisse de pluviosité en juin, juillet, la petite saison sèche apparaît déjà plus nettement à Éséka. Plus à l'est et au sud, la petite saison sèche concerne les mois de juin, juillet, août, avec minimum en juillet. La faible pluviosité de juillet est alors comparable à celle de décembre et janvier, ou même inférieure (Campo, Nyabessan).

Le mois le plus arrosé de la petite saison des pluies est généralement le mois de mai.

2.2.4. Précipitations journalières

L'étude des précipitations journalières à partir des relevés journaliers de 30 stations donne des résultats cohérents dans l'ensemble, en dépit d'échantillons de tailles très variables.

Pour de nombreux postes, en effet, les données de base sont souvent douteuses à l'échelle de la mesure journalière, soit qu'il y ait eu cumul de plusieurs pluies de jours consécutifs, soit que l'on note des lacunes dans les observations. Dans ces conditions, l'année considérée ne peut plus être prise en compte, et l'échantillon devient vite insuffisant pour une détermination correcte des averses journalières de probabilité rare.

Ainsi dans la région du Mont Cameroun, les relevés journaliers sont de bonne qualité mais ne couvrent qu'une période d'observations de moins de 10 ans. Les résultats obtenus à partir de relevés de Djoum, Ayos, Lolodorf, Nyabessan, Yingui et Loum sont douteux, les relevés étant de mauvaise qualité et couvrant trop peu d'années d'observations.

A un moindre degré, nous émettrons également des réserves sur les résultats obtenus pour les postes de Campo, Dizangué et Yabassi.

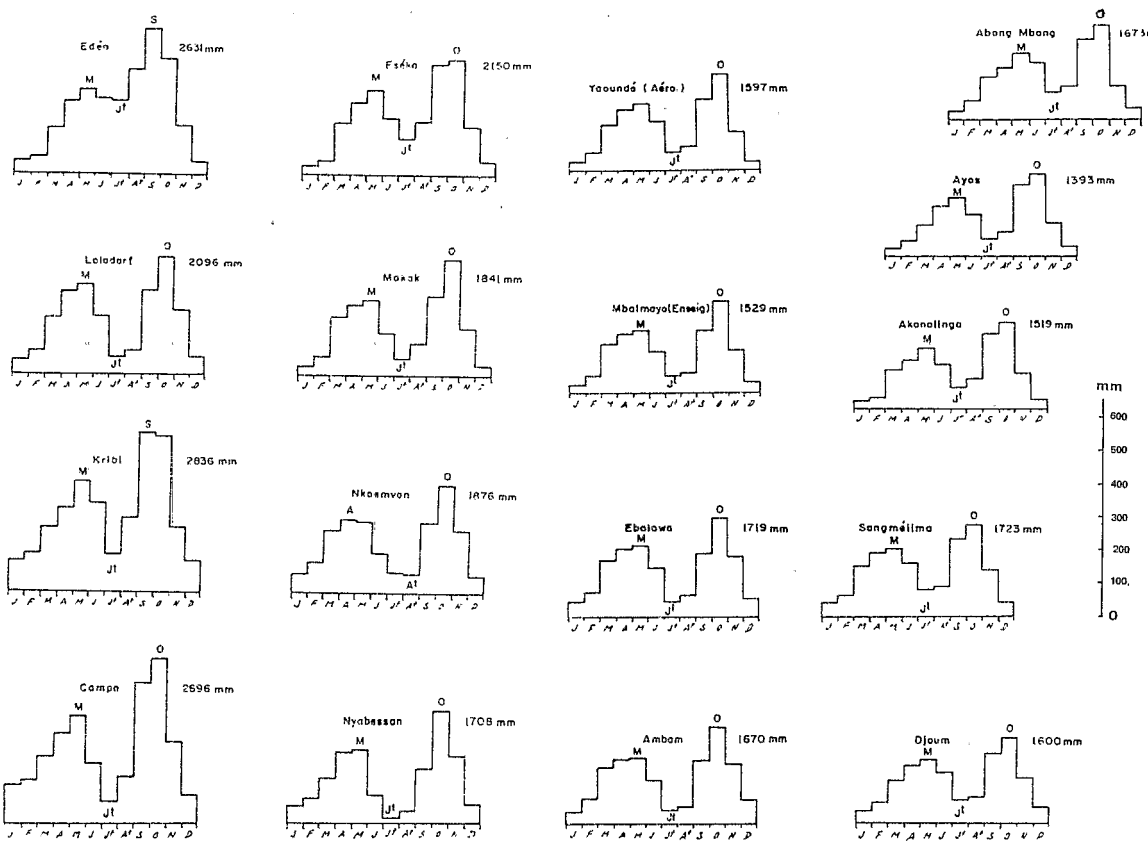


Fig. 2.22. – Histogrammes moyens des précipitations mensuelles (suite).

La distribution statistique des pluviométries journalières a été étudiée en utilisant une loi de Pearson III tronquée et une loi de Goodrich.

Nous indiquons dans le tableau 2.17 les hauteurs de précipitations journalières égalées ou dépassées 10, 5, 2, 1 fois par an et 1 fois tous les 2, 5, 10, 20, 50, 100 ans obtenues à partir de la loi de Pearson III ainsi que la pluviométrie maximale observée en 24 h sur la période étudiée, et le nombre d'années utilisées pour chaque poste.

Bien entendu les valeurs cinquantennales et centennales ne sont mentionnées qu'à titre indicatif.

Précisons que les valeurs obtenues par la loi de Goodrich divergent généralement très peu de celles obtenues par Pearson III, au niveau de l'averse journalière décennale.

La figure 2.24 résume ces résultats pour quelques stations représentatives des divers régimes pluviométriques des régions étudiées, en diagramme semi-logarithmique.

Le cas de Débundscha mis à part (paroxysme de la mousson), on note trois faisceaux de droite :

- stations côtières recevant les précipitations soutenues de la mousson ;
- stations postlittorales (Édéa, Mamfé) atteintes sans obstacles orographiques par la mousson ;
- stations de l'intérieur pour lesquelles les manifestations orageuses relativement courtes sont plus fréquentes que celles des longues perturbations océaniques.

Les faibles valeurs déterminées pour Dschang sont liées à l'altitude élevée de la station, ce qui correspond à un phénomène d'observation, général au Cameroun.

Les cartes de la figure 2.25 indiquent les lignes d'égales hauteurs de précipitations journalières, de probabilité annuelle et décennale.

Ces cartes montrent une décroissance des valeurs de l'averse journalière, de l'Océan vers l'intérieur, assez bien calquée sur les variations spatiales de la hauteur de précipitations annuelles (région déficitaire de Kumba-Mbanga, sous le vent du Mont Cameroun – régions d'altitude de l'Ouest et déficitaire du bassin du Mbam).

On notera aussi, à l'est, des valeurs minimales de l'averse journalière de probabilité donnée observées sur la longitude de Yaoundé, une légère augmenta-

tion des hauteurs de pluie liée sans doute à la plus grande continentalité de ces régions.

Une relation assez significative apparaît entre les valeurs de l'averse journalière de probabilités annuelle et décennale, et la hauteur de précipitations interannuelle. Par rapport à la courbe moyenne, on relève des valeurs excédentaires de la pluviométrie pour les stations côtières, et déficitaires pour les stations postcôtières et d'altitude.

En conclusion, on retiendra que l'averse journalière décennale est pratiquement supérieure à 120 mm sur la quasi-totalité des bassins situés à l'ouest de la Sanaga, et y dépasse souvent 150 mm, alors que pour le Nyong et le Ntem, elle tombe à environ 110 mm sur la majeure partie des bassins.

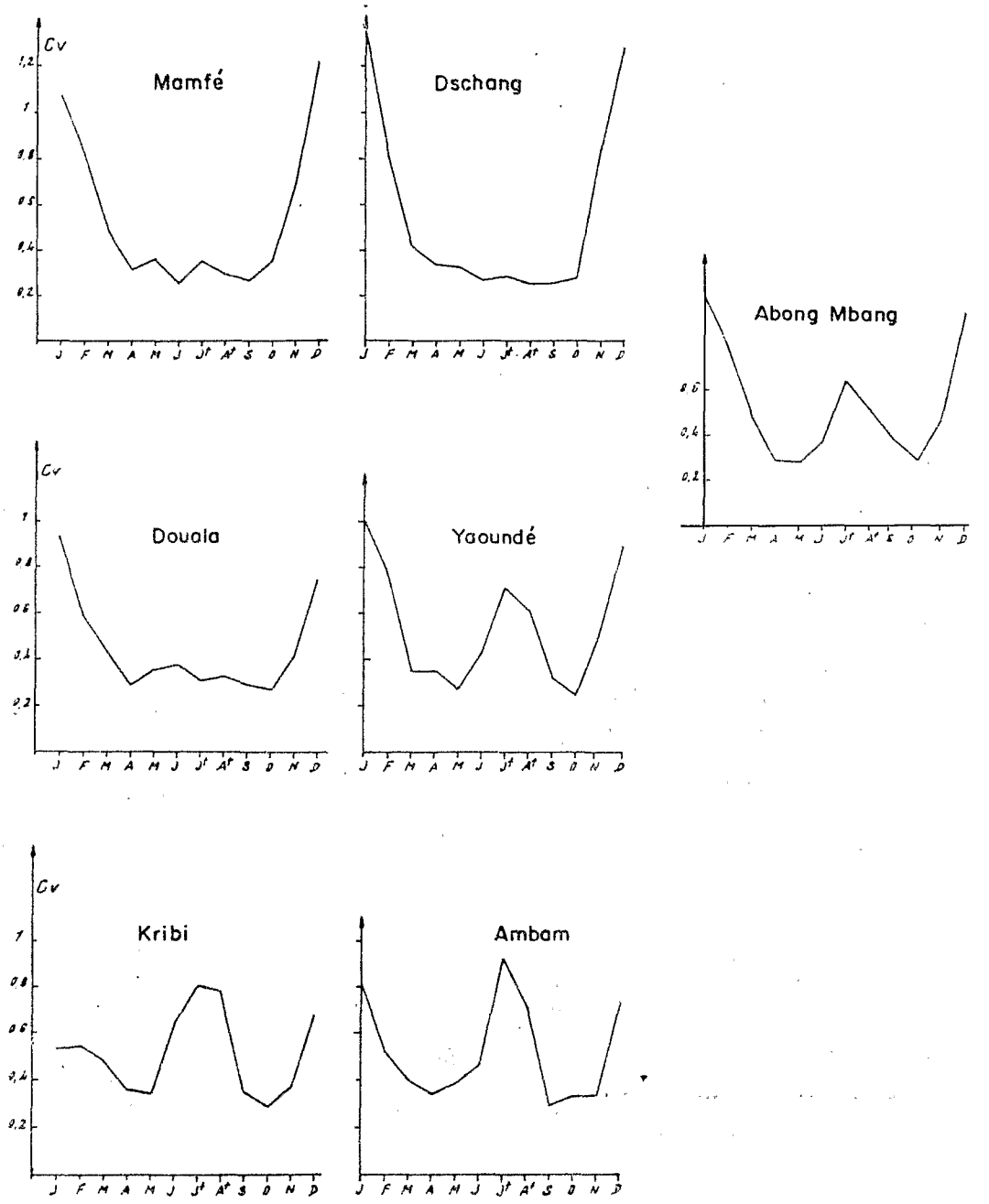


Fig. 2.23. – Variations mensuelles du Cv des précipitations mensuelles.

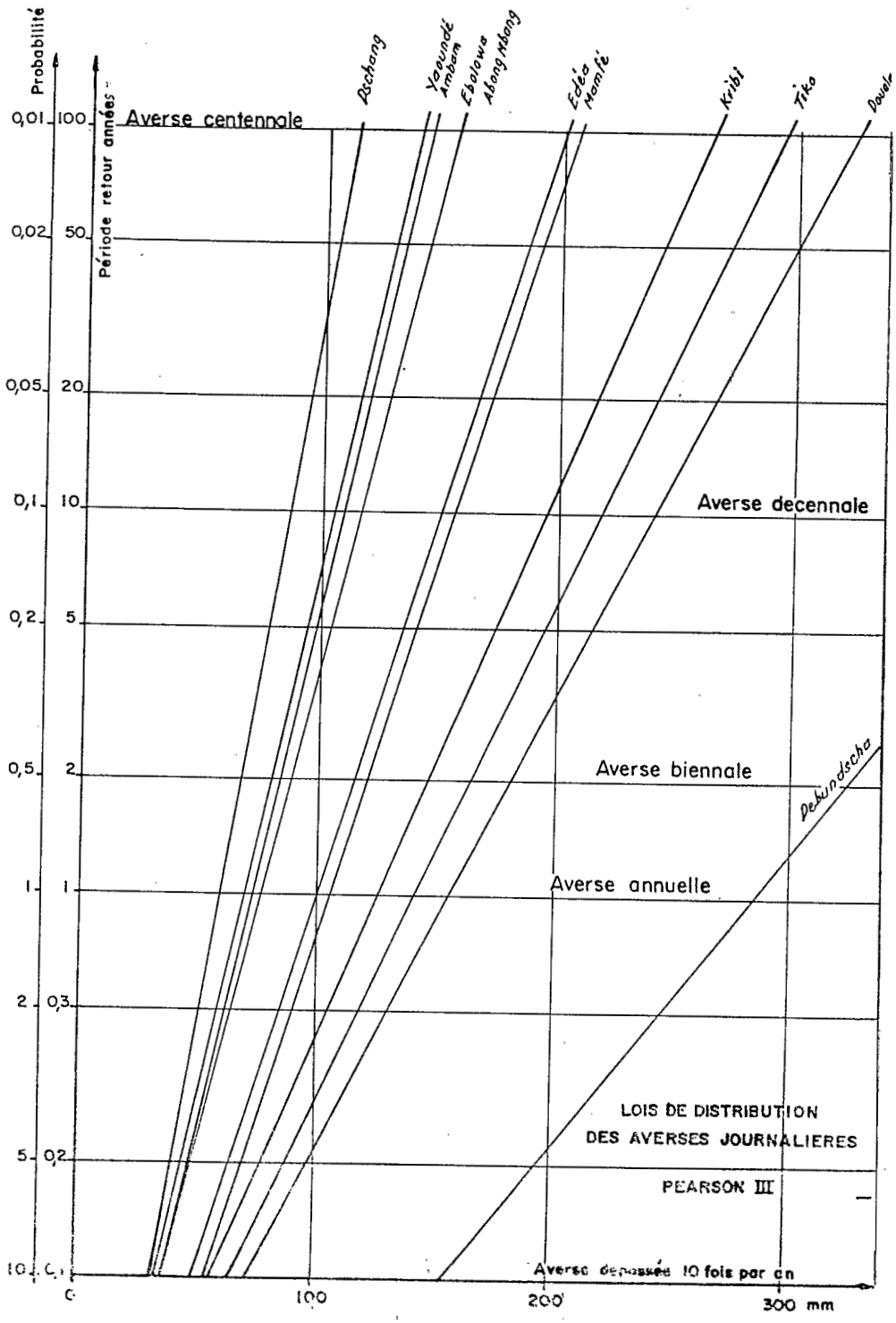


Fig. 2.24. – Analyse fréquentielle des précipitations journalières.

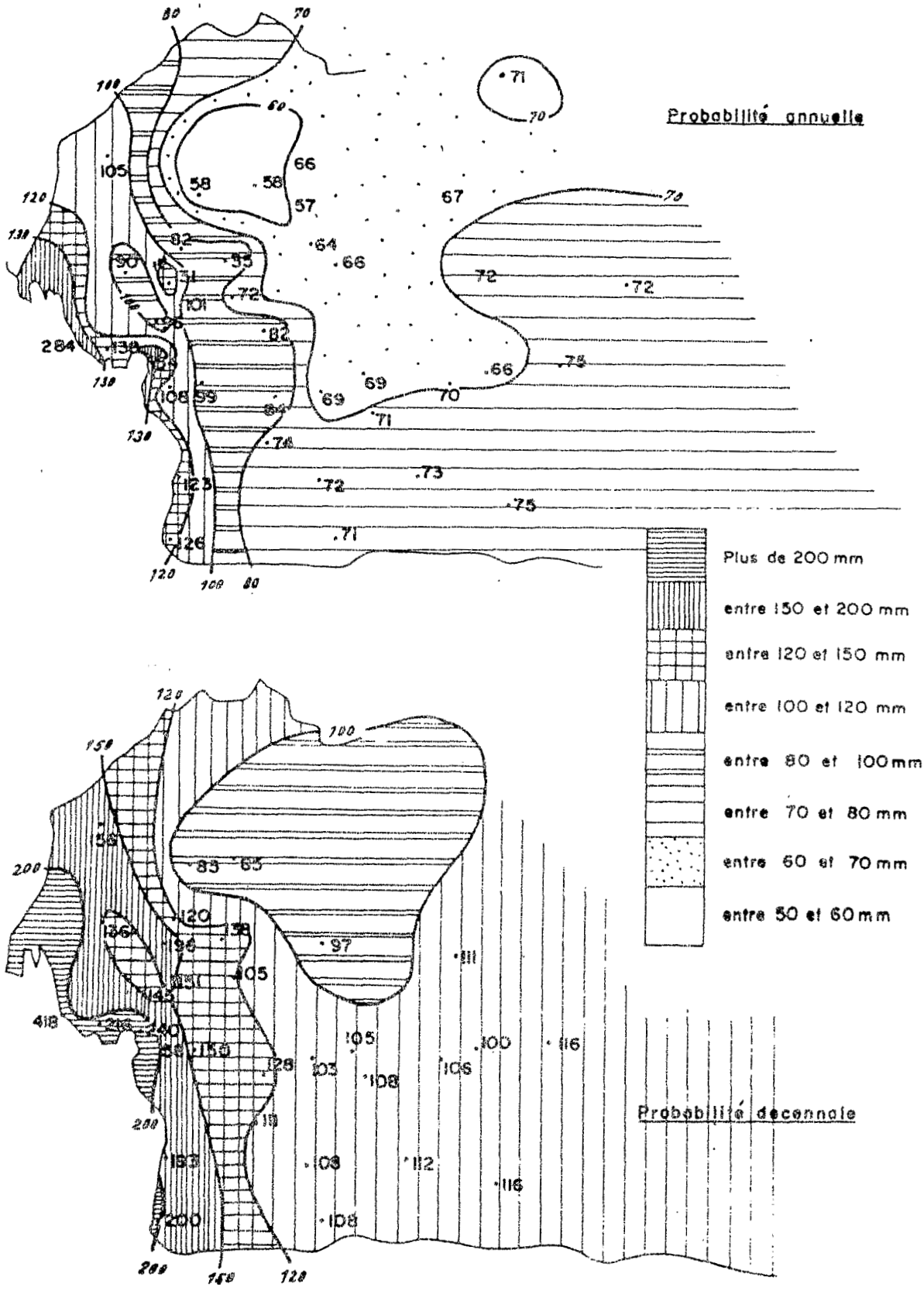


Fig. 2.25. – Courbes d'égales hauteurs de précipitation journalière de probabilité donnée.

CHAPITRE III

Hydrologie du Nyong

1. DESCRIPTION DU NYONG ET DE SON BASSIN VERSANT

1.1. Introduction

Le Nyong est le deuxième fleuve en importance entièrement inclus dans le territoire de la République Unie du Cameroun. Mais ce rang ne doit pas faire illusion. La superficie de son bassin versant avec 27 800 km² couvre à peine 1/5 de la superficie du bassin de la Sanaga, premier fleuve du Cameroun, à peine 1/4 de la partie camerounaise du bassin de la Bénoué, 1/4 également de la partie camerounaise tributaire du bassin du Congo (Sangha). Son bassin versant est aussi plus petit que celui du Ntem issu du Gabon. A cette hiérarchie des superficies s'ajoute celle de la puissance du fleuve. Le débit moyen du Nyong est inférieur à celui de la Cross River à Mamfé dont le bassin ne couvre pourtant que le 1/4 de la superficie du bassin du Nyong.

Les limites du bassin sont comprises entre les parallèles 2° 48 N et 4° 32 N, entre les méridiens 9° 54 E et 13° 30 E.

Le bassin du Nyong a *grosso modo* la forme d'une enclume dont la base reposerait sur le parallèle d'Ebolowa-Sangmélima (environ 3° N) et dont les bigornes seraient constituées par l'estuaire et le haut-bassin en amont d'Abong-Mbang. Sa longueur est d'environ 400 km, orientée entre les directions EO et ENE-WSW. Sa largeur moyenne est d'environ 70 km mais peut tomber à 40 km (Makak) et aller jusqu'à 120 km (longitude de Yaoundé).

Le Nyong draine la partie nord du plateau du Centre Sud d'altitude 600-700 m (la partie sud étant drainée par le Ntem). Rappelons que ce plateau correspond à une surface d'aplanissement datant d'un cycle d'érosion du tertiaire, général en Afrique, qui a abouti à ce qu'on a appelé la surface Africaine I. Quelques reliefs isolés de 1 000 à 1 200 m (montagnes de Yaoundé) correspondent à des îlots plus résistants (quartzite) et sont les témoins d'une surface dite post-gondwanienne dont l'aplanissement a eu lieu au Crétacé.

Les séries du socle précambrien du plateau ont donc subi un rabotage continuel depuis leur mise en place. L'érosion toujours active a progressivement réduit l'extension du plateau dont les marges ont été grignotées par les tributaires du bassin de la Sanaga au nord, ceux de la Kadeï, de la Boumba et du Dja (BV du Congo) à l'est et au sud, par la Lokoundje à l'ouest. Ceci explique que le haut-Nyong ne draine plus qu'une bande étroite du plateau, avant son extension vers le sud, au niveau de Mbalmayo. De fait, jusqu'aux rebords ouest du plateau, le bassin du Nyong apparaît comme une large gouttière à faible pente de l'est vers l'ouest. En franchissant les rebords du plateau, le Nyong dévale rapidement jusqu'à la plaine prélittorale où le bassin conserve sa morphologie étroite entre la Sanaga inférieure et la Lokoundjé.

Il semble bien que la géomorphologie, à travers l'analyse du réseau hydrographique, reflète un mouvement récent de bascule du plateau du Centre-Sud. C'est du moins ainsi que l'on peut interpréter la dissymétrie des bassins versants étroits sur la rive gauche des drains principaux s'écoulant vers l'ouest. En effet, les affluents sont généralement très courts en rive gauche et très développés en rive droite (c'est vrai pour le Nyong, mais aussi pour d'autres fleuves du Centre-Sud, à quelques nuances près). L'hypothèse d'un basculement du socle vers le sud ou le sud-est – vers la cuvette congolaise – expliquerait ce phénomène : en tête de bassin, des affluents de rive gauche sont plus rapidement atteints pour de simples raisons d'altitude par rapport au drain collecteur. Ceci semble confirmé, au contact Nyong-Sanaga, par l'enfoncement et la jeunesse des thalwegs des affluents de la Sanaga où la roche altérée est peu profonde, tandis que les affluents du Nyong présentent un profil évolué, à fond plat et aux sols profonds, dans la mesure où seul le plateau du Centre-Sud aurait basculé

– ou fléchi – par rapport à la vallée de la Sanaga et aux régions côtières. Alors, cela expliquerait aussi la capture de la Tere, faisant initialement partie du haut-bassin du Nyong et dont nous reparlerons (et aussi la capture de la haute Tchangue, séparée de la Kienke pour rejoindre le bassin de la Lokoundje [1]). Sur le plateau, lui-même, ce basculement pourrait expliquer la capture du Dja supérieur qui se dirigeait à l'origine vers le Nyong par la Lobo et le Soo.

La position en latitude du bassin du Nyong soumet celui-ci à un climat équatorial de transition, dont les caractéristiques ont été précisées. Ce climat est marqué essentiellement dans l'année par deux saisons sèches et deux saisons humides d'inégales importances, les grandes saisons sèche et humide étant respectivement observées de décembre à février et de septembre à novembre.

La position en longitude intervient sur le plan de la répartition des précipitations annuelles reçues sur le bassin. De l'ouest vers l'est, la hauteur de précipitations diminue régulièrement, passant de 3 000 mm à l'embouchure à 1 500 mm sur le haut-bassin.

Les précipitations sont toujours suffisamment abondantes pour que le bassin soit entièrement couvert par la forêt. La forêt avec ses variations zonales est assez dégradée sur le cours moyen du fleuve où les populations rurales sont importantes et les exploitations forestières nombreuses. Sur le bassin aval, par contre, la faible densité du peuplement explique le paysage de forêt dense qui y est observé.

La forêt se développe sur des sols ferrallitiques rouges sur le plateau, jaunes vers l'ouest, dont l'épaisseur peut être très importante (5 à 15 m), ce qui témoigne d'une pédogenèse ancienne. Ces sols constituent le magasin de réserves aquifères relativement importantes localement. Ils sont propices au développement des cultures vivrières (ceinture verte de Yaoundé) et constituent la terre d'élection du cacaoyer dont l'extension est grande dans la région. Cacao, exploitations forestières et cultures vivrières sont les principales ressources des populations du Nyong.

Le fleuve lui-même, que ce soit du fait des possibilités de navigation sur son cours supérieur, ou du fait de son potentiel hydro-électrique sur le cours moyen, a depuis longtemps retenu l'attention des autorités administratives et des départements ministériels techniques. Mais c'est seulement à la fin de la Seconde Guerre mondiale que Darnault (T.P.) a souligné l'intérêt d'un réel réseau de mesures sur le Nyong, les observations antérieures étant très limitées, et a fait installer les premières stations hydrométriques.

(1) A. Franqueville (1971) rapporte, au contraire, que la Tchangue est menacée de capture par la Kienke et même par la Biwoume, affluent du Ntem.

Au début des « années cinquante », les hydrologues de l'ORSTOM réorganisent et complètent le réseau hydrométrique dont les observations sont à la base de l'analyse proposée ici.

Le Nyong a été équipé de 8 stations :
- Nyong à Abong-Mbang (station abandonnée depuis 1972),
- Nyong à Ayos,
- Nyong à Akonolinga,
- Nyong à Mbalmayo,
- Nyong à Olama (depuis 1964 seulement),
- Nyong à Kaya (1965),
- Nyong à Eséka,
- Nyong à Dehane.

L'étude du régime hydrologique du Nyong, et de ses variations de l'amont vers l'aval, est donc basée sur ces stations qui définissent des bassins versants dont nous proposons de préciser la physionomie et les caractéristiques, avant d'analyser les mesures et les observations et d'en interpréter les résultats (cf. cartes des fig. 3.1 et 3.2).

Dans le tableau 3.1 sont résumées les caractéristiques de situation des stations hydrométriques ayant existé ou existant encore sur le bassin versant du Nyong :

1.2. Le cours supérieur du Nyong

1.2.1. Le réseau hydrographique de la source au confluent du Mfoumou

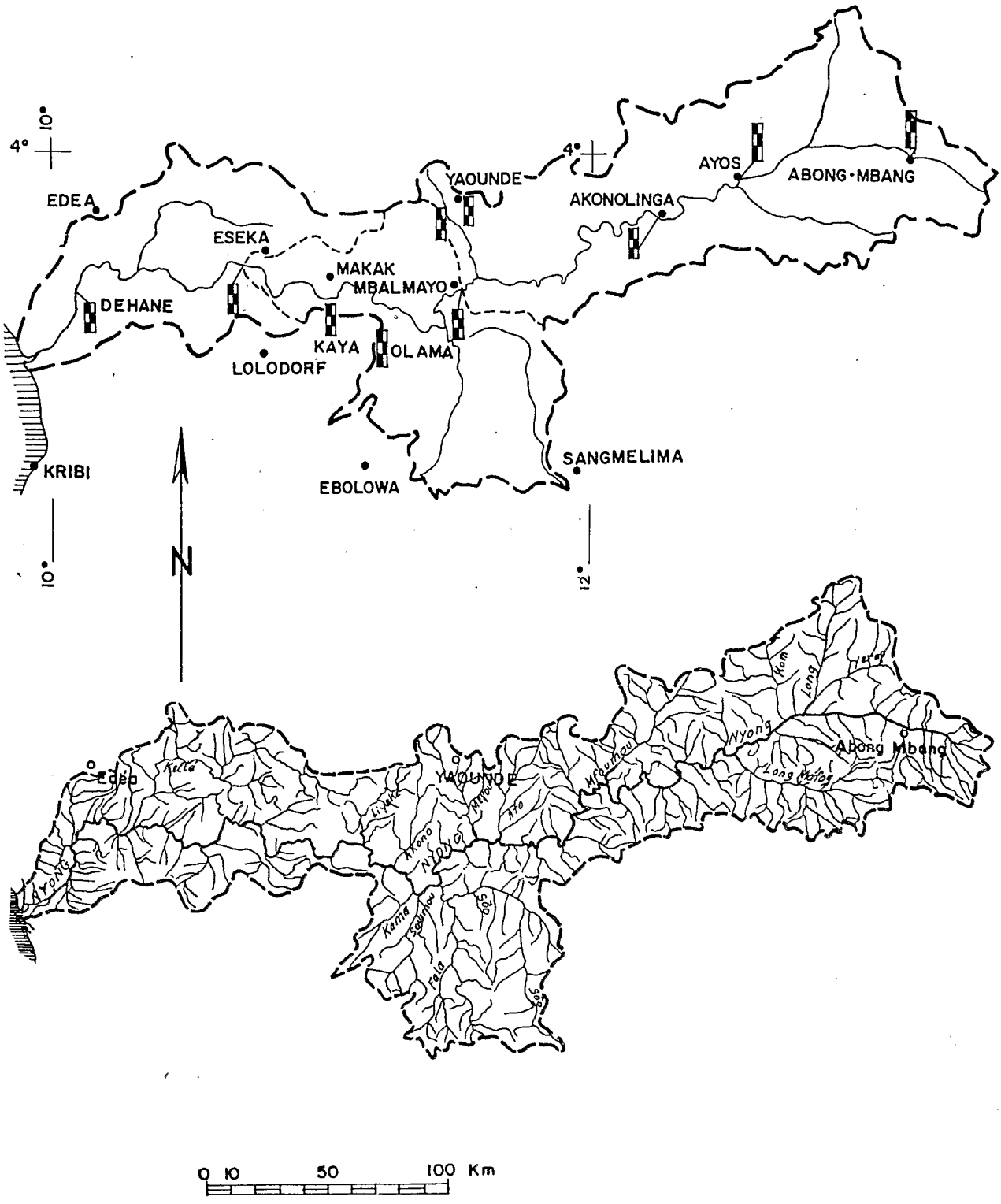
Le Nyong prend sa source dans la partie la plus orientale du bassin (longitude 13° 30) à environ 690 m d'altitude et à 690 km de la mer.

Évoluant dans une vaste zone marécageuse, comme ses nombreux affluents, son lit n'est marqué que par un couloir ouvert dans la forêt, large de quelques centaines de mètres et envahi par une végétation de graminés aquatiques ne laissant pas apparaître de bief libre.

A 21,5 km de sa source, il reçoit en rive gauche un 1er affluent important, le Mbamilong, dont la branche majeure (Misoumtouo) a une longueur de 29,4 km et naît vers 770 m d'altitude. Au km 661, le Nyong reçoit, toujours en rive gauche, le Mfouom d'une longueur de 38 km (Onmpoul) prenant sa source sur des reliefs ne dépassant pas 770 m.

Le Nyong atteint Abong-Mbang (Pont) au km 650, son lit est alors mieux marqué mais toujours envahi par la végétation aquatique. Ce haut-bassin est caractérisé par ses vastes zones marécageuses, couloirs à graminées entièrement inondés et forêt inondée sur une largeur pouvant dépasser 3 km.

Fig. 3.1. – Réseau hydrométrique du bassin versant du Nyong.



LE BASSIN VERSANT DU NYONG

Fig. 3.2. – Réseau hydrographique du bassin versant du Nyong.

Tableau 3.1. – Stations hydrométriques du bassin du Nyong.

Cours d'eau et station	Superficie du B.V.	Station			Observ.(1)
		Longitude Est	Latitude Nord	Altitude	
Nyong à Abong-Mbang	965	13° 10'	3° 59'	657	Réseau
" à Ayos	5 300	12° 31'	3° 53'	654	Général
" à Akonolinga	8 350	12° 15'	3° 47'	643	"
" à Mbalmayo	13 555	11° 30'	3° 31'	634	"
" à Olama	18 510	11° 17'	3° 26'	628	"
" à Kaya	19 985	11° 05'	3° 32'	(617)	"
" à Eséka	21 600	10° 42'	3° 41'	146	"
" à Dehane	26 400	10° 07'	3° 34'	(15)	"
Mefou à Etoa	235	11° 29'	3° 46'	672	"
" à Nsimalen	425	11° 32'	3° 44'	650	"
Nyong à Njock (1 station amont des chutes - 4 stations aval)	21 000	10° 46'	3° 34'	244	Hydro-
			peu différent	202	électricité
Bassins d'Ottotomo (3) dont la Sibakon à S3	23.6	11° 14'	3° 40'	670	B.R.E.
Mfoundi à Yaoundé (Mbala) (+ 2 stations secondaires)	38.8	11° 32'	3° 50'	695	"
Mopfou à Centrale Electrique	70	11° 28'	3° 53'	696	Alimentation
Mopfou à Mbalngong	180	11° 28'	3° 48'	678	eau Yaoundé

(1) Stations appartenant soit au Réseau Général, soit créées dans le cadre d'études ponctuelles pour l'hydro-électricité, l'alimentation en eau de Yaoundé ou recherches sur bassins représentatifs (B.R.E.).

Les écoulements sont très lents, la pente est de l'ordre de 0,2/1 000. En rive droite les limites du bassin sont imprécises, les zones marécageuses étant contiguës à celles de la Doume (petite Doume notamment, et zone de capture de la Bakoï par le Mbala) et variables suivant la saison.

Le Nyong est à la cote 660 m environ à Abong Mbang.

Après avoir reçu, à l'aval d'Abong Mbang, le Ngouongsie, affluent de rive gauche comparable au Mfouom, le Nyong erre dans une plaine marécageuse de 3 à 5 km de large.

Peu en amont de l'usine d'Atok (km 600), le Nyong reçoit en rive droite le premier affluent important, le Long ou Ayong, venant du Nord. La direction générale du Nyong est Est-Ouest jusqu'à ce confluent. Le Long, augmenté du Yerap en rive gauche, draine la région de Nguelemendouka au sud-est de Minta. Sa branche majeure a une longueur de 70 km et prend sa source vers 760 m. Le faciès marécageux reste le même que pour le Nyong.

En aval d'Atok, le Nyong reçoit le Kom en rive droite au km 595, puis le Peo au km 589 en rive gauche ; il atteint Ayos (Pont) au km 565 (647 m d'altitude environ aux moyennes-eaux). La pente moyenne entre Abong-Mbang et Ayos est de 0,15/1 000. Le Nyong présente sur ce bief un chenal très sinueux pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de largeur au milieu d'un couloir marécageux de 3 km de large en moyenne.

Le Kom, dont la vallée n'est qu'un vaste marécage sans pente, n'est plus que le témoin d'un affluent plus important dont la partie supérieure du bassin (Tere) est devenue tributaire du bassin de la Sanaga par une zone de capture située à 36 km en amont du confluent avec le Nyong. L'ancien ensemble Kom-Tere avait une longueur de 96 km. La zone de capture se situe à 655 m d'altitude.

Juste en aval d'Ayos, le Nyong reçoit en rive gauche le Long Mafok dont la branche principale a une longueur de 71 km, en majeure partie marécageuse. Le Long Mafok draine la région de Messamena.

Avec un cours extrêmement sinueux au milieu du couloir marécageux mais un bief bien marqué, parfois large de plus de 100 m, le Nyong atteint Akonolinga au km 504, et ne reçoit sur cette partie de son cours que des affluents très secondaires (en rive gauche, le Yi, Lala, Yanga). En aval d'Akonolinga, le large couloir marécageux ouvert dans la forêt tend à s'amenuiser et disparaît au km 465, 10 km en amont du confluent de Mfoumou. La direction générale du Nyong depuis le confluent du Long est *grosso modo* ENE-WSW.

La pente moyenne entre Ayos et Akonolinga est d'environ 3 m pour 61 km (0,05/1 000).

1.2.2. Le réseau hydrographique du Mfoumou à Kaya

Le Nyong, d'une largeur de cent à deux cents mètres, coule au cœur de la forêt ; la végétation aquatique se réduit à quelques formations le long des berges pouvant toutefois obstruer le confluent d'affluents secondaires. Le Mfoumou, venant du Nord, draine une région au relief assez marqué ; il rejoint le Nyong au km 455.

Les zones marécageuses sont plus réduites. La branche majeure du bassin du Mfoumou a une longueur de 75 km. Un de ses affluents, le Yembe, prend sa source au mont Nkobiseke à 987 m d'altitude, tandis que l'Abe, qui conflue en rive droite du Mfoumou à 3 km du Nyong, draine la partie sud-est du massif de Zomo et notamment les monts Einvong (1 010 m), Ngoundou (1 127 m) et Ngoua (1 101 m). A ce niveau, le bassin du Nyong a une largeur de 50 km.

Vingt kilomètres en aval du confluent de Mfoumou, le Nyong reçoit au km 435 en rive droite l'Afamba dont la branche majeure d'une longueur de 46 km prend sa source au Mont Zomo (1 219 m) ; un sous-affluent, le Ndou, draine la région de Dzeng.

Au km 357, l'Ato, qui draine la région est de Mfou, augmenté de la Tofini et de la Kombo, rejoint le Nyong en rive droite (branche moyenne : 50 km ; point culminant : 946 m).

Au km 346, toujours en rive droite, le Nyong reçoit la Mefou qui draine toute la région de Yaoundé et notamment la zone de hautes collines au nord et à l'ouest de cette ville (Monts Mbikal, Nkolondom 1 221 m et Odou 1 225 m, point culminant du bassin du Nyong) [1].

En rive gauche, le Nyong ne reçoit que de petits affluents. Le Nyong atteint Mbalmayo au km 330. La pente moyenne entre Akonolinga et Mbalmayo est de 10 m environ pour 174 km (0,06/1 000).

A 28 km en aval de Mbalmayo, le Nyong reçoit en rive gauche au km 302, le Soo. Cet affluent, le plus important du Nyong, a un bassin versant qui agrandit considérablement l'extension vers le sud du bassin du Nyong (2° 50 lat. N). Sa branche majeure a une longueur de 120 km et prend sa source à l'WSW de Sangmelima. Le Soo reçoit en rive gauche des sous-affluents importants comme la Fala (80 km) et la Manfala qui drainent la région est de Ngoulemakong.

Les hauts-bassins de ces rivières montrent dans le réseau des zones marécageuses importantes. La ligne de partage des eaux avec le bassin du Ntem se situe autour de 700 m d'altitude.

Au nord-ouest de Zoetele, une zone de capture s'observe entre le Mintele, tributaire de la Lobo et

(1) Le plus haut sommet de ces collines, le Mbam Menkoum : 1 295 m, échappe au bassin versant du Nyong.

du Dja, et l'Awout affluent du Soo en rive droite. Le Soo présente d'ailleurs dans sa moitié aval un lit à plusieurs bras qui pourrait être significatif d'une vallée importante et d'une rivière dont le bassin versant s'est considérablement réduit par capture.

Plus en aval, au km 289, le Nyong reçoit la Soumou en rive gauche (56 km de longueur) qui draine des reliefs bien marqués au nord-est d'Ebolowa (Mont Akoumokegven, 1 108 m), puis la Kama au km 287 (55 km de longueur) drainant la région accidentée au sud et à l'est de Ngomedzap.

Le Nyong atteint la station hydrologique d'Olama au km 271. La pente entre Mbalmayo et Olama est de l'ordre de 0,1/1 000.

Au km 269, le Nyong reçoit en rive droite l'Akono dont le bassin versant s'étend sur la sous-préfecture de Ngoumou. Au km 234, la Liyeke, qui draine la région de Mbankomo et de la réserve forestière d'Ottotomo, rejoint le Nyong en rive droite. Quelques petits rapides ne permettent plus la navigation en aval d'Olama.

La station hydrologique de Kaya est au km 233 ; au km 235, on observe les premiers rapides notables annonciateurs des chutes de Mpoume (km 219).

Entre Olama et Kaya, la pente augmente, les sinuosités du Nyong ne correspondent plus au dessin des méandres, mais sont imposées par le relief, la géologie et la tectonique.

A Kaya, la largeur du bassin du Nyong se réduit à 22 km.

1.2.3. Aspects particuliers du cours supérieur du Nyong

Le cours supérieur du Nyong est marqué, on l'a vu, par des pentes entrêmement faibles, pratiquement de 0,1/1 000 d'Abong-Mbang à Kaya. Le relief est par ailleurs généralement très mou et les limites du bassin versant ne sont qu'exceptionnellement supérieures à 700 m. Une telle physionomie explique que l'on observe sur le bassin supérieur de vastes zones marécageuses et des zones de capture.

Les zones d'inondation

Le lit majeur du Nyong constitue une vaste zone marécageuse au sein de laquelle le fleuve serpente en de larges sinuosités décrivant de faux méandres. Le lit est envahi par ce qu'on a appelé la « prairie inondée » constitué de graminées représentées essentiellement par *Echinochloa stagina.* Ces prairies flottantes, ou borgoutières, constituent un des aspects typiques des paysages du cours supérieur du Nyong. Ces graminées enracinées au fond de l'eau sont caractérisées par de longues tiges présentant deux coudes : elles montent verticalement jusqu'à la surface, puis flottent horizontalement parfois sur plusieurs mètres avant de se redresser verticalement à l'air libre. Le développement des parties horizontales des tiges conduit à un enchevêtrement inextricable d'une masse végétale formant un véritable matelas flottant dont l'épaisseur peut atteindre la profondeur du fleuve.

Si le débit passe généralement par un chenal étroit dégagé d'herbes, il peut aussi s'écouler par filtrage à travers la masse végétale, lorsque le chenal est complètement obstrué (Abong-Mbang, Atok). Cet encombrement du lit s'observe surtout en amont du confluent du Mfoumou.

Utilisé comme voie de navigation jusqu'en 1951 entre Mbalmayo et Abong-Mbang, le Nyong était alors régulièrement désherbé. Historiquement, le Nyong constituait d'Olama à « Ober Nyong », 20 km en amont d'Abong-Mbang, la voie la plus pratique pour relier Doume, centre de l'ivoire et du caoutchouc, à la mer par le port de Kribi. Une voie navigable de 400 km était justement appréciée à une époque où les transports s'effectuaient par portage et éventuellement par petites pirogues. Ceci explique les multiples missions tant allemandes (1913) que françaises (Audouin 1917, Nkitenko 1940) venues étudier les possibilités d'amélioration de la navigabilité du Nyong et notamment les seuils rocheux situés entre Mbalmayo et Akonolinga (Opala, Nkolmaka), qui limitaient le tirant d'eau de la batellerie. Délaissé à la suite de la concurrence du chemin de fer et du développement des axes routiers, le Nyong devait cependant encore susciter l'intérêt d'experts (Mission Marteau 1954, Mission allemande 1961).

Mais depuis 1951, le développement de la végétation aquatique posait des problèmes nouveaux. Les solutions coûteuses (faucardage), en regard de l'intérêt économique d'une reprise de la navigation sur le Nyong, n'ont finalement pas été retenues.

On estime que le volume des herbes dans le fleuve continue à croître à une cadence d'environ 100 000 m³ par an.

Aujourd'hui, l'encombrement du lit du Nyong par les herbes aquatiques a bouché complètement le chenal entre Abong-Mbang et Ayos et entraîné la formation d'îles flottantes susceptibles de provoquer des dégâts.

Mais en freinant l'écoulement, le barrage végétal fait monter le niveau du fleuve à l'amont et régularise les débits ; les fluctuations ne se propagent que très lentement à travers les herbes compactes et s'amortissent considérablement.

C'est ainsi qu'à Abong-Mbang à la station ORSTOM, comme on le verra plus loin, le niveau moyen est monté de 1,70 m en 12 ans, les étiages se situant en 1963 à 2,70 m au-dessus des étiages de 1951. Les hautes-eaux par contre n'ont augmenté que de 70 cm, ce qui laisserait supposer que pendant cette période, le matelas d'herbes se soulève et dégage un passage au fond du fleuve.

On conçoit qu'un tel phénomène a des incidences non négligeables, sur le régime hydrologique du cours

d'eau même pour Ayos, qui est à l'aval des zones les plus touchées, incidences également sur le niveau moyen des nappes phréatiques (signalé par Yayer à Atok), sur l'extension des zones de forêt inondée, incidences encore sur les débits qui échappent au Nyong par les zones de captures (Kom).

Les zones de capture (fig. 3.3.)

Elles sont la conséquence d'une part de la morphologie du bassin du Nyong, d'autre part du « grignotage » continu des limites du bassin du Nyong par l'érosion régressive de tributaires à pentes plus fortes de bassins versants limitrophes. En fait, trois zones de capture ont été reconnues.

1° La capture de la Tere par la Sanaga constitue un des meilleurs exemples du « grignotage » progressif du bassin versant. La Tere prend sa source 12 km au nord-est de Minta et se jetait primitivement dans le Nyong à l'aval d'Atok par le Kom, zone marécageuse à très faible pente. Capturée par un tributaire de la Sanaga, la Tere supérieure fait aujourd'hui un coude à angle droit à 30 km au sud-ouest de Minta. La zone de capture s'est déplacée depuis, progressivement vers le sud, d'environ 10 km, capturant au passage le Mbganda et menaçant, dans un avenir plus ou moins éloigné, le haut-Nyong. Elle se situe à 655 m d'altitude. Il est possible d'ailleurs que d'ores et déjà une partie des hautes-eaux du Nyong, dans certaines circonstances favorables de niveau, s'échappe vers le Mbanda et le Sanaga.

Quoi qu'il en soit, le bassin du Nyong a perdu, côté Sanaga, dans le passé, les 950 km² du bassin de la Tere supérieure et est susceptible de perdre encore 3 500 km² à 4 000 km² de son haut-bassin.

2° La capture du Bakoï par le Mbala vers la Doume et le bassin du Congo est beaucoup plus modeste. Située à 665 m d'altitude, à l'extrémité orientale du Haut-Nyong, elle constitue plutôt une zone de raccordement entre les deux bassins, dont les limites doivent varier en fonction du remplissage de la zone marécageuse.

3° La zone de capture de l'Awout, affluent du Soo, par le Mintele affluent de la Lobo et du Dja, à Abangok, constitue certainement la trace actuelle d'un phénomène de capture plus ancien du Dja supérieur par le bassin de la Sangha et du Congo. Le cours actuel du Dja, d'est en ouest dans sa petite partie supérieure, bifurque brutalement après son confluent avec la Lobo, pour prendre une orientation ouest-est et rejoindre la Sangha. Il est probable que dans le passé le Dja empruntait la vallée de la Lobo sur 50 km, puis celle du Mintele, en sens inverse du courant actuel, pour franchir un seuil à Abangok à 8 km au nord-ouest de Zoétélé et suivre le cours actuel du Soo, jusqu'au Nyong, 28 km à l'aval de Mbalmayo. Le bassin du Nyong avait alors environ 10 000 km² de plus.

1.3. Le cours inférieur du Nyong

1.3.1. Le réseau hydrographique

A partir de Kaya, km 233, et après le confluent de la Liyeke, le Nyong va franchir le rebord du plateau du Centre-Sud et rejoindre la plaine littorale par une série de rapides et de chutes. Sur 70 km, le Nyong va descendre de 470 m. En aval de Kaya, le Nyong s'oriente vers le sud-ouest puis brusquement vers l'ouest où il circule dans un étroit couloir de 50 mètres de large pouvant se réduire à un chenal de 20 m en basses-eaux. Au km 219, après un élargissement du lit (altitude 610), le Nyong aborde une série de ressauts répartis sur une longueur de 250 m, les chutes de Mpoume. Le premier ressaut a une hauteur de 10 m ; il est suivi de deux autres ressauts totalisant une dénivelée de 9 m. La dénivelée totale entre la sortie du couloir et les derniers rapides est de 30 m ; 4 km en aval de Mpoume, la chute de Manyanga a une hauteur de 6 m environ. Le Nyong s'oriente vers le nord, puis le nord-ouest.

Après un coude brutal vers le sud-ouest, il rencontre des zones de rapides aux kms 206 et 203. Ce tracé du cours du Nyong en baïonnette, probablement imposé par la tectonique, se répète sur une longueur de 1 km, puis le Nyong traverse une gorge étroite dont la largeur est inférieure à 20 m. Au km 196, dans un coude du Nyong, celui-ci franchit la chute de Makaï, d'une hauteur de 15 m, et rejoint par une zone de rapides d'une longueur de 3 km les chutes de Milly (à 480 m d'altitude, km 193).

Là, le Nyong se ramifie en plusieurs bras ; en rive droite, le bras le plus important est coupé par une chute verticale de 20 m. Rapides et autres ressauts font franchir au Nyong une dénivelée totale de 42 m sur 400 m de distance.

Sur 5 km, le Nyong s'oriente vers le sud-ouest dans une vallée très encaissée surtout en rive droite. Au km 183, la vallée s'ouvre largement et le Nyong traverse une nouvelle zone de rapides et franchit les chutes de Mouila-Moge en amont du confluent de la Mville.

Le cours du Nyong prend la direction du nord jusqu'aux chutes de Njock au km 169. Ces chutes sont formées par trois marches successives de hauteur décroissante totalisant une dénivelée de 23 m ; elles sont suivies par une série de rapides d'une dénivelée de 19 m.

A l'aval du site de Njock, l'altitude du Nyong est d'environ 200 m. La station hydrologique du bac d'Eseka à l'altitude 150 m est atteinte au km 155. Le bassin du Nyong entre Kaya et Eseka a conservé une largeur réduite à une vingtaine de km. A l'exception de la Mville et surtout de la Maloume qui conflue avec le Nyong près de Njock, les affluents ne sont que de petits torrents à forte pente dont les apports restent réduits.

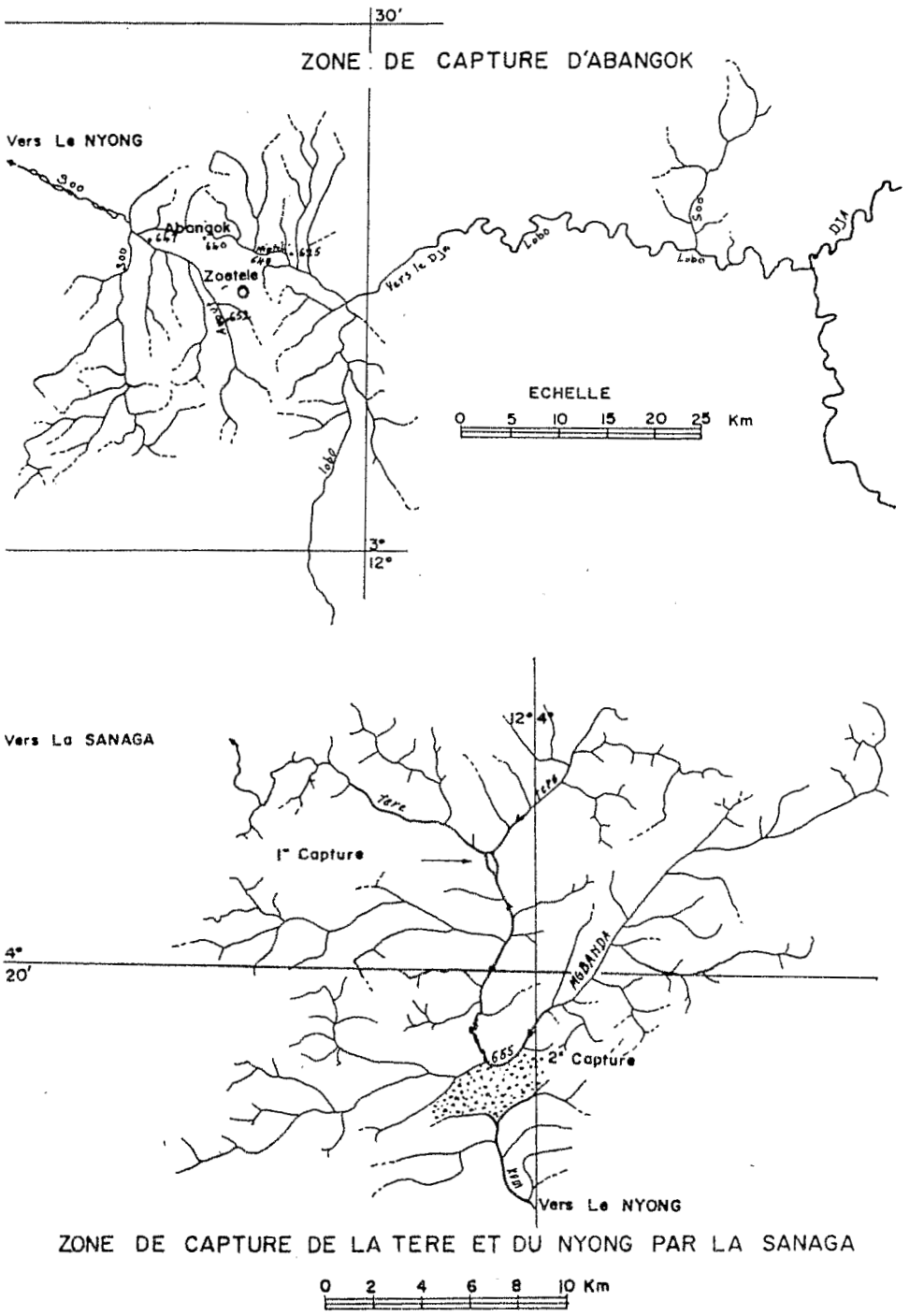


Fig. 3.3. – Les zones de capture du Nyong supérieur.

Au km 143, le Nyong franchit les chutes de Mbombo Ngouima. Ramifié en plusieurs bras, le Nyong s'écoule pour sa partie principale dans un couloir à très forte pente d'une vingtaine de mètres de largeur. Quelques bras secondaires sont coupés par des chutes pouvant atteindre 15 m de haut.

Au km 134, le Nyong qui coule vers le sud-ouest reçoit en rive gauche le Koumbala qui draine une zone de forêt extrêmement dense située au nord de Lolodorf et du bassin de la Lokoundje.

Après avoir franchi une série de rapides aux kms 132, 127 et 120, le Nyong prend une direction Nord-Ouest jusqu'au confluent de la Kelle. Son lit se ramifie souvent en plusieurs bras complexes isolant des îlots forestiers parfois très étendus.

La Kelle, affluent de rive droite, est le plus long des tributaires du Nyong, avec une longueur de 190 km. Il prend sa source à l'est de Matomb. Son cours, d'est en ouest, jusqu'à l'ouest de Pouma, prend une direction Nord-Sud dans sa partie inférieure pour rejoindre le Nyong au km 86. Le haut-bassin de la Kelle a une morphologie voisine de celle des bassins signalés dans la région de Yaoundé (Liyeke, Akono, Mefou).

Le Nyong atteint la station hydrologique de Dehane située en amont du pont de la route Edea-Kribi au km 49.

Dix kilomètres en aval, une dernière chute (village de Dehane) permet au Nyong de rejoindre la plaine littorale (sédimentaire) et de couler enfin assagi dans un bief navigable jusqu'à l'Océan, atteint à la crique de Batanga à 690 km de sa source.

1.3.2. Aspects particuliers du cours inférieur du Nyong

Le cours inférieur du Nyong est surtout caractérisé par le bief des chutes, où la pente moyenne du fleuve est de 6,7/1 000 sur 70 km de longueur (figure 3.4.).

Ce bief devait retenir l'attention des responsables de la production électrique du pays. Divers projets d'aménagements ont été étudiés, marquant un transfert historique de l'intérêt économique suscité par le Nyong, de la navigation sur le cours supérieur à la production hydro-électrique sur le cours inférieur. Nous résumons ci-après les principales caractéristiques des aménagements projetés :

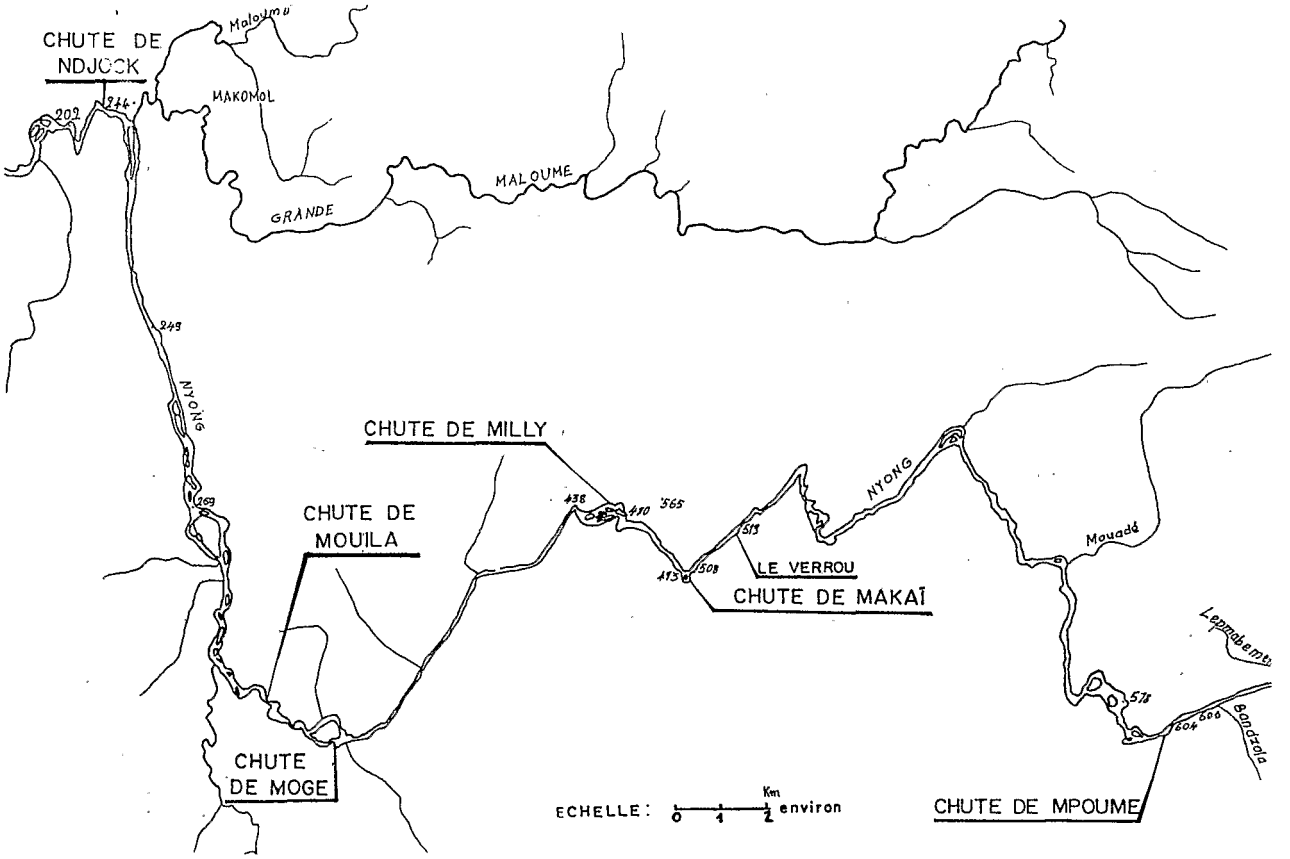


Fig. 3.4. – Le Nyong – Zone des chutes.

Projet d'aménagement des chutes de Mpoume

Ce projet prévoit une retenue pouvant atteindre la cote 631, ce qui correspond à une capacité de 410 millions de m³ et assure un débit régularisé en année médiane de 134 m³/s pour la période de basses-eaux. La hauteur de chute exploitable varierait de 47 à 41 m. La puissance permanente garantie est de 45 MW, et la puissance équipée serait de 70 MW. Le productible en année moyenne serait de 565 GWh.

Projet d'aménagement des chutes de Milly-Makaï

Ce projet est envisagé après la mise en eau du barrage de Mpoume, garantissant un débit régularisé en saison sèche. Les caractéristiques de l'aménagement seraient alors :
- hauteur de chute : 100 m,
- puissance garantie : 100 MW,
- productible garanti : 875 GWh.

Chutes de Mouila-Moge

Quoique non étudié, ce site paraît présenter les mêmes caractéristiques énergétiques que pour Milly-Makaï.

Projet d'aménagement des chutes de Njock

Le site a fait l'objet d'études approfondies et en particulier d'études hydrologiques menées par l'ORSTOM à la demande d'EDF-IGECO (1).

Le projet prévoit une réserve de capacité utile estimée à 100 millions de m³, qui garantit en année médiane un débit régularisé minimum de 100 m³/s. La hauteur de chute varierait de 60 à 52 m. La puissance permanente garantie serait de 38 MW et la puissance équipée de 60 MW. Le productible en année moyenne serait de 500 GWh. Les caractéristiques énergétiques du projet seraient évidemment augmentées par suite de l'aménagement de Mpoume (débit régularisé de 134 m³/s).

L'ensemble de ces aménagements correspondrait donc à un productible annuel de près de 3 000 GWh, valeur largement dépassée, si l'on considère la possibilité de régularisation existant sur le cours supérieur par la création du barrage de Mfoumou. Ce barrage dont le site a été reconnu par Yayer permettrait la constitution d'une retenue de 1,4 milliard de m³ ; situé en aval du confluent du Mfoumou, l'ouvrage aurait une longueur de l'ordre de 300 m sur 15 m de hauteur maximale et le plan d'eau ne dépasserait pas la cote de 653 m (plus bas que la zone de capture (665 m) de la Tere). Le débit régularisé parvenant au site des chutes serait alors au minimum de 170 m³/s.

(1) EDF-IGECO a conçu le projet pour le compte d'ENELCAM puis de la SONEL.

1.4. Morphologie, relief et pentes des bassins

1.4.1. Caractéristiques de forme des bassins

Celles-ci ont été déterminées à partir de la mesure de la superficie A et du périmètre P des différents bassins. La détermination du périmètre est faite après stylisation des contours des bassins versants. Le calcul du coefficient de Gravelius ou Indice de compacité K_c est obtenu par la formule $K_c = 0{,}282\frac{P}{\sqrt{A}}$. Cet indice permet d'obtenir les dimensions du rectangle équivalent (L : longueur, l : largeur) (M. Roche), et de donner une idée de la forme plus ou moins allongée des bassins. Les calculs ont été faits pour les différents bassins du Nyong, ainsi que pour les bassins de leurs affluents principaux. Après Mbalmayo, la prise en considération des tributaires du Sud conduit à exagérer la mesure du périmètre des bassins sans que cela entraîne une signification hydrologique, les affluents étant nettement plus courts que le Nyong amont. A partir d'Olama, nous avons donc « arrondi » le contour méridional du bassin afin d'obtenir des coefficients et dimensions du rectangle équivalent cohérents sur le plan de l'écoulement. Cette ultime stylisation des contours des bassins conserve bien entendu les superficies.

Le tableau 3.2 indique les caractéristiques de forme des différents bassins. D'Olama à l'embouchure, les valeurs soulignées correspondent à la deuxième approche du « périmètre efficace » des bassins qui vient d'être expliquée. Ce sont ces valeurs qui ont été retenues pour les calculs ultérieurs.

Tableau 3.2.

Bassin	A km²	P km	K_c	Rectangle équivalent L km	Rectangle équivalent l km
Nyong à Ayos	5 300	315	1.21	108	49
" à Akonolinga	8 350	380	1.16	118	71
" à Mbalmayo	13 555	570	1.37	224	61
" à Olama	18 510	730 620	1.50 1.28	330 229	61 81
" à Kaya	19 985	740 650	1.47 1.29	308 242	65 83
" à Eséka	21 600	820 720	1.56 1.37	347 283	62 76
" à Dehane	26 400	960 860	1.65 1.48	414 356	64 74
" à l'embouchure	27 800	1020 920	1.71 1.54	445 389	63 71

Ces caractéristiques traduisent une forme très allongée des bassins du Nyong à partir de Mbalmayo. Les affluents montrent par contre (tableau ci-après) une compacité plus grande (K_c plus petit) à l'exception de la Kelle. En fait, comme cela a déjà été souligné, le Nyong présente la physionomie d'un drain général auquel parviennent de courts drains secondaires (réseau principal en forme d'arête de poisson).

Tableau 3.3. – Affluents principaux du Nyong.

Bassin affluent	Superficie km²	Périmètre km	K_c	L km	1 km
Kom (R.D.)	695	106	1.12	26.5	26.2
Long Mafok (R.G)	1 520	166	1.19	55.7	27.3
Mfoumou (R.D.)	1 260	181	1.43	73.1	17.2
Afamba (R.D.)	485	90	1.14	26.5	18.4
Ato (R.D.)	740	117	1.20	39.4	18.8
Mefou (R.D.)	840	121	1.17	38.7	21.6
Mefou à Nsimalen	425	90	1.22	31.3	13.6
Mefou à Etoa	235	66	1.21	22.7	10.4
Soo (R.G.)	3 120	233	1.17	74.9	41.7
Soumou (R.G.)	820	116	1.13	31.5	26.0
Kama (R.G.)	445	104	1.38	41.4	10.8
Akono (R.D.)	610	118	1.34	45.9	13.3
Liyeke (R.D.)	505	104	1.30	39.3	12.8
Kelle (R.D.)	2 770	274	1.46	113.2	24.5

1.4.2. Relief et hypsométrie

La description du réseau hydrographique du Nyong a permis de dégager qualitativement les caractéristiques du bassin du Nyong et de séparer en particulier le haut-bassin, à très faible relief, du bassin inférieur à relief marqué et à pentes fortes.

Avant de préciser quantitativement par l'étude de l'hypsométrie les caractéristiques des bassins, il a paru intéressant d'indiquer les principaux reliefs, situés généralement aux limites du bassin versant, et qui ne ressortent pas dans l'analyse hypsométrique.

Tableau 3.4. – Hypsométrie des bassins du Nyong.

Tranche d'altitude	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
Au-dessus de 760	0.2	1.2	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0
de 720 à 760	6.0	5.0	7.0	7.0	7.0	6.6	5.0
de 680 à 720	46.2	44.0	45.0	41.4	41.2	39.0	30.5
de 640 à 680	47.6	50.0	47.0	49.7	49.6	50.0	
de 600 à 640			-	0.7	0.8		40.5
de 520 à 600						1.1	
de 400 à 520						0.9	1.6
de 200 à 400						0.6	6.6
de 160 à 200						0.4	3.7
de 80 à 160						-	8.2
en dessous de 80							2.9
Superf. du bassin (km²)	5 300	8 350	13 555	18 510	19 985	21 600	26 400
Pt. culminant (m)	884	884	1 225	1 225	1 225	1 225	1 225
Alt. exutoire (m)	647	644	634	628	617	150	15
Alt. moyenne (m)	686	682	682	682	687	665	550

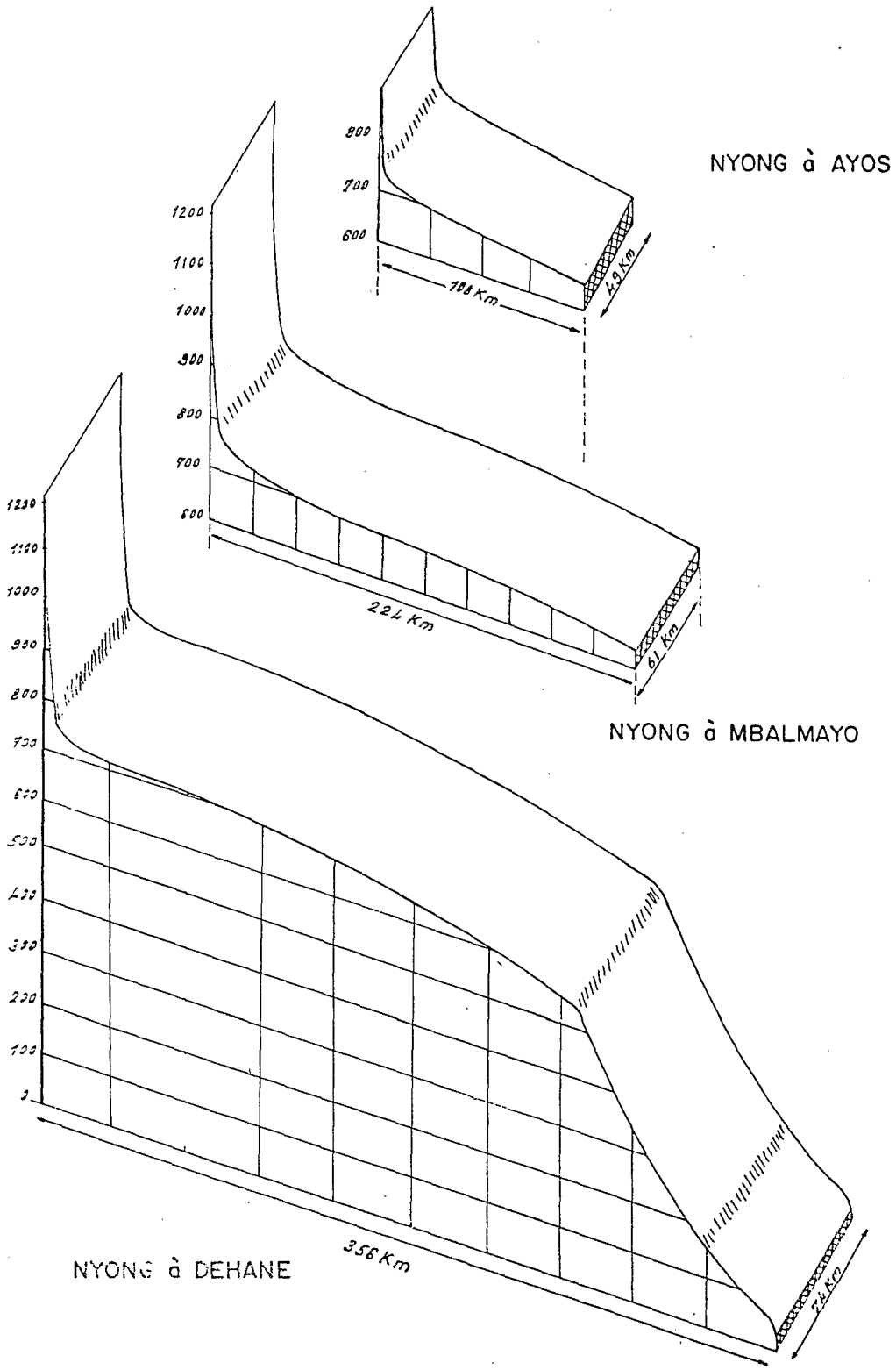


Fig. 3.5. – Caractéristiques de forme des bassins du Nyong. (Rectangle équivalent et hypsométrie en perspective cavalière).

Ainsi, le relief mou des bassins versants d'Ayos et d'Akonolinga est encore traduit par les cotes relevées aux limites : les altitudes maximales à la limite sud (BV du Dja) passent de 760 à l'est à 720, 710, 709, 697 m plus à l'ouest, les cotes minimales étant comprises entre 640 et 680 (648 m) ; aux limites est et nord, les cotes minimales sont celles des zones de capture (655 et 665), la cote maximale atteint 760 m ; la majeure partie de la limite du bassin versant est comprise entre 680 et 720 m. Au nord d'Ayos inclus dans le bassin, un petit massif atteint 884 m.

A Mbalmayo, le bassin a reçu les affluents nord provenant des collines d'Akonolinga et de Yaoundé qui culminent au Mont Zomo (1 219 m), alors que vers le sud et jusqu'à Olama les limites du bassin sont comprises entre 740 et 821 m (bassin du Ntem), mais descendent à l'est du BV du Dja en dessous de 700 m (650 m capture du Mintele). A l'ouest, les limites avec le bassin de la Lokoundjé culminent dans la région de Ngomedzap, dans les massifs de Eloumangan (916 m, 1 000 m) et d'Akoumokegen (1 108 m).

Plus en aval, les limites du bassin s'abaissent avec l'altitude du cours d'eau, mais on note encore en aval d'Eséka et au sud le massif du Ngovayang qui culmine à 1 090 m.

Hypsométrie des bassins

Elle a été définie par planimétrage des aires comprises entre les différentes courbes de niveau relevées sur les cartes de la région au 1/200 000.

Les résultats de ce travail sont résumés dans le tableau 3.4 (en pourcentages des superficies des bassins respectifs).

On ne s'étonnera pas de trouver dans ce tableau des tranches d'altitude de tailles très différentes. La tranche 200-400 par exemple n'a pas été scindée en plusieurs tranches, du fait de son extension limitée (région d'Eséka) et du dessin « très tourmenté » des courbes de niveau.

La détermination de l'altitude moyenne, qui découle de l'analyse des courbes hypsométriques, aboutit à des valeurs très voisines d'Ayos à Eséka (686 à 665 m) ; le poids du bassin aval ne fait tomber l'altitude moyenne du bassin de Dehane qu'à 550 m.

Nous avons reproduit en perspective cavalière, dans la figure 3.5, l'hypsométrie de 3 bassins typiques du Nyong, ramenée aux dimensions du rectangle équivalent. Cette figure suffit déjà à elle seule à expliquer les différences que l'on mettra plus loin en évidence dans le comportement hydrologique du Nyong de l'amont vers l'aval.

Indices de pentes

A partir de l'hypsométrie des bassins, on a déterminé, d'une part, l'indice de pente global Ig qui est le rapport de la dénivelée mesurée entre les altitudes dépassées pour 95 % et 5 % de la courbe hypsométrique, ramenée à la longueur du rectangle équivalent ; d'autre part l'indice de pente de Roche Ip. Celui-ci tient compte de la forme de la courbe hypsométrique et de l'importance des différentes tranches d'altitude.

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \Sigma_i^n \sqrt{a_i d_i}$$

a_i étant la portion de la surface du bassin comprise entre deux courbes de niveau consécutives dont la dénivelée est d_i, et L la longueur du rectangle équivalent. On aboutit aux résultats suivants :

Tableau 3.5.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
I_g o/oo	0.69	0.68	0.41	0.42	0.43	0.44	1.77
Ip	0.0308	0.0314	0.0255	0.0250	0.0254	0.0323	0.0412

La comparaison des deux types d'indice est intéressante, car elle met en évidence la divergence des résultats et justifie *a posteriori* le calcul de Ip qui, tant à l'amont qu'à l'aval, à partir d'Eséka, rend compte de la réelle physionomie des bassins.

1.4.3. Profils en long

Nous indiquons dans les figures 3.6 et 3.7a les profils longitudinaux du Nyong et de ses principaux affluents. Les profils des affluents permettent de se faire une idée des profils transversaux du bassin du Nyong de l'amont vers l'aval du bassin.

La pente moyenne du Nyong a été déterminée pour chaque station étudiée :

1° en ne considérant que les 60 % médian du profil (J. Rodier) ;

2° en considérant l'ensemble du profil ;

3° en considérant la dénivelée totale par rapport à la longueur de la branche principale du réseau.

Les résultats sont donnés en ‰ ou m/km (tableau 3.6).

Tableau 3.6.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
1° P (60 %)	0.25	0.14	0.07	0.08	0.08	0.08	0.56
2° P (100 %)	0.34	0.25	0.15	0.15	0.16	1.01	1.05
3° D/Longu. réseau	1.9	1.26	1.62	1.40	1.32	2.01	1.88

Comme pour les indices de pente, une certaine distorsion apparaît entre les valeurs extrêmes, suivant le mode de calcul. Le choix du paramètre paraissant le mieux approprié à la physionomie du bassin, ici

P (100 %), est délicat car il ne correspond pas forcément au meilleur paramètre pour d'autres bassins pour d'utiles comparaisons des régimes hydrologiques.

1.5. Conclusions

En guise de conclusion, nous indiquons dans le tableau 3.7 l'évolution des superficies du bassin du Nyong d'une station à l'autre, de l'amont vers l'aval en précisant :

- le gain de superficie en % du bassin versant de la station considérée par rapport aux bassins des stations amont d'Ayos, d'Akonolinga, de Mbalmayo et par rapport au bassin de la 1re station amont, gain indiqué aussi en km² ;
- la part prise par les bassins des principaux affluents au gain de superficie du Nyong d'une station à l'autre, exprimée en km² et pourcentage de ce gain.

Tableau 3.7.

Bassin du Nyong		Gain de superficie du BV par rapport..					Part des principaux affluents au gain de superficie en km² et en %	
Station	Superf.	au BV à Ayos %	au BV à Akonol. %	au BV à Mbalmayo %	à la première station amont %	à la première station amont km²	Rive droite Nord	Rive gauche Sud
Ayos		-					Kom (695-13 %)	
Akonolinga	5 300	58			58	3 050		Long Mafok (1520-50 %)
Mbalmayo	13 555	156	62		62	5 205	Mfoumou (1260-24 %) Afamba (485-9 %) Ato (740-14 %) Mefou (840-16 %)	
Olama	18 510	249	122	37	37	4 955		Soo (3120-63 %) Soumou (820-17 %) Kaya (445-9 %)
Kaya	19 985	277	139	47	8	1 475	Akono (610-41 %) Liyeke (550-34 %)	
Eséka	21 600	308	159	59	8	1 615		
Dehane	26 400	398	216	95	22	4 800	Kelle (2700-58 %)	

Les affluents ont été classés suivant qu'ils étaient de rive droite ou de rive gauche, venant du nord ou du sud avec corrélativement une influence plus ou moins marquée du climat équatorial de transition.

2. LES DONNÉES DE BASE

2.1. Données pluviométriques

Les hauteurs de précipitations relevées aux différents postes pluviométriques intéressant les différents bassins du Nyong ont été affectées de coefficients de pondération proportionnels aux aires respectives d'influence (Méthode de Thiessen).

Ces coefficients sont indiqués dans le tableau 3.8 :

Tableau 3.8. – Coefficients de Thiessen des postes pluviométriques des bassins du Nyong en %.

Poste pluviométrique	Nyong à Ayos	Nyong à Akonolinga	Nyong à Mbalmayo	Nyong à Olama	Nyong à Kaya	Nyong à Eséka	Nyong à Dehane
Abong-Mbang	67	52	30	22	20	20	16
Ayos	33	43	28	21	19	18	14
Akonolinga		5	23	17	16	15	12
Yaoundé			10	8	9	9	7
Mbalmayo			9	18	22	21(22)	17
Sangmélima				7	7	6	5
Ebolowa				7	7	6(7)	5
Eséka						5(3)	14
Lolodorf							4
Edéa							6

Il convient de remarquer le nombre réduit de postes pluviométriques intervenant dans le calcul de précipitations moyennes reçues par chaque bassin, ce qui bien entendu limite la précision des résultats obtenus.

Par ailleurs, l'étude qui a été faite sur les mesures de précipitations (voir étude climatologique) a mis en évidence certains relevés douteux (Ayos par exemple) qui ont été reconstitués à partir des stations voisines.

Afin de vérifier qu'il n'y avait pas de dispersion systématique dans le calcul de la pluviométrie moyenne par la méthode de Thiessen, les résultats ont été comparés à ceux obtenus par la méthode des isohyètes pour les trois bassins principaux.

La méthode de Thiessen donne en moyenne par rapport à la méthode isohyète des résultats :
de + 1,1 % pour le BV du Nyong à Mbalmayo,
de + 3 % pour le BV du Nyong à Eséka,
de — 0,7 % pour le BV du Nyong à Dehane.

Si des différences de $\pm$ 1 % sont acceptables, dans le cas du bassin du Nyong à Eséka, la différence devient assez sensible pour qu'on s'y arrête. La méthode de Thiessen est ici imparfaite car elle ne tient pas compte des particularismes orographiques. Les quelques relevés de Makak, non utilisés dans la méthode de Thiessen, ont permis de préciser pour quelques années le dessin des isohyètes, qui a été corrigé implicitement pour les autres années en fonction du relief. En effet, la prolongation vers l'ouest au-delà de Makak, du plateau du Centre-Sud, les reliefs d'Ebolowa à Makak en passant par Ngomedzap limitent vers l'est la progression des fortes précipitations de la zone côtière et, par suite, l'influence de la station d'Eséka.

Ces considérations nous ont amené à réduire de 40 % le poids d'Eséka pour le bassin du Nyong à Eséka (cf. coefficients de Thiessen entre parenthèses dans le tableau 3.8).

Ces corrections étant faites, le tableau 3.9 réunit les valeurs annuelles des hauteurs de précipitations moyennes reçues par les divers bassins du Nyong sur l'ensemble de la période d'observations hydrologiques 1950-1977.

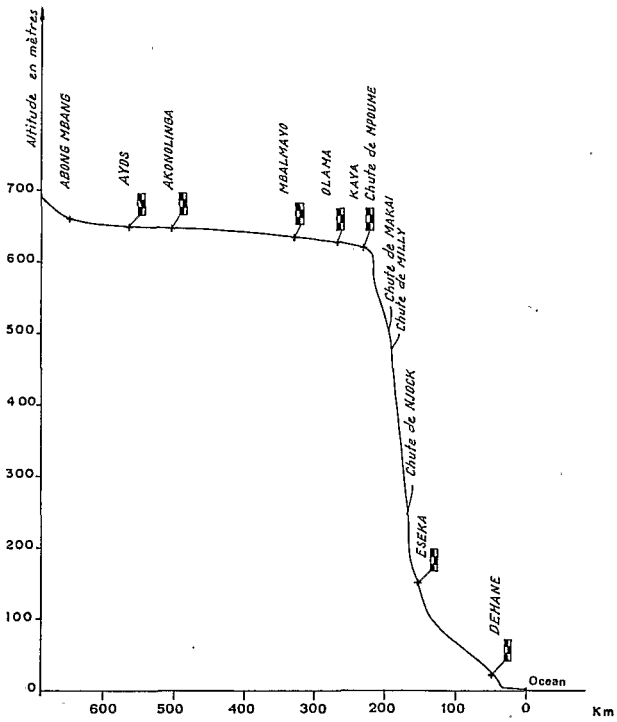


Fig. 3.6. – Profil général du Nyong.

Tableau 3.9. – Hauteurs des précipitations moyennes reçues pendant l'année hydrologique sur les bassins du Nyong depuis 1950.

Année	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
1950-51	1 808	1 749	1 698	1 734	1 743	1 847	2 078
52	1 518	1 503	1 525	1 562	1 565	1 600	1 685
53	1 446	1 463	1 531	1 649	1 634	1 620	1 806
54	1 525	1 482	1 458	1 479	1 488	1 528	1 641
55	1 570	1 544	1 569	1 669	1 604	1 587	1 727
56	1 693	1 674	1 648	1 664	1 674	1 745	1 634
57	1 477	1 481	1 477	1 510	1 521	1 492	1 658
58	1 780	1 716	1 676	1 664	1 661	1 711	1 848
59	1 772	1 481	1 430	1 462	1 468	1 486	1 574
1959-60	1 493	1 787	1 713	1 694	1 713	1 766	1 922
61	1 783	1 684	1 642	1 700	1 705	1 740	1 859
62	1 708	1 455	1 485	1 542	1 554	1 560	1 665
63	1 466	1 792	1 770	1 789	1 791	1 849	1 969
64	1 547	1 496	1 440	1 505	1 530	1 547	1 679
65	1 682	1 580	1 621	1 653	1 659	1 696	1 881
66	1 534	1 499	1 488	1 530	1 530	1 542	1 740
67	1 490	1 472	1 638	1 736	1 757	1 786	1 842
68	1 752	1 675	1 677	1 707	1 709	1 745	1 848
69	1 930	1 924	1 876	1 853	1 844	1 870	1 876
1969-70	1 792	1 802	1 713	1 722	1 710	1 747	1 637
71	1 483	1 507	1 542	1 585	1 546	1 666	1 871
72	2 013	1 968	1 850	1 801	1 788	1 801	1 866
73	1 542	1 552	1 564	1 595	1 594	1 613	1 670
74	1 712	1 698	1 703	1 606	1 668	1 653	1 745
75	1 508	1 476	1 518	1 595	1 601	1 634	1 735
76	1 647	1 593	1 491	1 570	1 564	1 602	1 704
76-77	1 035	1 039	1 124	1 252	1 258	1 278	1 483

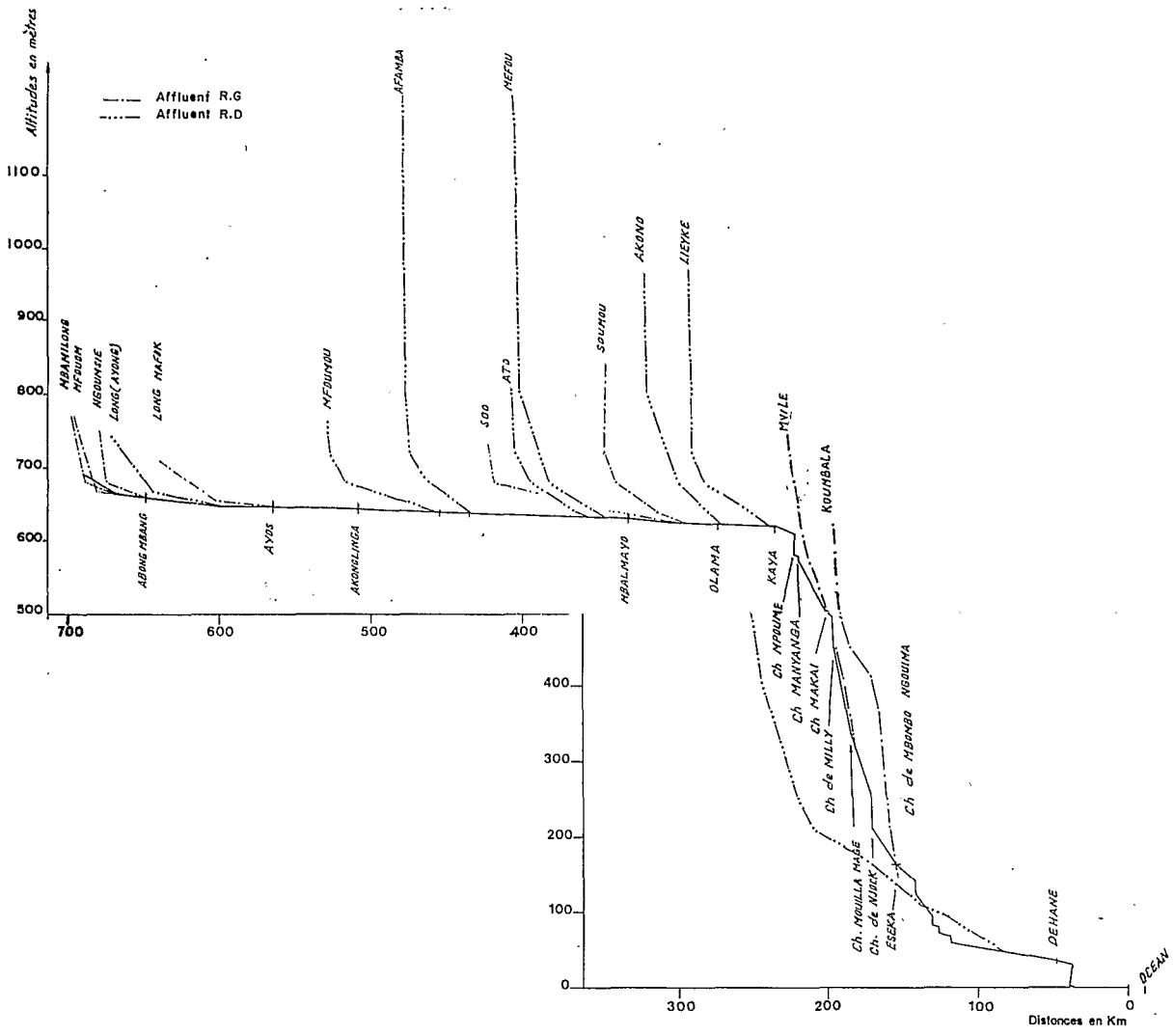


Fig. 3.7a. – Profil en long du Nyong et de ses affluents.

Les valeurs moyennes sur la période sont données dans le tableau 3.10.

Tableau 3.10. – Précipitations moyennes annuelles.

	BV Ayos	BV Akonolinga	BV Mbalmayo	BV Olama	BV Kaya	BV Eséka	BV Dehane
Moyenne (mm)	1 619	1 596	1 586	1 620	1 625	1 655	1 764
Ecart-type	156	151	122	105	102	113	122
Coef. de variation	0.096	0.095	0.077	0.065	0.063	0.068	0.069

Les faibles coefficients de variations traduisent l'irrégularité interannuelle des précipitations reçues par les différents bassins, mais ne peuvent être rattachés à ceux qui ont été déterminés pour les différents postes (cf. tableau 2.10). Ces coefficients diminuent lorsque la superficie des bassins augmente, ce qui est normal, le déficit d'un poste étant souvent compensé par l'excédent d'un autre. La légère augmentation des coefficients observés sur les bassins d'Eséka et de Dehane traduit peut-être l'incidence du régime côtier plus arrosé et homogène dans les variations de poste à poste contrastant avec le régime continental du haut-bassin du Nyong dont la répartition spatiale des précipitations est plus hétérogène.

L'analyse statistique des précipitations annuelles des postes pluviométriques (cf. 1re partie) permet d'obtenir par la méthode de Thiessen la pluviométrie interannuelle reçue par chaque bassin.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
P interannuelle	1 581	1 545	1 538	1 563	1 565	1 581	1 732

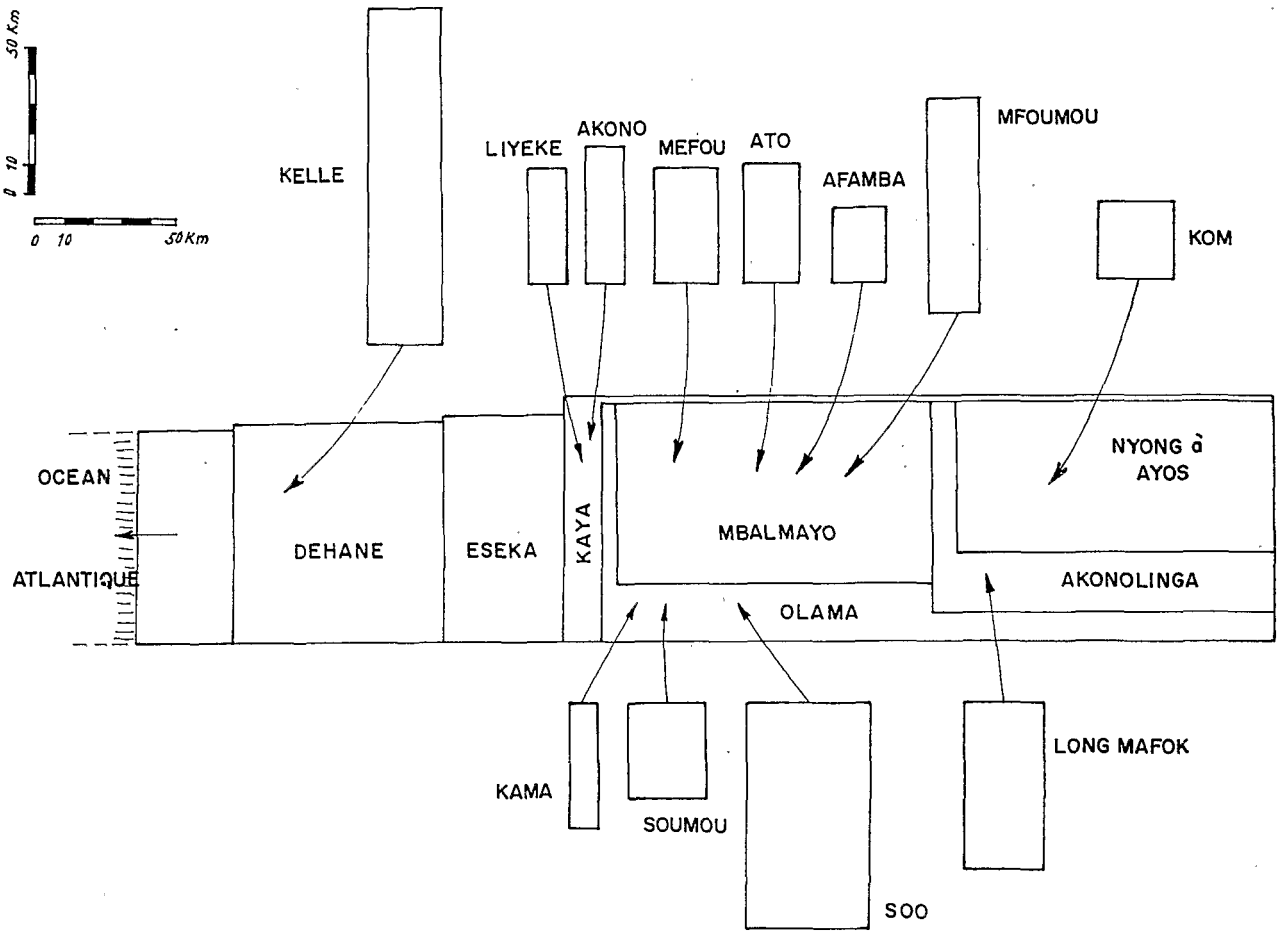


Fig. 3.7b. – Le Nyong et ses affluents principaux (rectangles équivalents).

La comparaison de ces résultats avec ceux de la période 1970-1977 montre un excédent très net des précipitations reçues au cours du dernier quart de siècle : de 1,8 à 4,7 %.

Nous indiquons également, tableau 3.11, les valeurs de la hauteur annuelle de précipitations reçue en moyenne par les différents bassins pendant leurs périodes respectives d'observations hydrologiques.

Tableau 3.11.

Station	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
Période	26 ans	23 ans	26 ans	12 ans	11 ans	26 ans	25 ans
P mm	1 611	1 604	1 582	1 629	1 640	1 648	1 747

2.2. Données hydrologiques : les débits

2.2.1. Analyse critique des données brutes

L'étalonnage des stations, l'établissement du barême de traduction hauteurs-débits ont permis de transformer en débits moyens journaliers les observations faites par les lecteurs aux diverses stations hydrométriques (cf. Annexes).

Ces observations ont été l'objet d'un examen critique initial basé sur les contrôles de lecture et la qualité du travail du lecteur. Après traduction, l'échantillon de débits a subi une nouvelle analyse

critique basée sur l'étude de corrélations de station à station d'une part et l'étude annuelle de certains débits caractéristiques observés de l'amont à l'aval (étiages, modules et crues).

Corrélations de station à station

Elles ont été établies à partir des débits moyens mensuels de la période commune d'observation et s'ordonnent généralement autour d'une droite moyenne. La dispersion des valeurs est variable suivant les stations considérées, mais s'inscrit suivant des corrélations secondaires à l'échelle du mois ou de la saison. Celles-ci montrent nettement en **valeurs relatives** des débits plus élevés à la station amont pendant la saison des pluies et la crue annuelle, et des débits plus élevés à la station aval, pendant la décrue (novembre à janvier) ; ceci est en rapport avec les phénomènes de régularisation cités plus haut.

Akonolinga – Ayos

La droite de régression moyenne a pour équation :

$$Q_{Ayos} = 0{,}66\ Q_{Akonolinga} - 2.$$

Sur la période juillet-octobre, une droite de régression secondaire a été tracée ; elle s'écrit :

$$Q_{Ayos} = 0{,}72\ Q_{Akonolinga} + 5.$$

En décembre, à la décrue, une autre droite de régression a été individualisée :

$$Q_{Ayos} = 0{,}67\ Q_{Akonolinga} - 22.$$

Ces deux droites secondaires encadrent la dispersion des valeurs et schématisent en fait la partie haute d'une régression non linéaire en boucle (bouclée pour les débits de novembre) qui caractérise les relations entre les débits des deux stations.

Akonolinga – Mbalmayo

La droite de régression moyenne a pour équation :

$$Q_{Akonolinga} = 0{,}64\ Q_{Mbalmayo} - 7.$$

La relation présente une dispersion très marquée, difficile à préciser par les droites de régression secondaires, bien que celles-ci s'ordonnent assez bien suivant les mois et les saisons.

Cette dispersion s'explique par la nature des affluents du Nyong reçus en aval d'Akonolinga, dont la morphologie et le régime hydrologique différent de ceux observés dans les zones inondées du haut-bassin.

Mbalmayo – Olama

La droite moyenne de régression s'écrit :

$$Q_{Mbalmayo} = 0{,}7\ Q_{Olama} - 7.$$

La dispersion déjà sensible pour les faibles débits devient assez forte pour les débits de hautes-eaux. Le régime des apports des rivières du sud du bassin (Soo, Soumou, Kama) n'est pas forcément en phase avec celui des rivières du Haut-Nyong. La correspondance établie ne peut être utilisée que pour les débits de basses et moyennes-eaux.

Olama – Kaya – Eséka

Les débits des stations voisines d'Olama et de Kaya ont été rapportés à ceux observés sur le Nyong à Eséka.

Les relations sont obtenues avec une très faible dispersion ; les bassins versants ne passent, il est vrai, entre Olama et Eséka, que de 18 500 à 21 600 km², et sans grandes modifications morphologiques.

L'équation des droites de régression s'écrit :

$$Q_{Olama} = 0{,}87\ Q_{Eseka} - 14.$$

$$Q_{Kaya} = 0{,}96\ Q_{Eseka} - 8.$$

Eséka – Dehane

Entre les stations d'Eséka et de Dehane, la relation qui relie les débits mensuels présente une forte dispersion pour les débits élevés.

L'équation de la droite de régression s'écrit pour les hautes-eaux :

$$Q_{Eseka} = 0{,}75\ Q_{Dehane} + 20.$$

Pour les débits plus faibles, notamment en basses-eaux où la saison sèche se fait sentir sur l'ensemble du bassin, la dispersion de la relation est faible.

L'équation de la droite s'écrit :

$$Q_{Eseka} = 0{,}75\ Q_{Dehane} - 8.$$

Variations de quelques débits caractéristiques de l'amont vers l'aval

Les débits minimums (étiages absolus), les débits maximums (crue annuelle), et les modules ont été reportés pour chaque année en fonction de la superficie des différents bassins.

L'étude des différentes courbes obtenues permet de mettre en évidence des anomalies qui n'apparaissent pas dans l'analyse des corrélations entre débits mensuels, du fait de la dispersion observée autour des droites moyennes de régression. L'analyse critique consiste bien entendu à distinguer les pseudo-anomalies, significatives des variations du régime hydrologique d'une station à l'autre, des anomalies résultant généralement de la mauvaise qualité du travail de l'observateur et, parfois, d'une extrapolation douteuse de l'étalonnage pour les très faibles ou forts débits (corrigée alors en conséquence).

Traitement de l'information brute

Les deux tests utilisés permettent donc de déceler des périodes de relevés douteux dans l'échantillon global des données brutes caractérisé par ailleurs par un certain nombre de lacunes d'observations.

A partir des études de correspondance entre débits mensuels de stations voisines, des périodes d'observations douteuses sont apparues notamment pour Ayos et Dehane.

De son côté, l'étude des variations de quelques débits caractéristiques d'amont en aval a mis en évidence quelques valeurs douteuses notamment pour Kaya.

Le traitement des données brutes consiste à corriger l'information erronée, à reconstituer l'information qui aurait été probablement observée pendant les périodes de lacunes.

Pour les basses-eaux, la reconstitution des débits se fait à l'échelle journalière, à partir de corrélations généralement précises établies pour la circonstance (c'est le cas des saisons sèches 1951, 61, 62 et 64 sur le Nyong à Eséka).

Pour les hautes-eaux, la dispersion des corrélations est telle qu'il n'est pas possible de reconstituer des débits journaliers autrement que par interpolation pour des lacunes de courte durée. Dans d'autres cas, il a été procédé directement à l'estimation du débit moyen mensuel, lorsque la période considérée n'excédait pas plusieurs mois et dans le but de compléter l'échantillon des modules. Enfin la reconstitution des débits de certaines périodes a paru trop aléatoire pour présenter un intérêt au niveau de l'échantillon global (Kaya : nov. 71 à fév. 72 ; Dehane : août à déc. 64).

Quoi qu'il en soit, l'analyse qui vient d'être faite permet de conclure à un échantillon de données de bonne qualité en général.

2.2.2. Présentation des résultats

L'échantillon de données, corrigées ou reconstituées pour une très faible part, permet la détermination des principaux éléments du régime hydrologique observé sur le Nyong aux différentes stations et constitue la base des travaux d'interprétation.

Les débits moyens journaliers, constituant un fond documentaire trop important, n'ont pas été présentés ici.

Pour chaque station, l'essentiel de l'information a été rassemblé en deux tableaux distincts :

- débits moyens mensuels et annuels,
- débits caractéristiques.

Pour chacun de ces tableaux figure, à la suite des valeurs observées, un certain nombre de valeurs caractéristiques telles que : débit moyen (Moy.) ou médian (MED), écart-type (ET), quartiles supérieur (Q1) et inférieur (Q3) (dépassés dans 25 et 75 % des cas). Les valeurs maximum et minimum de chaque série d'observation ont été soulignées. Les valeurs en italiques sont douteuses ou reconstituées.

La présentation des tableaux de débits mensuels n'appelle aucun commentaire. Précisons toutefois que les modules correspondent à une moyenne de 365 (ou 366) débits journaliers et non à la moyenne de douze débits mensuels.

Les tableaux des débits caractéristiques rassemblent les valeurs suivantes :

- étiage absolu (D.MIN) : indication du débit moyen journalier minimal de l'année hydrologique considérée et de sa date d'apparition (jour et mois) ;
- débit caractéristique d'étiage (D.C.E) : débit non dépassé pendant 10 jours de l'année ;
- débits caractéristiques (DC1, DC3, DC6) : débits respectivement non dépassés pendant 1 mois, 3 mois, 6 mois ;
- débit maximum (D. max.) : indication du débit moyen journalier maximum et de sa date d'apparition ;
- débit caractéristique de crue (D.C.C.) : débit atteint ou dépassé pendant 10 jours de l'année ;
- débits caractéristiques (D.C. 11, D.C. 9) : débits respectivement atteints ou dépassés pendant 1 mois et 3 mois.

Les débits caractéristiques sont calculés sur l'année hydrologique ; le passage d'une année à l'autre se fait en fin de saison sèche et, pour le Cameroun, en moyenne, le 1er avril ; mais il est bien évident que, certaines années, la période de basses-eaux peut se poursuivre au-delà du 1er avril et qu'un étiage, observé en avril ou mai 75 par exemple, correspond à l'année hydrologique 74-75 et non 75-76. C'est dans cette optique, logique, que les étiages absolus ont été déterminés, ainsi que DCE et DC1.

Au-delà, nous n'avons considéré que l'échantillon annuel de 365 débits journaliers, afin d'éviter les distorsions entre années hydrologiques consécutives pouvant aller de moins de 300 à plus de 400 jours, au niveau des modules ou des précipitations.

Autrement dit, du DC3 au débit maximum de crue, les valeurs relevées correspondent aux débits classés de l'année ; pour la période d'étiage, les valeurs relevées prennent en compte une éventuelle prolongation des basses-eaux sur l'année suivante. On notera que certains étiages sont observés pendant les mois de l'été boréal (petite saison sèche) ; dans ce cas, l'année de la date calendaire de ces étiages correspond au premier élément du couple indiquant l'année hydrologique (id. pour crues). Pour tous les autres étiages, l'année de la date indiquée dans les tableaux est le 2e élément du couple « année hydrologique ».

Pour chaque station, deux graphes présentent, d'une part pour les débits mensuels, d'autre part pour les débits caractéristiques, la variation des valeurs médianes, extrêmes et des quartiles, déterminées à partir de l'échantillon observé (médiane en trait gras, quartiles en trait fin, extrêmes en tireté fin).

Dans le cas des débits caractéristiques, la médiane a une signification statistique plus grande que la moyenne interannuelle ; mais cette information de base sera reprise dans l'étude fréquentielle des étiages et des crues.

Dans le cas des débits mensuels, si le graphe mentionne les valeurs médianes, les tableaux indiquent les moyennes interannuelles.

L'indication de l'écart-type (ET) complète dans les tableaux cette information de base.

Enfin une figure donne pour chaque station un exemple d'hydrogramme annuel, d'année humide et d'année sèche (forte et faible hydraulicité).

Ces figures contribuent à préciser la physionomie du régime hydrologique du Nyong à ses différentes stations de contrôle.

Dans le texte relatif à chacune des stations, les principales valeurs ont été rappelées et traduites en débits spécifiques (ramenés à l'unité de surface) afin de pouvoir être comparées d'une station à l'autre.

2.2.2.1. Stations du Nyong

Nyong à Abong Mbang (965 km²)

Les données de base de cette station ne seront pas utilisées dans la suite de cette étude car elles ne couvrent pas la même période et restent, en raison de l'étalonnage, assez approximatives. Calculées sur la période incomplète 1940-1952, soit 9 années, les débits moyens mensuels sont les suivants en m³/s :

avril	4.45
mai	7.37
juin	11.6
juil.	7.14
août	5.79
sept.	11.7
oct.	14.8
nov.	14.8
déc.	6.36
janv.	3.69
fév.	3.04
mars	2.78
Année	7.79

Un graphe (figure 3.8) propose les variations mensuelles retenues pour quelques fréquences (Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer – 1952 – ORSTOM, Paris, 1954).

Le débit moyen d'étiage pourrait être de l'ordre de 2 m³/s, tandis que le débit maximum moyen serait de l'ordre de 23 m³/s.

Ces résultats indiqueraient :
- un module interannuel spécifique de 8,07 l/s.km²,
- un étiage spécifique de 2,07 l/s.km²,
- un maximum de crue moyen de 24,9 l/s.km²,

résultats à considérer avec prudence (module faible notamment).

Les données limnimétriques caractéristiques de la période 1951-1972 ont été indiquées dans le tableau 3.11a ci-après. Nous avons retenu les cotes de l'étiage absolu et du maximum, et l'amplitude. L'examen de ce tableau montre que les amplitudes diminuent assez régulièrement de 1951 à 1963-65 par suite de l'élévation des niveaux d'étiage. L'augmentation des amplitudes à la fin de la période d'observation correspond à des niveaux de crue plus élevés.

L'élévation du plan d'eau moyen est due à l'encombrement progressif du lit de la rivière par les herbes. Comme le montre la figure 3.9, il n'y a pas de corrélation nette entre les amplitudes annuelles des hauteurs d'eau du Nyong à Abong-Mbang et celles du Nyong à Ayos.

Tableau 3.11a. – Hauteurs caractéristiques du Nyong à Abong Mbang.

Année	H étiage	H crue	Amplitude	Année	H étiage	H crue	Amplitude
1951	26	300	274	1961	254	364	110
1952	70	300	230	1962	236	388	152
1953	100	325	225	1963	312	392	80
1954	168	336	168	1964	288	456	168
1955	180	400	220	1965	305	400	95
1956	230	390	160	1966	284	424	140
1957	212	385	173	1967	142	390	248
1958	230	350	120	1968	170	408	238
1959	234	370	136	1969	200	382	182
1960	266	388	122	1970	242	–	–
				1971	210	400	190

Nyong à Ayos (5 300 km²)

Vingt-six années d'observations sans lacune (mais quelques relevés douteux en 1954, 1957 et 1964), ont été réunies dans les tableaux des débits mensuels et débits caractéristiques.

La moyenne des modules est de 57,6 m³/s, soit 10,9 l/s.km². L'étiage absolu médian est de 8,10 m³/s, soit 1,53 l/s.km² et l'étiage le plus bas observé est de 3,20 m³/s, soit 0,60 l/s.km². Le maximum de crue médian est de 160 m³/s, soit 30,2 l/s.km² ; le maximum le plus fort observé étant de 237 m³/s, soit 44,7 l/s.km².

Nyong à Akonolinga (8 350 km²)

Sur vingt-trois années d'observations on n'observe que quelques relevés douteux : en février et mars 1962 et 1972 et en août 1975.

Le module interannuel est de 93,0 m³/s, soit 11,14 l/s.km².

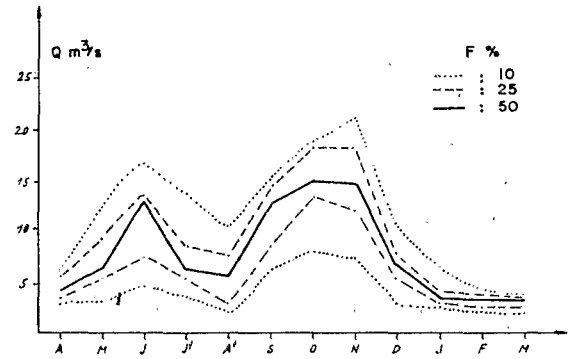


Fig. 3.8. – Nyong à Abong Mbang. Courbes des débits mensuels d'après leur fréquence.

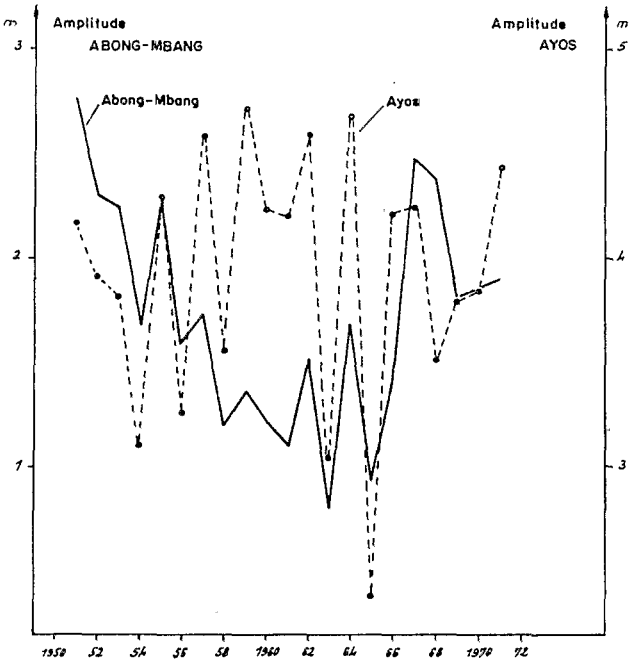


Fig. 3.9. – Comparaison des amplitudes du niveau du Nyong à Abong-Mbang et à Ayos.

L'étiage absolu médian est de 14,5 m³/s, soit 1,74 l/s.km² ; et le minimum observé est descendu jusqu'à 5,40, soit 0,65 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 240 m³/s, soit 28,71 l/s.km².

La crue maximale observée a atteint 374 m³/s, soit 44,8 l/s.km².

Nyong à Mbalmayo (13 555 km²)

Les vingt-six années d'observation effectuées à la station ORSTOM ne présentent que quelques relevés de qualité médiocre (janvier 1951, mars 1959, année 1960-61, août 1975 et mars 1977).

Le module interannuel est de 154 m³/s, soit 11,33 l/s.km².

L'étiage absolu médian est de 26,6 m³/s, soit 1,96 l/s.km² ; et le minimum observé est descendu jusqu'à 10,0 m³/s, soit 0,74 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 376 m³/s, soit 27,7 l/s.km², la crue maximale observée ayant atteint 575 m³/s, soit 42,4 l/s.km².

Nyong à Olama (18 150 km²)

D'installation beaucoup plus récente, cette station ne présente que 12 années d'observations (avec des valeurs douteuses pour mai 1968 seulement). Comme pour la station de Kaya (cf. infra), il aurait été possible de reconstituer un échantillon de débits mensuels sur la période commune de 26 années, mais cela conduit à des séries étendues biaisées à écarts-types trop faibles, peu représentatives finalement de l'irrégularité interannuelle. Les stations d'Olama et de Kaya resteront dans cette monographie des stations secondaires.

Pour Olama donc le module moyen calculé sur 12 ans est de 228 m³/s, soit 12,32 l/s.km².

L'étiage absolu médian est de 39,5 m³/s, soit 2,13 l/s.km².

Le débit minimum observé est de 19,0 m³/s, soit 1,03 l/s.km².

La crue maximale médiane est de 638 m³/s, soit 34,5 l/s.km² et le maximum observé a atteint 786 m³/s, soit 42,5 l/s.km².

Nyon à Kaya (19 985 km²)

Sur 12 années d'observations, 2 sont incomplètes, ce qui réduit l'échantillon à 10 années pour lesquelles on a les résultats suivants :

- le module moyen est de 257 m³/s, soit 12,86 l/s.km²..
- l'étiage médian est de 46,5 m³/s, soit 2,33 l/s.km² et le minimum observé est descendu jusqu'à 21,5 m³/s, soit 1,08 l/s.km².

La crue maximale médiane est de 654 m³/s, soit 32,7 l/s.km² et le maximum observé a atteint 834 m³/s, soit 41,7 l/s.km².

Nyong à Eséka (21 600 km²)

Sur vingt-six années de relevés, on note quelques périodes de relevés douteux (octobre 1951, août 1957, juillet 1962, décembre 1976) ; par ailleurs, les basses-eaux ont été reconstituées en avril 1951, janvier 1961, janvier, février, mars 1962 et 1964.

Le module interannuel est de 275 m³/s, soit 12,73 l/s.km².

L'étiage absolu médian est de 54,2 m³/s, soit 2,51 l/s.km² et le minimum observé est descendu jusqu'à 23,7 m³/s, soit 1,10 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 937 m³/s, doit 43,4 l/s.km² et le maximum observé a atteint 1 152 m³/s, soit 53,3 l/s.km².

Nyong à Dehane (26 400 km²)

Sur vingt-six années, on relève une année incomplète (1964-65), une anné douteuse (62-63) et quelques mois douteux (septembre 1951, février, mars 1962, mars 66).

Tableau 3.12. – Nyong à Ayos
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52	24.7	21.6	48.5	57.5	38.2	48.9	136	158	77.0	23.0	14.1	22.3	55.8
52-53	23.6	49.8	93.8	79.3	75.7	76.3	122	133	72.5	39.0	13.2	24.3	67.1
53-54	38.3	41.9	42.4	51.3	33.9	26.7	87.6	119	73.5	25.6	15.5	25.6	48.6
54-55	35.1	53.7	65.9	61.0	36.9	46.3	96.9	*163*	82.3	35.5	13.6	10.6	*53.1*
55-56	21.3	36.3	67.5	90.0	55.4	54.4	102	163	78.6	47.7	29.4	33.5	65.0
56-57	72.0	67.5	68.4	90.3	51.1	21.4	80.9	119	84.0	52.2	20.8	10.2	61.7
57-58	11.8	15.8	22.4	*32.0*	60.3	78.3	175	172	88.6	42.4	20.2	12.8	*61.2*
58-59	27.8	82.8	85.7	52.1	19.2	17.0	84.6	115	65.0	30.5	13.1	7.90	50.3
59-60	10.2	49.9	73.7	63.6	46.8	52.3	121	168	111	47.0	17.9	11.3	64.5
60-61	21.2	29.2	43.6	67.9	67.3	73.3	129	168	85.9	56.5	28.7	8.6	65.1
61-62	9.4	16.0	31.3	46.6	42.2	26.1	96.6	130	66.4	20.7	7.0	7.30	41.8
62-63	25.8	38.9	81.4	84.9	46.8	31.2	109	164	108	53.5	34.2	38.4	68.2
63-64	44.4	67.1	72.5	71.9	51.9	69.5	158	140	69.2	42.1	24.7	11.3	68.6
64-65	26.6	36.3	76.0	70.8	40.0	51.1	176	*177*	98.1	74.5	45.1	33.3	75.6
65-66	33.1	66.3	70.1	67.6	54.2	74.6	123	126	86.1	46.5	16.8	7.20	64.6
66-67	14.4	43.0	86.0	87.6	61.2	52.3	105	154	92.8	40.0	11.6	6.50	63.2
67-68	5.10	7.10	21.0	34.8	30.6	41.6	132	116	55.6	26.7	14.4	10.2	41.4
68-69	14.5	37.8	61.7	69.2	42.7	50.7	118	121	76.8	40.1	14.0	23.4	56.1
69-70	59.0	50.0	85.1	75.6	102	104	131	134	77.8	37.0	15.6	20.0	74.5
70-71	17.7	29.6	50.8	54.6	35.2	53.3	100	145	66.8	24.9	5.49	5.76	49.3
71-72	11.5	40.0	58.9	59.6	78.5	73.0	119	138	83.0	48.7	9.70	6.60	60.7
72-73	19.2	27.4	42.7	33.7	28.6	41.2	87.9	117	59.6	18.8	6.51	4.47	40.7
73-74	4.98	16.3	49.0	51.3	32.0	60.9	137	153	64.4	23.7	8.65	5.05	50.8
74-75	5.14	20.1	30.7	36.4	64.0	65.6	113	150	91.0	36.6	10.1	9.09	52.9
75-76	12.0	25.6	48.2	75.9	60.4	35.5	84.5	138	106	48.4	21.7	22.6	56.8
76-77	37.4	39.7	36.7	30.4	16.6	26.7	90.0	103	62.3	22.2	7.92	4.27	39.9
Moy.	24.1	38.8	58.2	61.4	48.9	52.0	116	142	80.1	38.6	16.9	17.4	57.6
ET.	16.4	18.6	20.8	18.4	19.3	21.0	26.3	21.0	15.0	13.4	9.33	16.0	10.2
Q1	33.1	49.9	73.7	75.6	60.4	69.5	131	163	88.6	47.7	20.8	23.4	65.0
Q3	11.8	25.6	42.7	51.3	35.2	35.5	96.6	121	66.8	25.6	10.1	7.2	50.3

Tableau 3.13. – Nyong à Ayos

Année	Etiagé absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	04/2	10	11	14	23	40	62	152	165	169	09/11
52-53	22/2	9	11	19	31	68	92	129	153	159	06/11
53-54	11/2	13	13	17	27	40	52	111	126	134	20/11
54-55	17/3	9	10	12	29	53	72	101	105	109	29/10
55-56	01/3	16	17	20	37	54	83	130	185	191	10/11
56-57	28/3	8	9	13	33	67	81	111	122	130	15/11
57-58	23/2	12	12	14	17	32	74	177	195	214	01/11
58-59	30/3	7	7	8	16	41	80	110	129	139	29/10
59-60	15/3	10	11	13	25	53	77	152	190	202	03/11
60-61	31/3	7	7	10	29	60	75	160	179	183	14/11
61-62	10/3	6	6	7	11	29	52	124	150	155	29/10
62-63	13/9	23	27	31	35	50	91	152	177	*182*	02/11
63-64	23/3	9.6	10.3	13.9	44	61	77	151	183	193	26/10
64-65	01/9	25.2	29.4	31.5	34.5	61	90.1	176	237	*237*	01/11
65-66	16/3	6.2	6.9	8.7	33.7	65	79.9	124	142	145	01/11
66-67	13/5	4.5	5.0	5.4	27.3	56	91.3	135	161	166	17/11
67-68	13/3	8.1	8.7	9.6	11.7	29.1	39	118	143	152	23/10
68-69	24/2	8.1	9.9	15.4	29.4	47.4	72	122	126	126	04/11
69-70	06/3	8.1	11.7	17.7	46.2	72.5	99.5	131	140	144	14/11
70-71	28/2	4.4	4.6	5.8	19.3	44.4	60	127	159	166	07/11
71-72	02/3	5.0	5.5	6.5	18.2	60	78.3	135	163	170	01/11
72-73	18/3	3.2	4.2	4.6	18.8	29.4	48	103	126	131	08/11
73-74	31/3	4.0	4.2	5.4	8.3	33	62.5	140	184	191	05/11
74-75	07/3	7.3	8.1	8.9	12.4	36	72.5	135	157	161	17/11
75-76	07/3	18.8	20.1	21.4	23.6	45	76.1	131	140	142	10/11
76-77	23/3	3.4	3.7	5.6	16.6	34.5	43.2	99.5	117	120	31/10
MED.		8.10	9.45	12.50	26.0	48.7	75.6	131	155	160	
ET.		5.67	6.51	7.27	10.1	13.4	15.9	211	29.9	30.9	
Q1		10.0	11.7	17.0	33.0	60.0	81.0	151	179	183	
Q3		6.0	6.0	7.0	17.0	36.0	62.0	118	129	139	

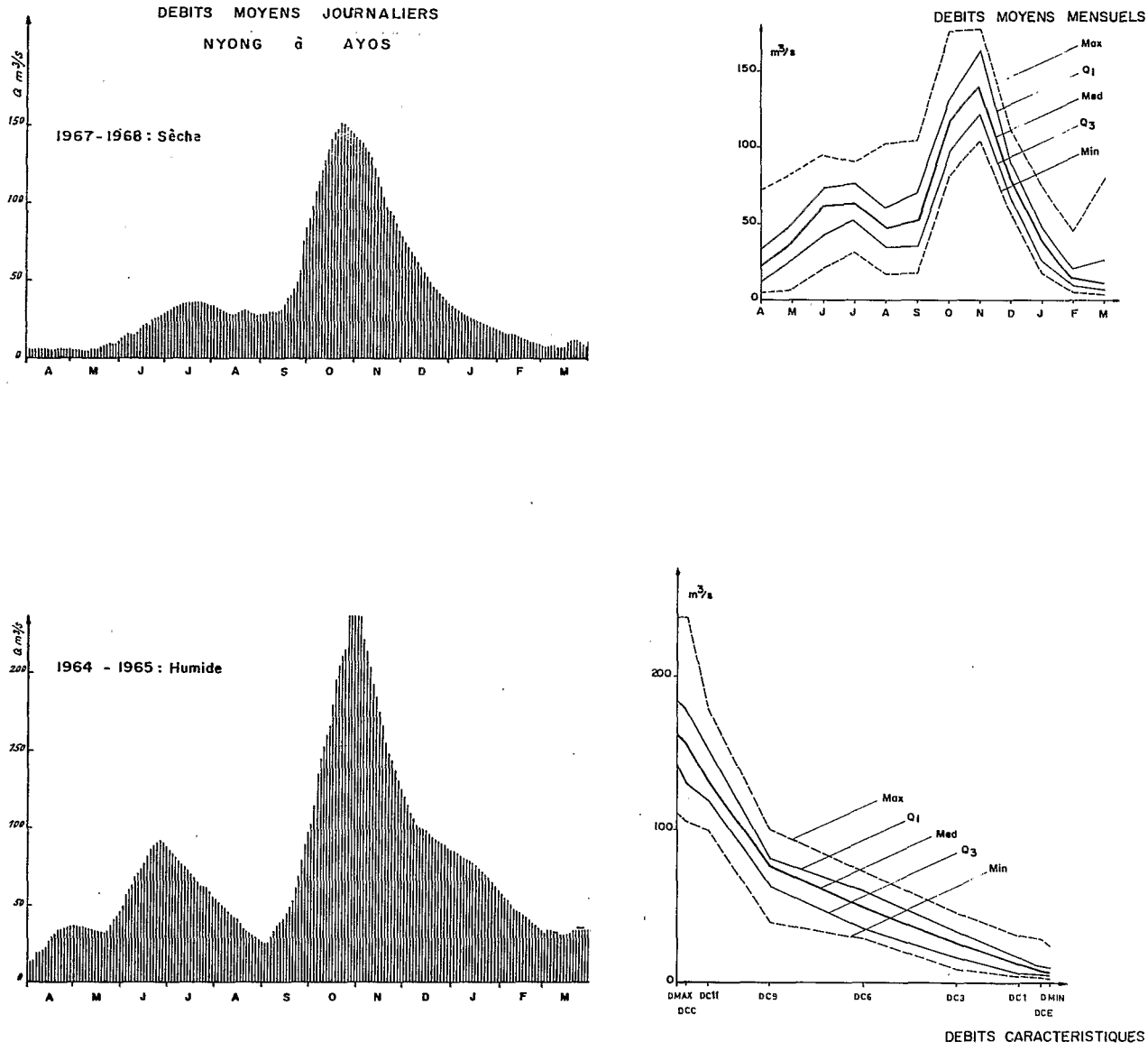


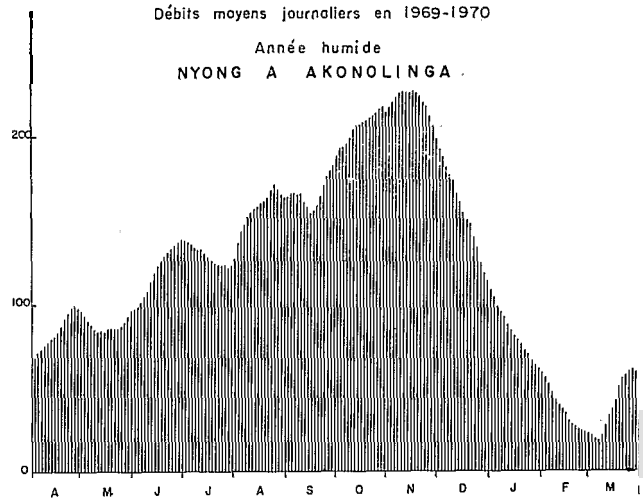
Fig. 3.10. – Le Nyong à Ayos

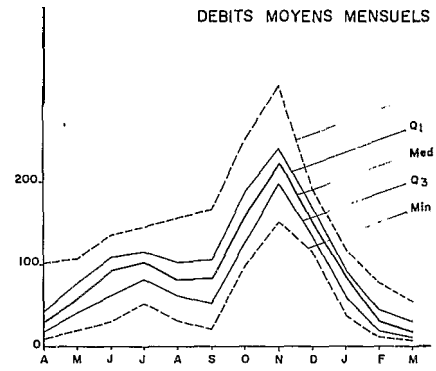
Tableau 3.14. – Nyong à Akonolinga
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

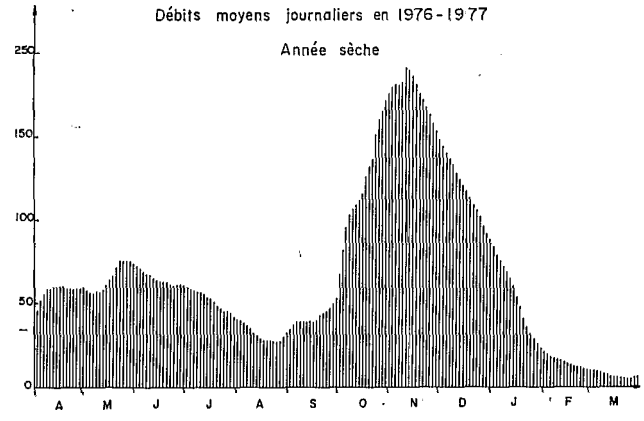
Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1953-54										37.4	18.9	28.2	-
54-55	41.1	79.0	86.9	99.1	59.4	46.2	134	149	137	68.4	17.8	15.9	78.3
55-56	23.5	40.4	72.6	116	80.7	54.7	114	225	148	83.7	53.2	33.2	87.2
56-57	101	107	101	110	75.7	28.6	99.6	183	151	93.0	42.8	19.3	93.7
57-58	18.7	23.9	44.4	119	110	117	250	273	168	87.0	29.9	15.7	105
58-59	33.4	101	135	94.6	31.1	22.4	103	181	123	54.3	18.1	13.0	76.3
59-60	15.9	57.4	115	109	73.2	77.0	152	259	177	89.8	27.9	16.4	97.5
60-61	23.7	38.0	59.1	80.9	101	121	161	236	159	91.6	49.9	14.0	94.9
61-62	15.3	19.0	29.3	53.3	61.0	34.2	120	206	127	47.9	*16*	*9.0*	*61.8*
62-63	37.8	75.7	111	120	82.8	52.8	147	239	174	101	60.4	50.4	104
63-64	60.3	83.6	108	110	91.4	105	200	215	133	79.7	41.1	19.9	104
64-65	41.8	56.9	95.1	111	71.8	74.8	227	317	167	116	78.2	55.8	118
65-66	52.0	76.8	105	93.5	81.8	93.4	160	184	133	81.8	36.0	11.9	92.6
66-67	23.6	73.1	120	145	103	81.8	157	237	172	84.0	28.9	11.4	103
67-68	10.1	20.5	40.2	57.6	61.8	67.5	187	208	115	57.6	26.3	21.1	72.9
68-69	29.0	71.6	94.7	114	89.3	101	182	211	154	86.4	43.6	40.6	101
69-70	80.7	88.4	118	129	156	165	205	221	158	86.3	36.8	40.8	124
70-71	40.8	54.5	76.7	86.7	77.4	91.6	159	240	149	72.0	16.1	16.7	90.4
71-72	28.7	65.7	98.8	101	119	143	183	243	163	101	*42*	*15.3*	*111*
72-73	35.3	50.6	73.0	64.3	54.1	88.1	141	194	127	52.2	13.4	9.1	75.4
73-74	16.1	45.5	91.3	105	80.7	93.2	206	265	146	57.1	18.0	10.2	94.8
74-75	13.8	38.0	59.0	57.3	91.1	111	180	236	169	82.4	24.0	15.6	90.3
75-76	22.3	40.2	61.0	101	*109*	78.4	126	215	191	111	47.0	35.6	95.3
76-77	57.4	65.9	65.4	52.2	31.7	42.8	124	176	119	53.5	14.9	7.5	67.7
Moy.	37.8	59.7	85.2	96.9	83.3	82.2	162	222	150	78.1	33.4	22.0	93.0
ET.	22.4	24.5	28.2	25.5	27.7	36.2	39.8	37.0	20.8	20.7	16.7	13.6	15.6
Q1	41.8	76.8	108	114	101	105	187	240	168	90.7	43.2	30.7	104
Q3	18.7	40.2	61	80.9	61.8	52.8	126	194	133	57.4	18.0	12.5	78.3

Tableau 3.15. – Nyong à Akonolinga

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1953-54	12/2	17									
54-55	05/3	15	15	16	38	75	107	148	156	158	02/11
55-56	12/3	23	*26*	*44*	*47*	*68*	110	193	249	*258*	23/11
56-57	03/3	14	17	22	51	102	124	174	188	189	17/11
57-58	27/3	15	15	16	*24*	97	133	275	292	295	30/10
58-59	27/3	12	12	14	21	65	123	165	188	192	15/11
59-60	20/3	15	15	18	42	84	122	232	270	277	13/11
60-61	31/3	12	13	17	44	84	126	213	246	247	16/11
61-62	04/3	*8.0*	*8.0*	*9.0*	16	37	79	185	215	220	07/11
62-63	14/9	43.9	45.5	49.3	54.3	91.4	121	210	247	254	06/11
63-64	25/3	17.4	18.8	23.0	23.0	64	98.6	116	212	238	04/11
64-65	14/4	48.9	50.2	52.9	57.9	88.1	131	296	353	374	06/11
65-66	19/3	9.8	11.2	15.2	63.0	91.4	109	181	189	194	02/11
66-67	26/3	8.6	9.2	10.2	56.5	90.6	148	220	246	253	21/11
67-68	15/3	16.8	17.4	24.2	26.2	57.4	81.5	204	242	249	31/10
68-69	26/2	16.6	18.6	23.0	62.5	89.8	122	206	215	220	13/11
69-70	07/3	18.0	23.0	38.0	80.8	123	165	215	226	227	17/11
70-71	02/3	8.4	10.8	17.4	41.8	77.4	115	207	252	258	10/11
71-72	20/3	12.4	14.0	-	-	103	140	226	258	261	09/11
72-73	15/3	6.4	7.6	10.4	37.8	59.7	101	177	201	206	13/11
73-74	31/3	7.0	9.6	11.4	23.6	77.0	122	242	280	288	10/11
74-75	08/3	13.6	14.4	17.6	28.2	62.0	124	220	242	247	19/11
75-76	13/3	32.6	33.5	35.1	40.4	85.0	121	209	226	227	30/11
76-77	24/3	5.4	6.5	10.4	34.2	59.2	76.7	164	181	191	12/11
MED.		14.50	15.0	17.50	41.90	84.0	122.0	209.0	238.0	240.0	
ET.		10.91	11.37	13.03	16.69	19.07	20.61	35.0	40.0	45.1	
Q1		17.20	18.80	24.20	56.50	91.40	126.0	220.0	252.0	258.0	
Q3		9.20	10.80	14.0	28.20	65.0	109.0	177.0	189.0	194.0	







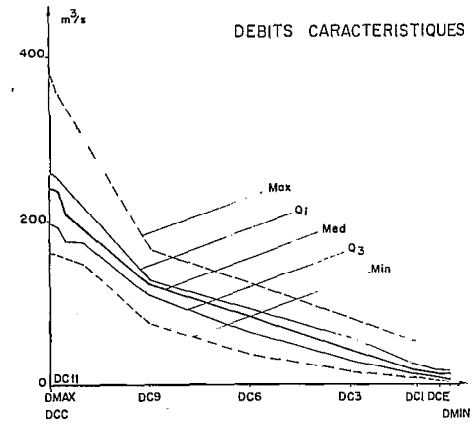


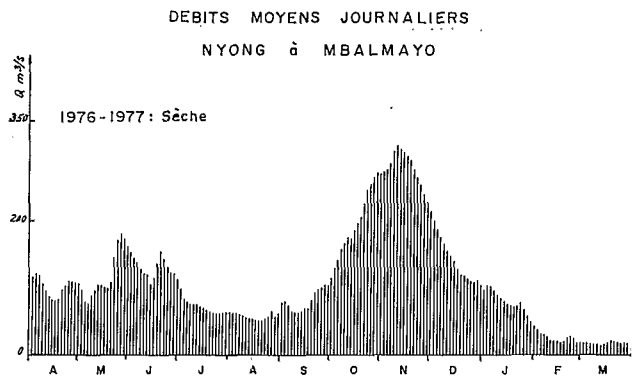
Fig. 3.11. – Le Nyong à Akonolinga.

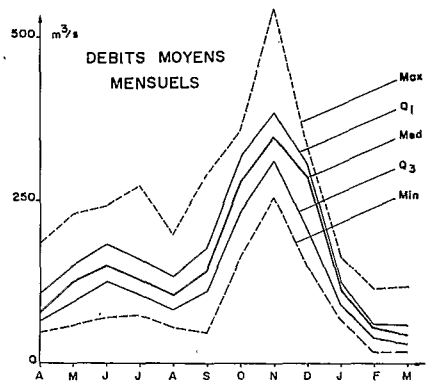
Tableau 3.16. – Nyong à Mbalmayo
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

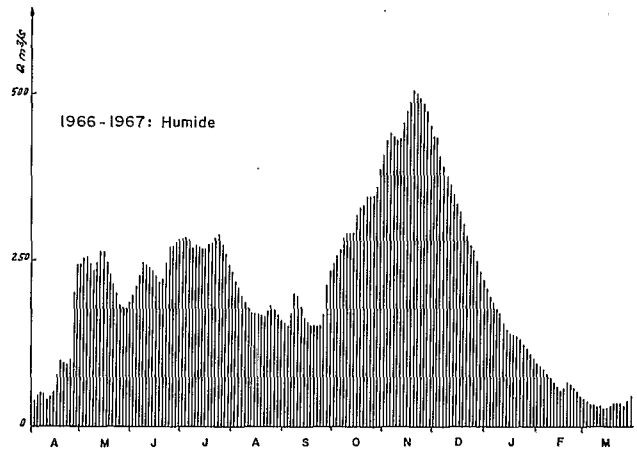
Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51										*90*	47.3	31.4	-
51-52	64.9	57.7	110	126	86.5	340	327	377	233	86.5	36.3	52.6	142
52-53	57.9	153	229	192	150	148	261	350	211	94.9	44.9	87.9	166
53-54	84.5	101	105	100	70.6	89.9	163	298	189	79.7	57.9	68.1	117
54-55	108	135	168	134	80.5	96.7	218	255	208	97.0	42.1	43.1	133
55-56	66.1	83.9	126	143	111	89.7	173	296	204	88.7	45.5	111	128
56-57	181	218	196	165	98.5	114	212	347	255	121	53.3	32.0	167
57-58	34.1	73.7	117	136	142	142	327	448	296	124	56.9	28.8	163
58-59	82.8	143	198	131	54.5	45.4	177	288	203	92.2	32.7	*20.9*	*123*
59-60	51.0	112	163	146	100	131	288	394	297	138	54.8	31.2	183
60-61	66.6	112	133	105	122	185	273	340	234	124	71.5	20.9	*149*
61-62	55.8	59.4	69.2	77.3	63.6	84.8	231	311	195	69.9	17.0	47.0	107
62-63	120	178	181	160	108	125	268	395	297	145	113	94.9	182
63-64	100	139	152	188	132	183	326	332	196	113	61.3	48.5	164
64-65	125	125	190	158	92.6	177	305	539	315	161	115	99.0	200
65-66	113	142	179	144	134	167	283	301	204	116	61.7	26.6	156
66-67	85.3	228	242	273	184	173	315	462	331	150	68.3	36.6	213
67-68	47.9	72.5	113	105	82.1	124	260	347	174	84.9	45.0	57.6	126
68-69	75.6	151	150	126	104	176	269	384	247	124	65.4	119	165
69-70	131	150	159	173	196	290	338	348	228	125	60.2	83.9	190
70-71	111	140	146	115	120	210	331	430	244	112	39.0	66.8	173
71-72	71.5	126	144	127	133	187	355	342	233	115	55.0	41.6	161
72-73	74.4	85.5	126	82.0	74.2	151	321	312	179	95.4	29.7	28.7	131
73-74	59.6	164	199	182	136	144	281	361	228	94.1	35.9	29.8	160
74-75	65.3	92.2	125	81.6	79.9	170	310	351	236	113	59.7	42.5	144
75-76	65.0	95.4	89.8	119	*105*	110	247	343	255	136	82.1	67.7	143
76-77	101	121	129	74.1	58.0	78.7	184	281	146	80.3	26.2	*17.7*	108
Moy.	85.3	125	151	137	108	144	271	355	232	110	54.7	53.2	154
ET.	31.4	43.4	42.1	43.7	36.0	50.4	56.0	62.9	45.7	23.6	22.6	29.2	27.6
Q1	108	150	181	160	133	176	321	384	255	124	61.7	68.1	166
Q3	64.9	92.2	125	105	80.5	110	231	311	203	90	39.0	29.8	131

Tableau 3.17. – Nyong à Mbalmayo

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	20/2	29	31	39	57	97	169	373	383	391	08/11
52-53	24/2	27.4	33	57	89	157	216	326	366	371	11/11
53-54	08/2	34	43	51	73	97	123	261	315	337	20/11
54-55	02/3	18.6	21	39	79	119	171	258	290	304	27/10
55-56	21/2	29.8	39	57	80	110	147	278	302	324	07/11
56-57	03/3	20.2	25	38	91	160	222	317	361	373	13/11
57-58	23/3	21.8	26.6	29.8	65	129	194	414	461	469	12/11
58-59	*15/3*	*17*	*19.4*	*21.8*	48	102	175	268	302	306	15/11
59-60	24/3	22.6	26.6	34	85	121	201	358	420	428	19/11
60-61	*15/3*	*15*	*17.8*	34	83	122	208	306	358	369	09/11
61-62	*28/3*	*14*	*16*	18.6	54	71	113	309	316	320	18/11
62-63	21/3	71	73	87	111	149	214	383	399	410	27/11
63-64	12/3	37	42	52	95	147	202	337	348	355	02/11
64-65	27/8	75	77	91	112	158	217	472	561	575	10/11
65-66	07/3	21	24.2	33	107	144	196	291	308	332	03/11
66-67	13/5	25.8	31	39	47	161	276	431	487	506	20/11
67-68	14/3	37	39	45	83	121	140	309	391	412	07/11
68-69	24/2	39	42	55	108	135	214	334	402	433	15/11
69-70	06/3	31	41	67	127	172	258	343	363	374	11/11
70-71	23/2	27.4	33	51	98	130	214	378	460	482	07/11
71-72	27/2	21.8	29	42	90	131	207	347	433	443	28/11
72-73	13/3	10	22	27.4	68	88	155	330	372	391	20/10
73-74	25/2	23.4	25	29.8	66	140	221	340	381	390	06/11
74-75	10/3	34	38	43	67	111	182	342	364	377	04/11
75-76	11/3	51	52	61	85	105	172	313	362	373	15/11
76-77	*15/3*	*13*	*17*	*19.4*	59	95	135	260	300	314	11/11
MED.		26.6	31.0	40.5	83.0	126	198	332	365	376	
ET.		15.8	15.3	18.3	24.8	25.9	39.2	53.1	65.0	65.7	
Q1		34.0	41.0	55.0	95.0	147	214	358	402	428	
Q3		20.2	24.2	33.0	66.0	105	169	306	316	337	







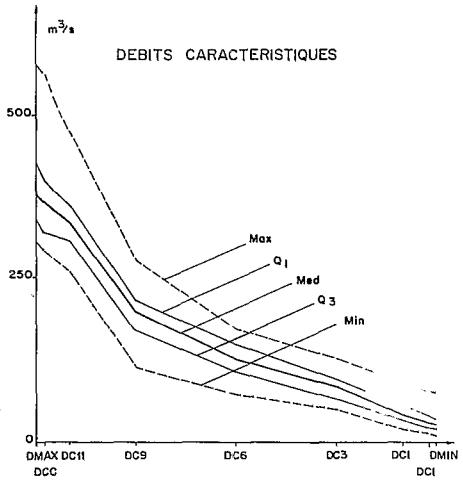


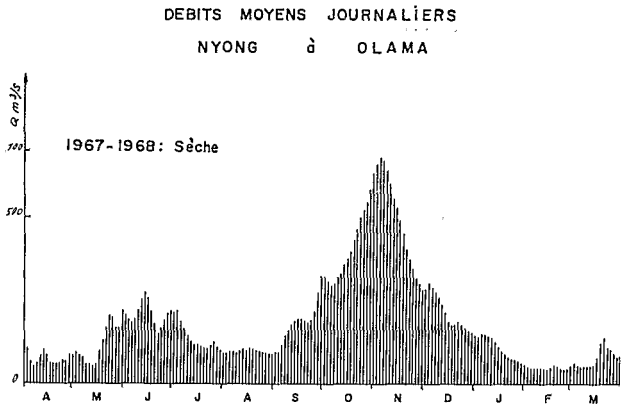
Fig. 3.12. – Le Nyong à Mbalmayo.

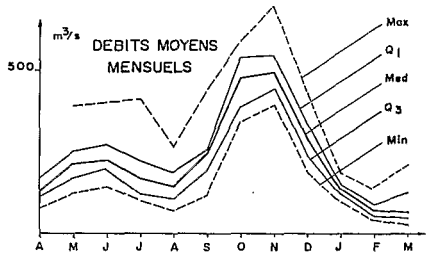
Tableau 3.18. – Nyong à Olama
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

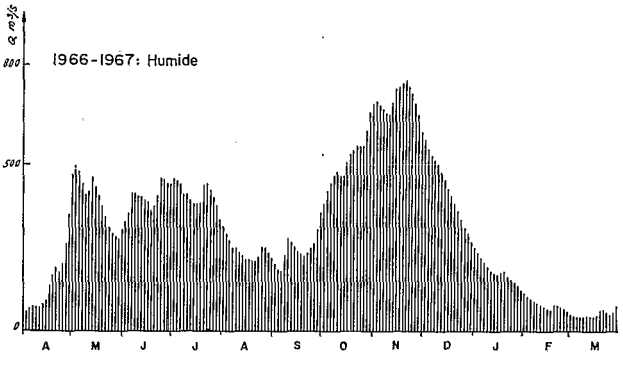
Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1964-65								-	381	180	139	149	-
65-66	182	241	293	194	181	255	455	427	245	132	73.1	43.6	227
66-67	152	391	400	410	240	249	511	695	428	179	82.0	55.0	317
67-68	77.0	121	211	140	99.0	184	420	505	218	107	52.4	87.4	185
68-69	127	250	234	167	121	241	361	542	319	142	90.7	203	234
69-70	208	240	239	242	262	439	528	530	288	135	70.9	144	278
70-71	181	246	250	174	184	346	548	648	339	139	50.6	98.2	267
71-72	118	175	200	169	152	252	591	481	287	123	60.6	60.0	223
72-73	119	120	191	98.4	92.0	234	569	474	219	125	40.3	51.7	195
73-74	115	253	334	242	180	194	403	451	255	101	79.4	43.1	221
74-75	107	180	187	98.4	125	254	499	387	275	122	71.7	65.6	198
75-76	120	165	137	165	118	136	366	546	313	148	98.0	96.1	201
76-77	148	174	201	98.0	69.0	116	337	431	182	91.9	35.5	27.9	159
Moy.	138	213	240	183	152	242	466	510	288	133	72.6	86.5	228
ET.	37.4	74.3	72.1	86.8	59.3	86.8	87.3	90.4	68.6	26.4	27.4	51.2	40.7
Q1	166	248	272	218	183	254	538	544	329	145	86.4	121	251
Q3	116	170	195	119	109	189	384	441	232	114	52	47.6	196

Tableau 3.19. – Nyong à Olama

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1965-66	05/3	27	34	50	138	201	307	438	491	542	02/11
66-67	09/3	43	46	67	172	285	440	648	728	753	21/11
67-68	26/3	44	50	60	91	145	217	462	624	681	06/11
68-69	24/2	54	64	90	132	202	303	453	581	617	17/11
69-70	08/3	41	55	80	171	242	353	535	565	593	12/11
70-71	25/2	38	44	70	139	198	357	579	736	786	08/11
71-72	28/2	29	38	58	120	171	268	524	713	761	21/10
72-73	14/3	21	30	42	88	123	225	539	666	766	20/10
73-74	12/3	28	33	40	103	185	314	449	521	546	27/10
74-75	06/3	42	50	67	87	150	258	535	565	615	02/11
75-76	08/3	61	72	88	112	139	218	440	588	658	17/11
76-77	13/3	19	27	30	68	124	204	401	462	508	12/11
MED.		39.5	45.0	63.5	116	178	286	493	584	638	
ET.		12.9	13.8	19.0	33.2	49.0	71.1	71.5	91.7	97.3	
Q1		43.5	52.5	75.0	139	201	334	537	689	757	
Q3		27.5	33.5	46.0	89.5	142	222	444	543	570	







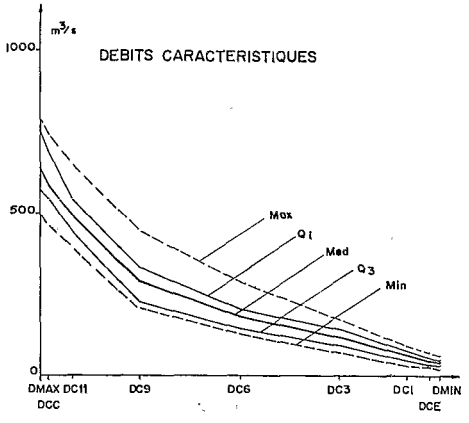


Fig. 3.13. – Le Nyong à Olama.

Tableau 3.20. – Nyong à Kaya
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1965-66				*197*	200	272	479	448	264	151	92.8	48.4	–
66-67	174	433	433	441	270	284	558	733	466	*208*	96.7	68.7	348
67-68	98.2	150	246	164	119	222	478	548	255	125	61	102	214
68-69	152	301	269	193	139	283	398	572	350	155	104	238	263
69-70	248	273	273	260	295	485	569	571	326	151	81	164	309
70-71	240	293	321	198	220	391	614	686	339	161	62.6	119	305
71-72	142	204	234	194	178	293	630	–	–	–	–	79.4	–
72-73	149	149	228	120	121	269	611	518	254	148	45.9	61.1	224
73-74	141	303	392	284	222	228	455	497	292	121	48.5	53.1	253
74-75	136	201	226	117	141	297	553	548	311	138	89.0	87.8	237
75-76	140	203	155	203	136	160	430	588	359	167	117	122	231
76-77	169	196	256	132	98.7	154	380	484	218	108	39.4	32.9	189
Moy.	163	246	276	209	178	278	513	563	311	148	76.2	98.0	257
ET.	44.7	84.2	79.2	89.0	63.3	91.1	87.3	84.3	67.5	26.7	26.0	57.5	49.4
Q1	174	301	321	231	221	295	590	588	349	161	93.0	120	305
Q3	140	196	228	148	128	225	442	497	255	125	48.0	57.1	224

Tableau 3.21. – Nyong à Kaya

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1965-66	06/3	31.5	40	–	–	200	250	458	512	580	03/11
66-67	10/3	49	56	81	198	325	476	702	760	786	21/11
67-68	26/2	51	58	75	113	272	254	522	676	722	05/11
68-69	23/2	66	73	105	189	267	355	484	615	640	16/11
69-70	05/3	47	65	93	198	278	303	576	615	637	08/11
70-71	10/2	46	61	92	163	256	390	632	773	834	04/11
71-72	01/3	*33*	–	–	–	–	–	–	–	–	–
72-73	15/3	23	28	45	111	150	272	596	722	805	21/10
73-74	11/3	32	36	45	128	230	366	498	579	590	07/11
74-75	05/3	54	74	88	122	215	397	579	615	654	01/11
75-76	11/3	67	88	111	134	164	246	630	623	671	17/11
76-77	18/3	21.5	27.4	35	92	159	249	173	527	576	14/11
MED.		46.5	58.0	84.5	131	215	297	530	615	654	
ET.		15.3	20.0	26.6	39.2	57.0	74.2	74.9	86.7	92.4	
Q1		52.5	73.0	93.0	189	267	366	596	722	786	
Q3		31.7	36.0	45.0	113	164	250	484	579	590	

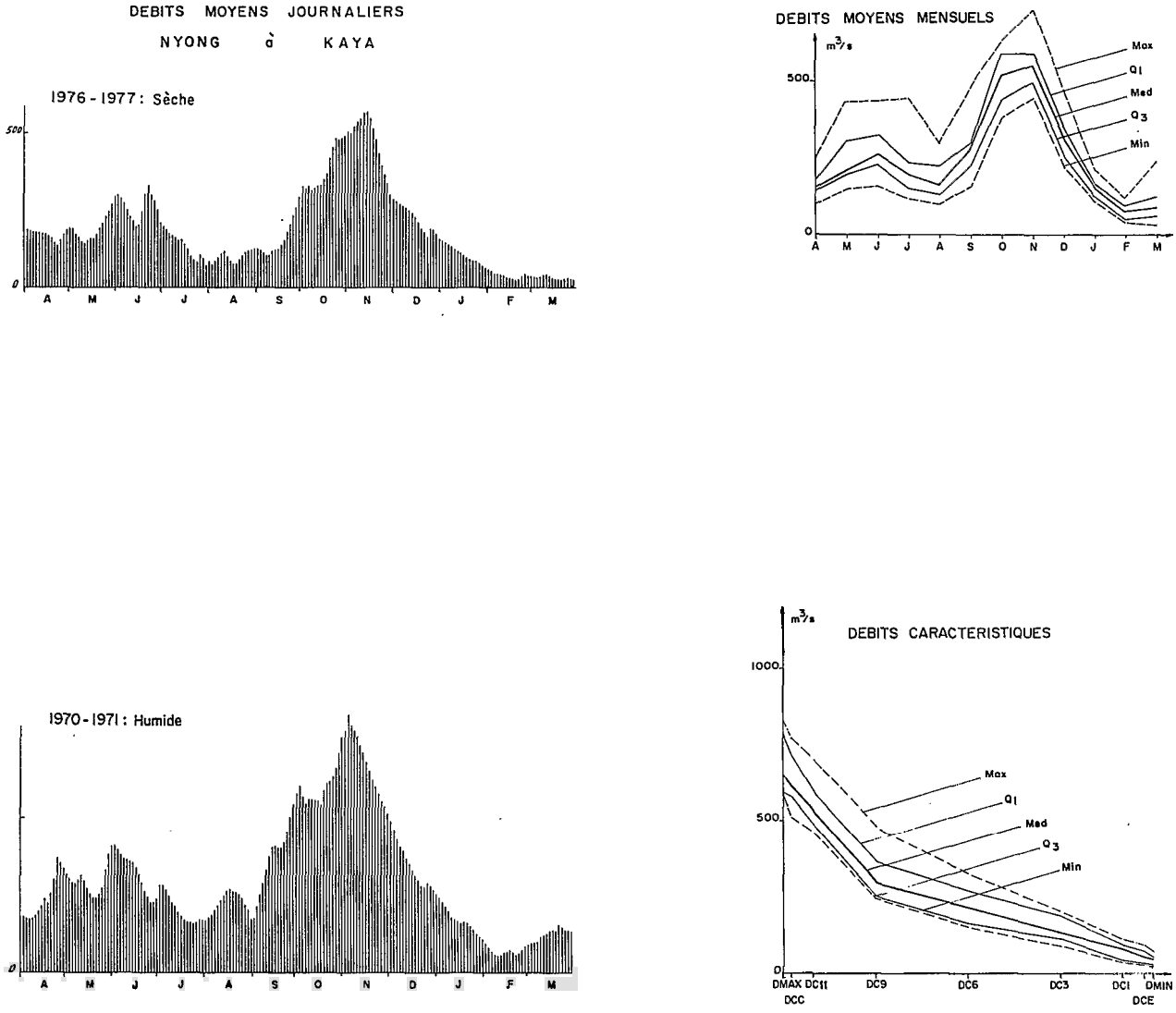


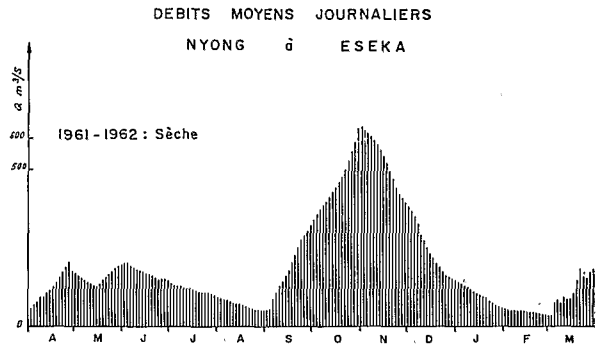
Fig. 3.14. – Le Nyong à Kaya.

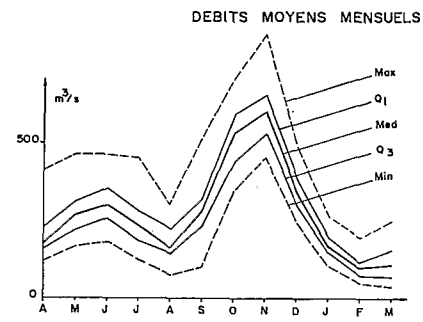
Tableau 3.22. – Nyong à Eseka
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

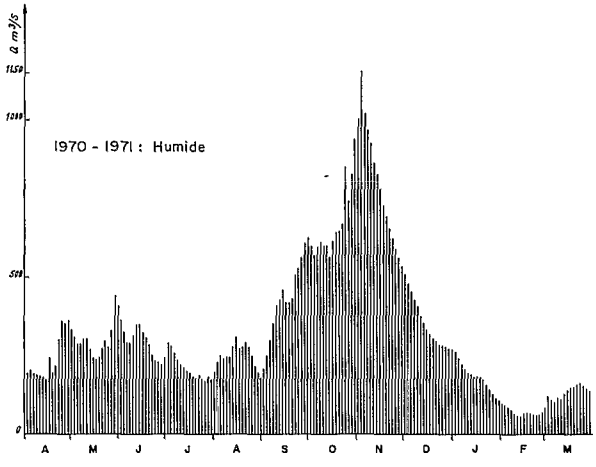
Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51										–	–	–	
51-52	*152*	170	232	232	136	302	*621*	631	335	145	87	110	*262*
52-53	157	363	450	320	249	261	473	577	336	169	92	180	302
53-54	176	200	205	176	115	220	340	548	273	132	188	152	220
54-55	240	284	376	241	131	204	433	459	338	161	86	129	257
55-56	196	216	295	235	178	228	376	524	294	144	85	242	251
56-57	406	446	379	273	159	224	531	613	431	198	90	84	320
57-58	151	174	270	229	*197*	248	521	651	452	197	97	69	272
58-59	189	292	292	178	81.6	94.3	338	449	299	142	54	41	205
59-60	122	255	263	216	147	259	552	664	418	202	95	82	273
60-61	137	263	295	193	212	308	531	673	381	260	128	68	288
61-62	122	156	171	117	67.0	181	456	527	236	100	47	117	191
62-63	326	455	459	*310*	198	400	586	849	488	223	191	154	*387*
63-64	197	251	293	296	223	391	562	596	372	*168*	*102*	*105*	*297*
64-65	257	260	349	242	139	309	553	826	429	225	174	194	330
65-66	223	297	346	232	218	313	511	478	288	167	103	58	270
66-67	178	460	458	448	287	312	618	835	486	229	112	73.5	375
67-68	110	165	265	177	133	254	520	596	272	146	70	117	235
68-69	165	306	276	202	151	292	414	594	354	173	119	248	275
69-70	265	301	289	274	300	508	601	625	341	174	94	174	329
70-71	242	302	302	213	251	427	680	793	357	183	71.8	134	330
71-72	154	227	246	201	189	308	704	543	335	159	79.4	83.2	269
72-73	161	172	244	124	123	286	667	544	266	161	55.8	68.4	239
73-74	159	316	397	292	228	247	474	507	299	130	58.7	60.3	264
74-75	145	212	242	124	150	315	580	587	322	156	100	90.9	252
75-76	161	211	182	211	145	171	437	616	355	186	129	130	245
76-77	195	218	250	127	101	163	407	502	*240*	122	47.4	35.3	201
Moy.	192	268	301	226	173	278	519	608	346	171	96.0	115	275
ET.	66.6	87.1	79.8	72.7	60.2	88.4	101	112	70.6	36.7	35.0	57.1	49.4
Q1	223	302	349	273	218	312	586	651	381	197	112	152	302
Q3	152	211	246	178	133	224	437	527	294	145	71.8	69	245

Tableau 3.23. – Nyong à Eseka

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52								380	<400	<400	
52-53	22/2	58.3	74.5	115	185	279	390	566	623	663	05/11
53-54	01/2	62.0	83.9	96.5	147	191	250	456	601	657	17/11
54-55	03/3	39.8	44.7	108	152	223	344	465	545	599	27/10
55-56	21/2	51.7	75.5	104	172	225	292	418	610	712	05/11
56-57	05/3	42.5	50	79.6	149	316	447	596	678	892	08/11
57-58	07/3	48.5	55.8	69.5	139	–	314	577	769	804	07/11
58-59	01/3	30.0	34.7	43.2	79.5	191	299	432	472	515	16/11
59-60	15/3	58.3	64.8	81.8	144	217	336	651	690	736	16/11
60-61	20/3	51.7	64.2	79.6	165	235	366	621	754	871	19/11
61-62	*04/3*	35	*41*	*52*	–	155	204	481	604	645	31/10
62-63	25/3	104	128	170	–	386	520	709	909	1007	31/10
63-64	27/2	*77*	*86*	*100*	247	330	364	577	660	696	01/11
64-65	25/8	111	122	153	188	271	366	684	917	1064	04/11
65-66	07/3	35.9	48.5	68.5	175	242	362	495	540	642	03/11
66-67	09/3	55.8	60.2	84.3	222	348	490	769	907	956	28/10
67-68	17/2	59.3	65.7	77	120	175	279	525	757	934	04/11
68-69	18/2	71.5	90.5	125	166	238	354	490	651	681	12/11
69-70	07/3	54.2	72.5	117	215	288	424	615	672	642	11/11
70-71	23/2	55.8	63	104	182	271	394	669	977	1152	03/11
71-72	28/2	36.6	48	80	155	209	312	566	884	960	28/10
72-73	15/3	26.8	39.2	57.5	1221	164	284	625	791	940	20/10
73-74	26/2	39.8	44.7	53.3	141	238	370	509	597	655	25/10
74-75	07/3	62.0	74.5	93.1	117	189	314	608	687	757	31/10
75-76	10/3	79.6	96.5	122	145	181	267	534	672	753	16/11
76-77	12/3	23.7	32.9	38.5	73.5	171	245	476	560	592	07/11
MED.		54.20	64.20	84.30	152.0	230.0	344.0	566.0	672.0	742.0	
ET.		21.63	24.89	32.26	41.54	61.67	75.27	96.42	134.61	164.60	
Q1		62.0	79.70	111.50	182.00	275.0	380.0	621.0	780.0	937.0	
Q3		38.20	46.35	69.0	139.0	190.0	288.0	481.0	602.50	656.0	







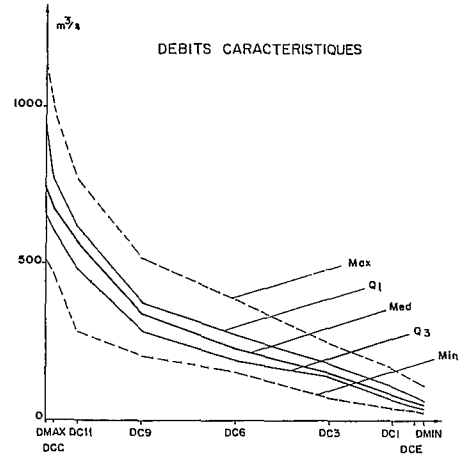


Fig. 3.15. – Le Nyong à Eséka.

Tableau 3.24. – Nyong à Dehane
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51											134	157	–
51-52	230	268	349	317	224	*460*	1127	976	430	197	128	124	*403*
52-53	183	474	633	438	378	1041	850	840	184	212	148	229	470
53-54	235	378	392	302	206	435	662	837	394	181	169	212	367
54-55	348	487	582	357	197	460	781	726	515	212	122	176	437
55-56	292	365	484	351	300	576	883	894	432	206	129	342	438
56-57	617	671	688	471	284	472	1048	1052	605	292	137	120	539
57-58	244	322	505	357	343	504	899	1064	608	271	135	99.2	447
58-59	292	469	379	240	133	243	618	704	428	197	78.6	71.3	322
59-60	180	413	336	274	287	739	1032	995	592	288	134	133	451
60-61	249	401	427	406	499	860	1163	1041	548	291	179	82.7	513
61-62	253	221	242	212	133	381	741	707	355	140	*70*	*179*	*340*
62-63	*586*	731	575	485	340	843	1226	1127	1004	644	422	*375*	*700*
63-64	377	433	592	637	675	661	1009	841	643	450	294	178	565
64-65	421	578	955	1087	–	–	–	–	–	320	223	249	–
65-66	285	431	496	315	342	639	911	734	406	223	134	*75*	*417*
66-67	232	665	692	602	429	583	957	1107	640	297	142	97.7	540
67-68	162	259	425	273	264	577	990	883	397	209	97.0	186	394
68-69	229	476	406	267	207	449	633	784	455	207	143	317	383
69-70	371	435	406	355	504	972	935	975	495	224	127	229	503
70-71	377	470	454	312	557	957	1213	1181	516	259	110	183	551
71-72	210	335	347	298	340	628	1113	785	468	208	104	123	406
72-73	208	287	432	185	189	509	957	737	358	200	80.0	88.8	354
73-74	228	456	572	433	408	544	821	691	409	174	80.0	100	411
74-75	211	336	381	172	209	583	922	888	445	205	139	121	385
75-76	201	289	278	343	223	478	806	897	502	225	188	195	388
76-77	363	338	398	209	251	488	859	873	356	183	76.4	40.4	369
Moy.	292	423	478	373	317	603	926	894	487	252	145	166	442
ET.	115	130	153	186	136	198	169	145	151	101	73.1	84.3	89.2
Q1	363	474	575	433	393	700	1040	1018	570	288	148	212	508
Q3	211	335	381	273	208	466	813	761	402	200	104	99.2	384

Tableau 3.25. – Nyong à Dehane

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	08/3	73.0	83	126	175	–	414	1067	1267	1371	02/11
52-53	21/2	103.2	118	152	220	414	595	830	1042	1482	24/10
53-54	31/1	103.2	112	140	216	301	446	728	914	1202	21/11
54-55	01/3	63.1	67.5	154	209	373	576	796	914	1027	27/10
55-56	20/2	85.0	113	156	260	367	514	841	1102	1570	04/11
56-57	06/3	73.0	91.5	128	276	502	720	1057	1217	1540	26/10
57-58	13/3	63.1	73	99.3	238	352	558	1007	1107	1319	12/11
58-59	28/2	43.8	55	65.3	128	282	456	674	760	939	14/11
59-60	05/3	90.2	103	121	200	310	589	1042	1142	1426	19/9
60-61	17/3	64.2	70.8	108	240	464	615	1180	1366	1552	04/11
61-62	28/2	*60*	*63*	83.8	146	223	397	708	898	1017	30/10
62-63	31/8	192	301	352	417	632	919	1207	1346	1606	16/10
63-64	22/3	128	166	216	400	586	693	878	1067	1277	31/10
64-65	12/3	176	192	209	358	–	–	–	–	–	–
65-66	*11/3*	*46*	64.2	82	218	340	546	862	1002	1202	22/10
66-67	09/3	66.4	74.2	111	282	603	700	1037	1207	1600	29/10
67-68	27/2	76.6	91.5	109	180	294	486	962	1217	1588	29/10
68-69	19/2	83	116	162	209	325	529	720	818	939	12/11
69-70	07/3	77	101	154	279	406	678	1002	1132	1540	04/11
70-71	23/2	87.6	98	144	260	432	686	1167	1482	1930	03/11
71-72	27/2	54	71	111	202	313	552	878	1294	1482	19/10
72-73	17/3	34.4	50	73	174	226	476	839	1072	1252	21/10
73-74	02/3	48.0	55	83	196	403	564	772	906	1092	08/10
74-75	08/3	82.6	105	125	160	279	502	866	1082	1277	12/10
75-76	08/3	111	140	174	209	288	453	834	967	1132	13/11
76-77	14/3	30	39.0	53.6	174	294	468	858	1107	1356	23/10
MED.		78.80	91.50	125.50	212.50	346.0	552.0	866.0	1102.0	1356.0	
ET.		38.22	54.13	60.21	71.59	113.22	118.51	152.22	177.93	246.28	
Q1		90.20	113.0	154.0	260.0	423.0	646.50	1039.5	1217.0	1546.0	
Q3		60.0	67.50	99.30	180.0	294.0	472.0	813.0	940.50	1167.0	

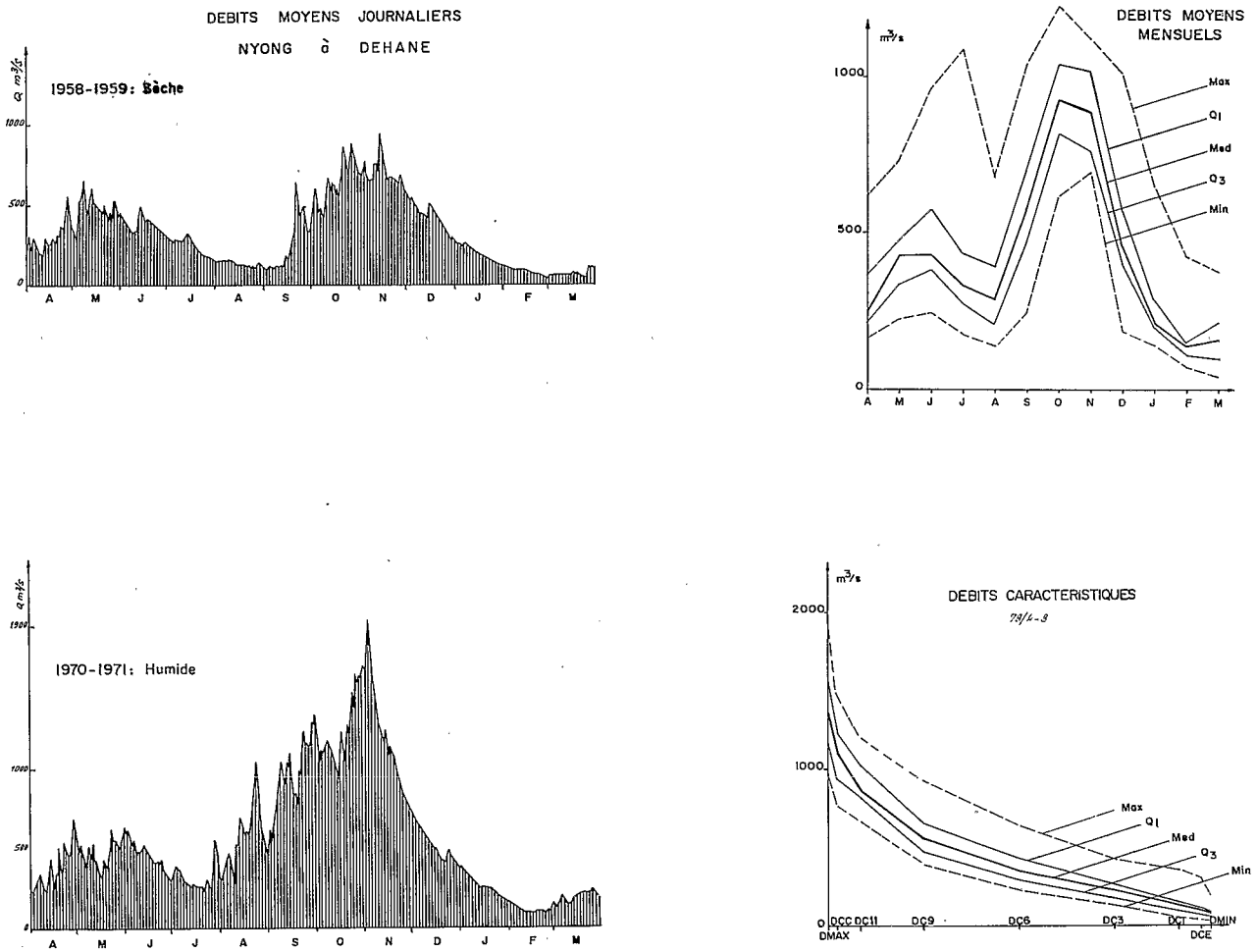


Fig. 3.16. – Le Nyong à Dehane.

Tableau 3.26. – Méfou à Etoa
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1965-66												0.66	
66-67	3.40	7.40	5.20	4.10	2.69	4.50	10.4	11.2	5.80	3.32	2.11	1.80	5.18
67-68	1.99	3.16	3.10	1.41	0.91	2.66	6.80	4.00	2.14	1.32	0.96	1.98	2.54
68-69	2.20	3.85	2.32	1.27	0.77	3.79	5.25	7.77	3.33	1.74	1.47	3.40	3.10
69-70	2.90	3.09	2.28	1.55	2.64	3.99	6.62	7.92	3.39	2.74	1.65	4.48	3.62
70-71	5.14		6.96	2.57	3.68	6.71	11.7	10.9	11.7	3.23	2.21	4.19	-
71-72	2.25	4.03	5.05	2.49	2.39	3.01	7.94	4.32	3.35	1.91	1.51	2.85	3.44
72-73	*1.82*	1.71	3.96	1.71	1.14	2.32	8.96	5.23	2.19	1.91	1.14	1.56	*2.94*
73-74	1.89	5.26	6.34	3.54	2.38	2.72	5.19	3.44	2.23	1.11	0.87	1.14	3.02
74-75	2.85	2.05	4.77	1.27	1.19	3.70	6.77	5.96	2.15	1.69	2.37	2.68	3.11
75-76	3.13	5.10	2.00	2.34	0.98	1.39	3.47	8.00	2.39	1.15	1.29	1.62	2.74
76-77	2.93	3.04	2.82	1.86	2.00	1.55	6.42	11.1	2.56	1.17	0.83	1.04	3.12
Moy.	2.85	3.51	3.96	1.86	2.00	3.01	6.77	7.77	2.56	1.74	1.47	1.89	3.10
ET.	0.95	1.69	1.71	0.94	0.95	1.50	2.39	2.91	2.85	0.81	0.54	1.24	0.897
Q1	3.13	5.10	5.20	2.57	2.64	3.99	8.96	10.90	3.39	2.74	2.11	3.13	3.53
Q3	1.99	3.04	2.32	1.41	0.98	2.32	5.25	4.32	2.19	1.17	0.96	1.35	2.84

Tableau 3.27. – Méfou à Etoa

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DCI	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1966-67	13/3	1.12	1.12	1.30	2.52	3.90	6.50	11.5	14.6	21.2	06/10
67-68	14/2	0.57	0.76	0.82	1.12	1.80	3.00	5.6	7.6	16.4	16/10
68-69	23/8	0.52	0.71	0.82	1.34	2.52	4.00	6.6	9.0	16.0	02/11
69-70	22/7	1.06	1.12	1,23	1.72	2.76	4.40	7.4	9.9	21.2	04/11
70-71	-	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	27/10
71-72	08/2	0.89	1.18	1.48	1.76	2.69	4.26	7.5	9.8	14.9	12/10
72-73	12/3	0.61	-	-	-	1.92	3.11	7.7	12.7	15.96	27/10
73-74	28/3	0.51	0.64	0.86	1.44	2.14	3.61	7.2	9.0	11.72	24/05
74-75	12/8	0.42	0.54	-	1.56	2.25	3.99	7.3	9.9	11.7	12/10
75-76	22/8	*0.61*	0.78	0.93	1.20	1.92	3.111	6.7	9.7	11.8	22/11
76-77	18/2	0.56	0.68	0.86	1.25	2.14	3.30	8.54	14.12	18.2	07/11
MED.		0.61	0.76	0.89	1.44	2.19	3.80	7.35	9.90	16.00	
ET.		0.32	0.24	0.26	0.43	0.62	1.04	1.57	2.29	3.42	
Q1		1.06	1.12	1.26	1.74	2.69	4.26	7.70	12.70	19.30	
Q3		0.52	0.66	0.84	1.22	1.92	3.11	6.70	9.70	12.70	

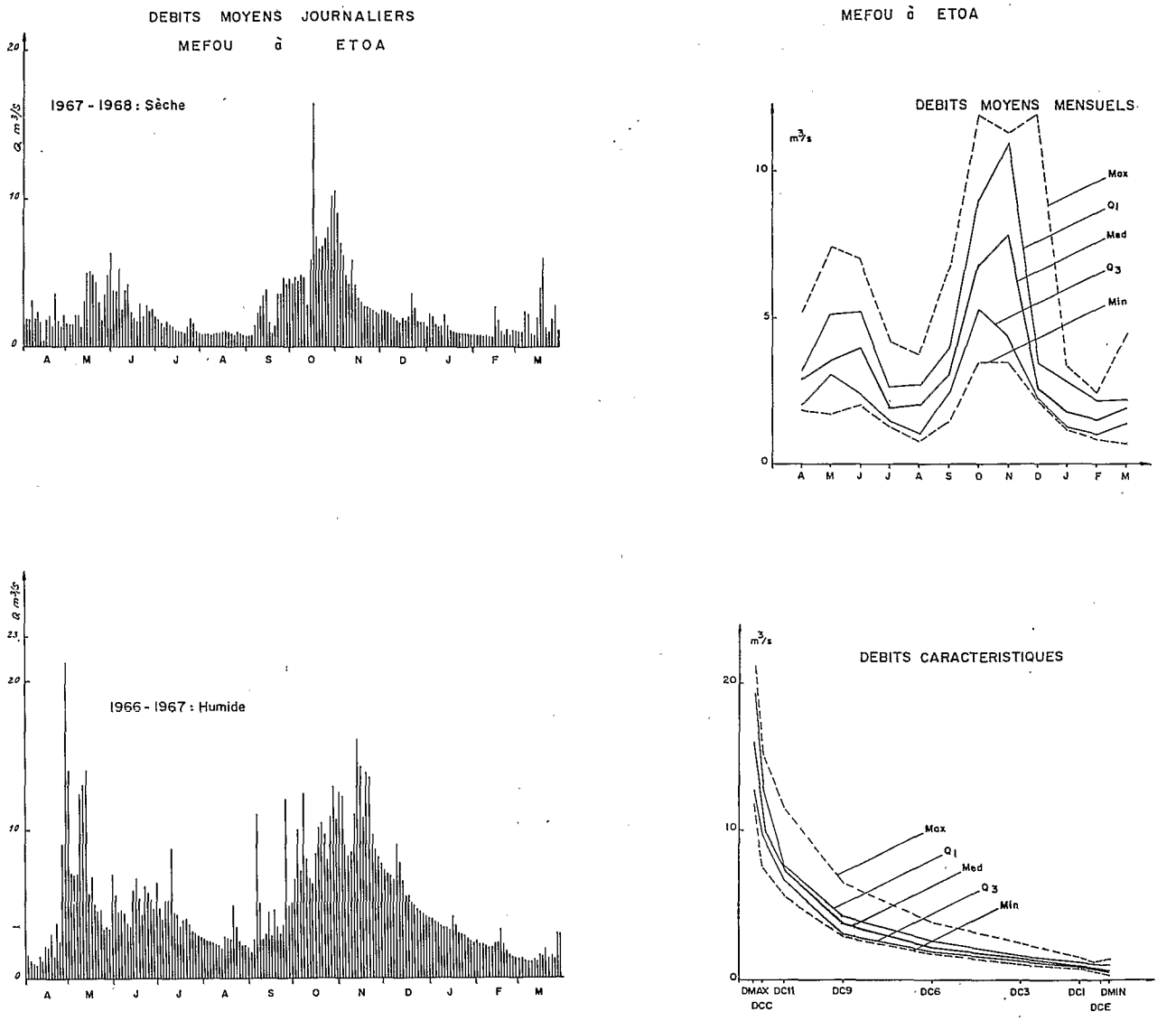


Fig. 3.17. – Méfou à Etoa.

Tableau 3.28. – Méfou à Nsimalen
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J.	F	M	Module
1962-63										4.45	4.31	4.10	
63-64	4.72											3.44	
64-65	6.74	5.58	7.14	4.06	2.62	6.60	10.9	10.8	5.40	3.35	3.82	3.88	5.90
65-66	3.82	4.50	5.32	3.02	3.80	5.50	9.26	7.52	3.60	2.70	1.79	1.51	4.32
66-67	5.72	11.5	8.84	8.20	5.82	9.14	16.8	17.3	11.1	6.54	4.47	4.45	9.12
67-68	5.34	7.37	7.96	3.96	3.02	7.70	13.5	9.46	5.53	3.95	2.96	4.97	6.30
68-69	4.80	8.41	5.80	3.51	2.60	7.67	10.0	13.4	6.42	4.16	3.75	7.89	6.54
69-70	6.19	7.10	4.79	3.55	5.16	8.86	11.8	13.3	6.75	4.00	2.89	6.11	6.71
70-71	5.45	7.45	6.78	4.18	4.92	11.6	16.7	14.9	7.55	5.15	3.95	6.54	7.93
71-72	4.34	6.73	8.20	4.49	3.81	6.03	13.3	7.74	5.63	3.26	2.55	4.79	5.91
72-73	5.68	5.07	7.00	4.27	2.94	5.74	15.6	10.6	5.18	4.13	2.85	3.92	6.08
73-74	5.08	9.07	9.73	7.43	5.96	6.07	9.21	7.76	5.03	2.75	2.13	3.33	6.13
74-75	6.58	4.84	6.73	2.46	3.01	7.39	11.5	10.2	4.24	3.09	3.83	4.54	5.70
75-76	4.63	5.41	4.09	4.37	2.15	3.09	7.32	8.27	3.04	2.05	2.50	3.20	4.17
76-77	4.20	4.25	5.54	2.50	2.20	3.00	8.47	12.1	4.00	3.05	2.25	2.86	4.54
Moy.	5.21	6.73	6.78	4.06	3.02	6.60	11.50	10.60	5.40	3.65	2.93	4.10	6.08
ET.	0.89	2.09	1.64	1.70	1.35	2.36	3.12	3.04	2.07	1.14	0.86	1.58	1.32
Q1	5.72	7.93	8.08	4.43	5.04	8.28	14.55	13.55	6.59	4.16	3.83	4.97	6.64
Q3	4.63	4.95	5.43	3.27	2.61	5.62	9.23	8.02	4.12	3.05	2.50	3.33	5.12

Tableau 3.29. – Méfou à Nsimalen

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1964-65	25/2	1.74									
65-66	26/3	2.10	2.34	2.58	3.25	4.63	7.17	12.41	15.4	19.4	03/11
66-67	20/3	1.00	1.12	1.48	2.34	3.35	5.47	9.05	11.9	17.1	15/11
67-68	08/3	2.76	2.90	3.40	4.81	8.07	12.2	17.9	20.3	22.8	13/11
68-69	24/8	2.13	2.31	2.58	3.55	5.54	8.55	12.8	14.9	20.0	03/11
69-70	05/3	1.80	2.45	2.81	3.65	5.26	8.95	13.7	16.1	22.0	04/11
70-71	31/7	3.15	3.35	3.55	4.34	6.31	9.98	16.1	19.2	21.0	03/11
71-72	25/2	1.70	2.17	2.81	3.45	4.63	6.99	12.8	16.1	20.6	06/10
72-73	11/3	1.60	2.34	2.58	3.25	4.51	7.08	14.7	18.8	20.0	13/10
73-74	08/3	1.48	1.65	2.24	3.70	5.19	7.80	12.8	15.5	19.2	18/06
74-75	04/8	1.53	2.05	2.24	2.90	4.45	7.17	12.3	15.5	18.2	14/10
75-76	07/3	1.28	1.56	1.85	2.27	3.45	5.12	8.35	10.6	16.0	06/11
76-77	13/3	1.28	1.40	1.70	2.41	3.40	4.93	9.67	17.6	21.6	05/11
MED.		1.72	2.31	2.58	3.45	4.63	7.17	12.8	16.10	20.0	
ET.		0.59	0.62	0.61	0.75	1.29	2.01	2.67	2.70	1.92	
Q1		2.13	2.49	2.85	3.67	5.40	8.75	14.2	18.2	21.3	
Q3		1.48	1.60	2.05	2.65	3.95	6.23	11.0	15.1	18.7	

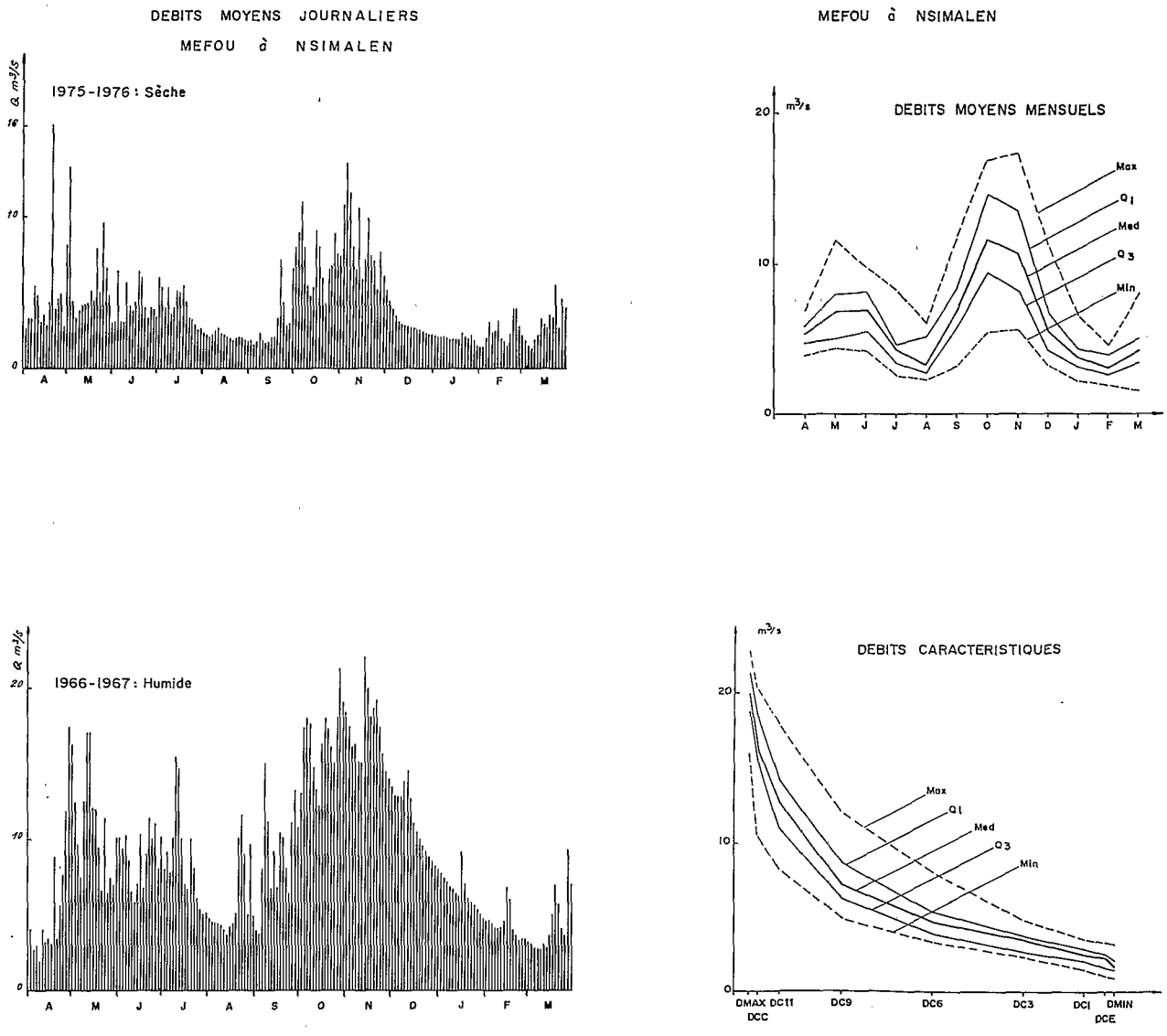


Fig. 3.18. – Méfou à Nsimalen.

Le module moyen (25 ans) est de 442 m³/s, soit 16,74 l/s.km².

L'étiage absolu médian est de 74,8 m³/s, soit 2,83 l/s.km².

Le minimum observé est de 31,0 m³/s, soit 1,14 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 1 356 m³/s, soit 51,4 l/s.km².

Le maximum observé est de 1 930 m³/s, soit 73,1 l/s.km², mais il y a lieu de souligner que les plus fortes valeurs caractéristiques ont été observées au cours de l'année douteuse 1962-63, ce qui en diminue beaucoup la crédibilité.

2.2.2.2. Stations de la Mefou

La Mefou à Etoa (235 km²)

Sur onze années d'observations, on note une absence de relevés en mai 1970 et des relevés douteux en avril 1972 ; le module moyen calculé sur 10 années est de 3,28 m³/s, soit 14,1 l/s.km². L'étiage absolu médian est de 0,610 m³/s, soit 2,6 l/s.km², et le minimum observé est de 0,420 m³/s, soit 1,79 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 16 m³/s, soit 68 l/s.km², et le maximum observé sur la période est de 21,2 m³/s, soit 90,2 l/s.km².

La Mefou à Nsimalen (425 km²)

La série d'observations porte sur treize années complètes.

Le module moyen est de 6,10 m³/s, soit 14,4 l/s.km².

L'étiage absolu médian est de 1,72 m³/s, soit 4,05 l/s.km², l'étiage minimum observé étant de 1,0 m³/s, soit 2,35 l/s.km².

La crue maximum médiane atteint 20 m³/s, soit 47 l/s.km², le maximum observé ayant atteint 22,8 m³/s, soit 53,65 l/s.km².

Dans ces régions forestières, les débits spécifiques de crue pour d'assez petits bassins versants ne sont pas très différents de ceux des grands bassins.

2.2.3. Conclusions

Les stations de la Mefou ne présentent qu'un intérêt secondaire, celui de préciser le régime des rivières issues de la région de Yaoundé (rive droite du Nyong), de l'Afamba à la rivière Liyéké, et à ce titre, l'interprétation des données n'occupe qu'une modeste place par rapport aux données du Nyong.

L'examen des données de base met en évidence des variations saisonnières du Nyong caractéristiques du régime équatorial avec deux saisons sèches et deux saisons humides annuelles. L'influence tropicale boréale se manifeste cependant par la dissymétrie des deux périodes de basses-eaux, celle du début de l'année étant généralement plus marquée et plus prolongée que la seconde. Inversement, la seconde période de hautes-eaux (octobre-novembre) est toujours nettement plus abondante que la première (mai-juin).

Le débit moyen mensuel le plus bas se situe en février ou mars pour la première saison sèche, et en août pour la seconde saison sèche.

Le débit moyen mensuel le plus fort de la première saison des pluies s'observe généralement en juin, mais parfois en mai ou juillet ; pour la seconde saison des pluies, le mois le plus fort de toute l'année se situe le plus souvent en novembre, rarement en octobre.

Toutes ces variations s'articulent, bien entendu, sur celles des précipitations, dont nous avons déjà parlé. L'irrégularité saisonnière est relativement modérée, ce qui constitue une des caractéristiques du régime équatorial par rapport au régime tropical. Le mois le plus faible représente 35 % du module, le mois le plus fort 220 % dans le cas d'Eséka.

Nous avons réuni dans le tableau 3.30 quelques valeurs qui témoignent de l'irrégularité saisonnière : rapport du débit mensuel le plus faible (généralement février, parfois mars) au module, rapport du débit mensuel le plus fort (octobre ou novembre) au module, nombre de mois et de jours pendant lesquels le débit est supérieur au module interannuel.

Tableau 3.30. – Irrégularité saisonnière.

	Débit mensuel le plus faible/module	Débit mensuel le plus fort/module	Durée où Q > Module
Ayos	0.293	2.47	5 mois
Akonolinga	0.237	2.39	5 mois 5 jours
Mbalmayo	0.350	2.31	4 mois 20 jours
Olama	0.32	2.24	4 mois 15 jours
Kaya	0.30	2.19	4 mois 3 jours
Eséka	0.35	2.21	4 mois 12 jours
Dehane	0.33	2.10	4 mois 25 jours
Mefou à Etoa	0.47	2.51	4 mois 15 jours
Nsimalen	0.48	1.89	4 mois 10 jours

Le coefficient d'irrégularité interannuelle ($Cv = E_T/Moy$) est peu élevé au niveau des modules et varie peu d'une station à l'autre ; il est compris entre 0,168 et 0,2, valeurs respectives d'Akonolinga et de Dehane.

Au niveau des débits mensuels, l'irrégularité interannuelle est plus faible en période de hautes-eaux qu'en basses-eaux et devient forte pour les mois de transition (mars). Elle diminue de l'amont vers l'aval, sauf pour la station de Dehane (pour laquelle les apports de la partie aval du bassin constituent un facteur d'irrégularité (cf. fig. 3.19).

La figure 3.20 précise pour le Nyong à Eséka les variations des débits journaliers correspondant à diverses fréquences, observés de 10 jours en 10 jours.

Le tableau 3.31 récapitule quelques données de base caractéristiques observées sur le bassin du Nyong.

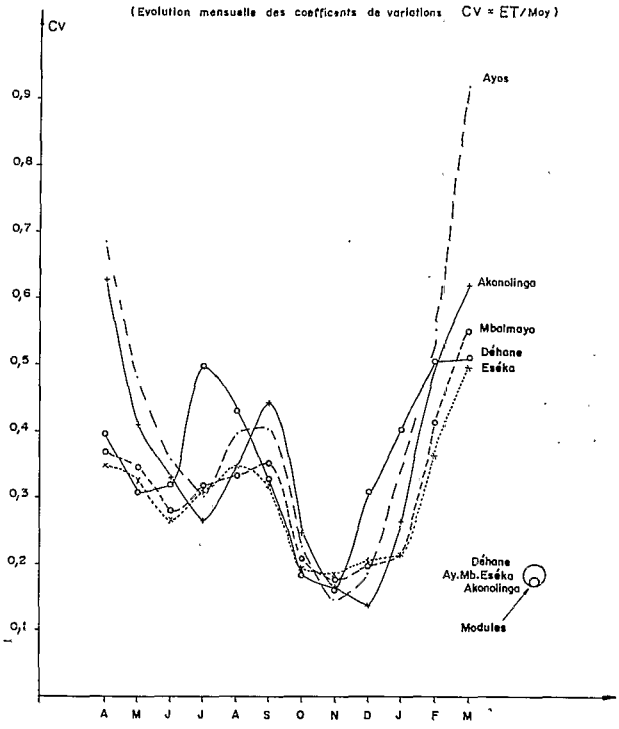


Fig. 3.19. – Irrégularité interannuelle des débits mensuels observés aux cinq stations principales du Nyong.

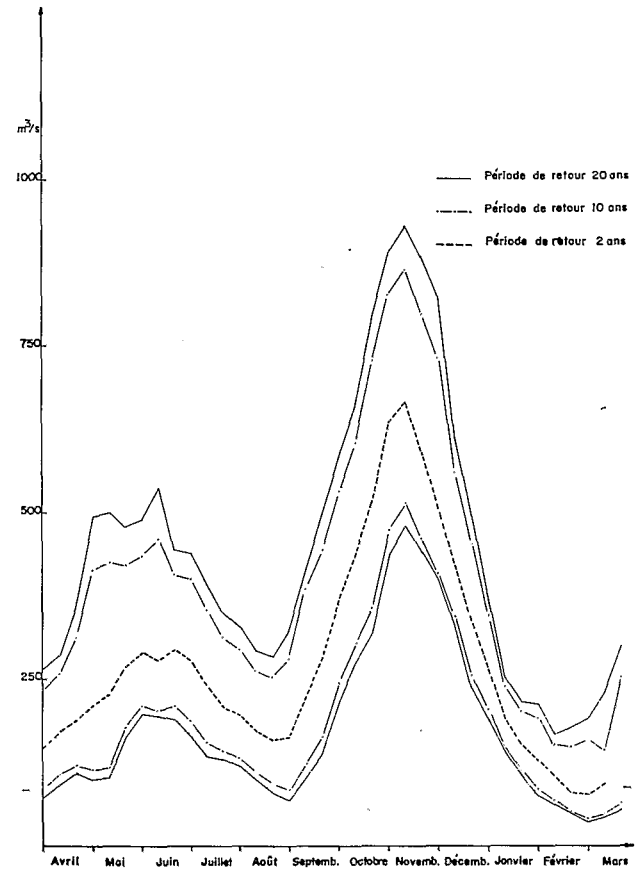


Fig. 3.20. – Débits journaliers en m^3/s correspondant à diverses fréquences (de dix en dix jours).

Tableau 3.31. – Récapitulation des données de base caractéristiques observées sur le bassin du Nyong.

Station	Module interannuel		Etiages absolus				Maximums de crue			
			Débit	Médian	Minimum	Minimorum	Débit	Médian	Maximum	Maximorum
	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$
Abong Mbang	(7.8)	(8.07)	(2.0)	(2.07)	-	-	(24.0)	(24.9)	-	-
Ayos	57.6	10.9	8.1	1.53	3.2	0.60	160	30.2	237	44.7
Akonolinga	93	11.1	14.5	1.74	5.4	0.65	240	28.7	374	44.8
Mbalmayo	154	11.3	26.6	1.96	10.0	0.74	376	27.7	575	42.4
Olama	228	12.3	39.5	2.13	19.0	1.03	638	34.7	786	42.5
Kaya	257	12.9	46.5	2.33	21.5	1.08	654	32.7	834	41.7
Eséka	275	12.7	54.2	2.51	23.7	1.10	937	43.4	1152	53.3
Dehane	442	16.7	74.8	2.83	31.0	1.14	1356	51.4	1930	73.1

3. INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Les données qui précèdent constituent un premier stade de l'analyse du régime hydrologique du Nyong.

Les moyennes, médianes, écarts-types, quartiles et autres paramètres ont été directement déterminés à partir des séries observées. Les tableaux indiquent les variations annuelles des débits mensuels ou des débits caractéristiques, informations non dénuées d'intérêt mais ne permettant que des comparaisons empiriques entre les stations, ou d'une année à l'autre.

Dans cette phase d'interprétation des données, nous allons nous attacher à définir, à partir des séries observées jugées statistiquement représentatives, des paramètres significatifs du régime hydrologique du Nyong et indépendants autant que possible de la période d'observation.

L'analyse statistique que cette détermination implique comprend :
- une étude fréquentielle des débits, de leur date d'apparition pour les étiages et les crues, avec ajustement aux échantillons de différentes lois de distribution, que nous préciserons plus loin ;
- la prédétermination de valeurs de récurrences données et le calcul de leurs intervalles de confiance ;
- la recherche de corrélations entre stations, entre paramètres d'une même station.

Les résultats de cette analyse permettent alors de mieux appréhender le comportement hydrologique du fleuve et de rattacher les éventuelles disparités spatiales au contexte géographique ou climatique du bassin versant.

3.1. Étude des basses-eaux

3.1.1. Étude du tarissement

3.1.1.1. Généralités et calcul des coefficients de tarissement

La grande saison sèche est bien marquée sur le bassin du Nyong. En décembre et janvier, les débits observés correspondent de manière pratiquement exclusive à des débits de vidange des nappes et des chenaux plus ou moins encombrés d'herbes.

Pendant cette période, la décroissance des débits est rarement perturbée, mais dès février, le ruissellement d'averses plus nombreuses peut entraîner des petites crues, et dans le courant du mois de mars, il est assez rare d'observer un tarissement pur prolongé, même si les étiages absolus apparaissent à cette époque.

On admet généralement que la décroissance des débits suit une loi de tarissement exponentielle, de la forme :

$$Q_t = Q_o \, e^{-\alpha(t - t_o)}$$

dans laquelle Q_o est le débit initial à l'instant t_o, $(t - t_o)$ est le temps exprimé en jours entre l'observation du débit Q_o et celle du débit Q_t, et α un coefficient appelé coefficient de tarissement qui a pour dimension l'inverse d'un temps.

Pour chaque année d'observation, les débits de saison sèche de chaque station ont été reportés en ordonnées logarithmiques en fonction du temps exprimé en jours, en abscisses arithmétiques. La courbe exponentielle de décroissance des débits se traduit graphiquement par une droite qui permet un calcul aisé du coefficient de tarissement. La détermination de celui-ci est donc faite à partir de l'ajustement d'une droite (ou de plusieurs droites, si on se trouve en présence de plusieurs lois de tarissement successives) à la série chronologique des débits.

Les figures 3.21 et 3.22 donnent pour quelques stations du Nyong quelques exemples des tarissements observés sur ce fleuve. Le calcul des coefficients de tarissement aboutit pour chaque station à un échantillon de valeurs dont la plus ou moins grande dispersion, autour de la médiane ou de la moyenne, traduit la plus ou moins grande hétérogénéité du comportement des différents aquifères du bassin, d'une année à l'autre. D'une année à l'autre, en effet, le remplissage et l'extension de certaines nappes peuvent varier différemment sur les différentes parties du bassin.

Rappelons que le coefficient de tarissement d'une nappe traduit à la fois ses caractéristiques géométriques (dimensions) et ses caractéristiques physiques (perméabilité). L'application de la loi de Darcy permet d'écrire :

$$\alpha = \frac{KPs}{Sl}$$

dans laquelle K est la perméabilité, P la porosité du matériau aquifère, s la section d'échange nappe-rivière, l la largeur de la nappe et S la superficie du bassin versant.

L'étude du tarissement a été limitée pour le Nyong à la période de basses-eaux de la grande saison sèche. Au cours de la petite saison sèche, on observe parfois de courtes périodes de tarissement. Mais le plus souvent, après la décrue de juin, les débits de juillet-août diminuent de manière très irrégulière (pluies « parasites ») et la détermination des coeffi-

cients de tarissement sur cette période n'est pas très significative d'autant, qu'à la limite, la petite saison sèche peut ne pas être observée.

Dans le tableau 3.32 présenté ci-après, nous avons regroupé les principaux résultats obtenus sur les stations du Nyong.

Le tarissement principal est observé de décembre à février. Le tarissement secondaire n'apparaît que pour quelques stations dans la mesure où la saison sèche se prolonge ; il n'est donc pas observé chaque année. Nous avons indiqué entre parenthèses à la suite de la valeur moyenne du coefficient de tarissement principal les valeurs extrêmes observées (valeurs en jours $^{-1}$).

Nous indiquons aussi le temps nécessaire en jours pour que le débit Q_o passe de 10 à 1($Q\,t = Q_o/10$). Cette valeur que nous préférons à l'indication habituelle $\frac{1}{\alpha}$, temps nécessaire pour que $Q = Q_o/e$, traduit tout aussi bien le tarissement plus ou moins lent du bassin et présente l'intérêt d'être immédiatement utilisable pour la construction d'abaques de droites de tarissement pour des débits initiaux Q_o donnés.

3.1.1.2. Tarissement principal

Les coefficients moyens du tarissement principal sont assez voisins d'une station à l'autre, et compris entre 0,024 et 0,027, sauf pour Akonolinga où il est de 0,021.

La dispersion spatiale de ces valeurs est de loin inférieure à celle qui a été relevée pour chaque station sur la période d'observation ; elle peut être aussi en partie imputable à des échantillons de tailles différentes (Kaya, Olama).

L'interprétation des variations de α de l'amont vers l'aval doit être faite avec réserves. Il semble cependant que quelques traits significatifs apparaissent dans cette analyse.

Tableau 3.32. – Coefficients de tarissement sur le bassin du Nyong.

Stations du Nyong	Tarissement principal			Tarissement secondaire	
	Coefficient de tarissement		Nombre de jours t1 pour que $Q_{t1} = Q_o/10$	Coef. $\alpha 2$	Nombre de jours t2 pour que $Q_{t2} = Q_o/10$
	Valeur moyenne $\alpha 1$	Valeurs extrêmes (max ; min)			
Ayos	0.0261	(.0339 ; .0168)	88	0.0540	42.5
Akonolinga	0.0207	(.0280 ; .0142)	111	0.0513	45
Mbalmayo	0.0241	(.0315 ; .0141)	95	0.0494	46
Olama	0.0268	(.0333 ; .0230)	87	-	-
Kaya	0.0239	(.0291 ; .0181)	96	(0.0396)	(58)
Eséka	0.0261	(.0311 ; .0207)	88	-	-
Dehane	0.0266	(.0315 ; .0227)	86	-	-
Stations de la Mefou(1)					
Mefou à Etoa	(0.0192)		(120)		
Mefou Nsimalen	(0.0157)		(147)		

(1) Le tarissement lent de la Mefou est dû, dans la mesure où il est observé, à l'alimentation soutenue de la rivière par le barrage du Mopfou et les eaux usées du Mfoundi drainant Yaoundé.

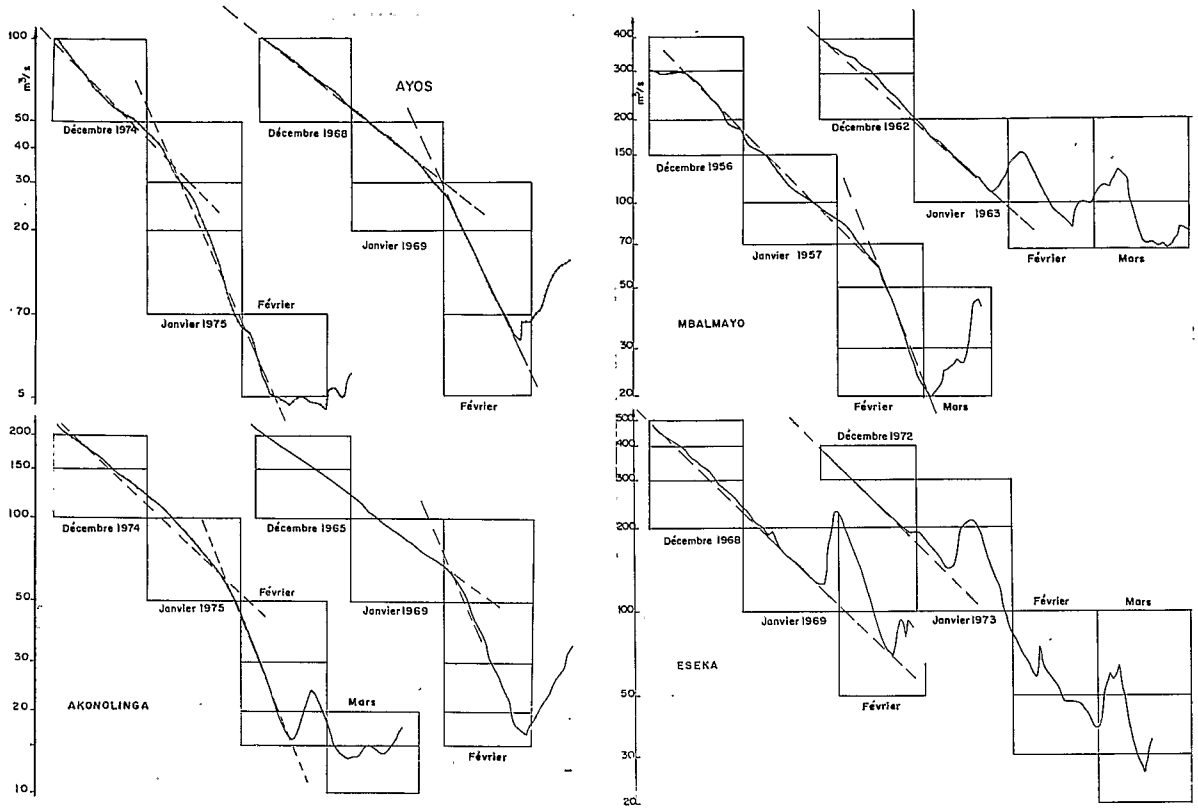


Fig. 3.21. – Exemples de tarissement sur quelques stations du Nyong.

Ainsi, entre Ayos et Akonolinga, le passage de α de 0,026 à 0,021, conduisant à un tarissement plus lent, serait imputable à l'affluent Lon Mafok, qui draine la région de Messamena, et dont le bassin versant pourrait être constitué de sols plus imperméables et posséder des aquifères plus importants que sur le Haut-Nyong. A Mbalmayo, le tarissement est redevenu plus rapide, $\alpha = 0{,}024$; les affluents du type Afamba, Ato (R.D.) auraient des réserves d'extension plus réduites. Ce phénomène serait encore plus marqué avec les affluents de rive gauche Soo, Soumou et Kama ; $\alpha = 0{,}027$ à Olama.A Kaya, α revient à 0,024 (Akono, Liyeke). A Eséka, puis à Dehane, le tarissement est plus rapide (0,026 et 0,027) ; ceci peut être dû au relief et à la densité du chevelu hydrographique qui limitent dans la moitié aval l'extension des petites unités hydrogéologiques.

En conclusion, l'évolution du tarissement, d'Ayos à Dehane, montre que le bassin du Nyong ne possède pas de nappe généralisée et que les débits de basses-eaux sont fournis, comme pour la Sanaga, par la vidange de multiples petites nappes individuelles dont les variations de taille, de perméabilité et de remplissage d'une année à l'autre suffisent à expliquer les variations dans le temps et dans l'espace des coefficients de tarissement.

3.1.1.3. Tarissement secondaire

Ce tarissement secondaire s'observe sur les stations amont du Nyong. Il est plus rapide que le tarissement principal, mais son observation dépend de la durée de la saison sèche. Il apparaît généralement dans le courant du mois de février si les pluies ne sont pas trop importantes.

Ce phénomène couramment remarqué au Cameroun, notamment pour les cours d'eau traversant des zones marécageuses, est difficile à interpréter. En général, on observe que les nappes à fort coefficient de tarissement tarissent les premières, laissant aux nappes à coefficients plus faibles le soin de fournir les débits de basses-eaux dans la seconde partie de la saison sèche.

Ici donc, le tarissement rapide apparaît en fin de saison sèche. Une des explications les plus vraisemblables du phénomène impliquerait une diminution de la largeur moyenne de l'aquifère drainé par la rivière. Ceci suppose une inversion du sens dominant de l'écoulement de la nappe sur une partie de celle-ci, les débits de la rivière n'étant plus fournis que par le drainage d'une bande étroite de l'aquifère. Une autre hypothèse a été envisagée : le première partie du tarissement pourrait correspondre à la vidange

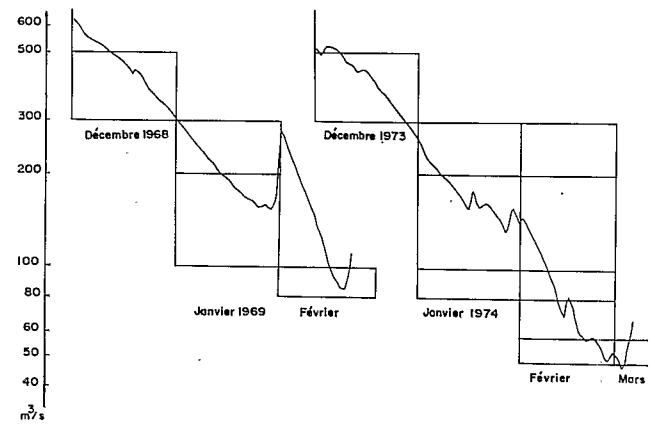


Fig. 3.22. – Exemples de tarissement sur le Nyong à Dehane.

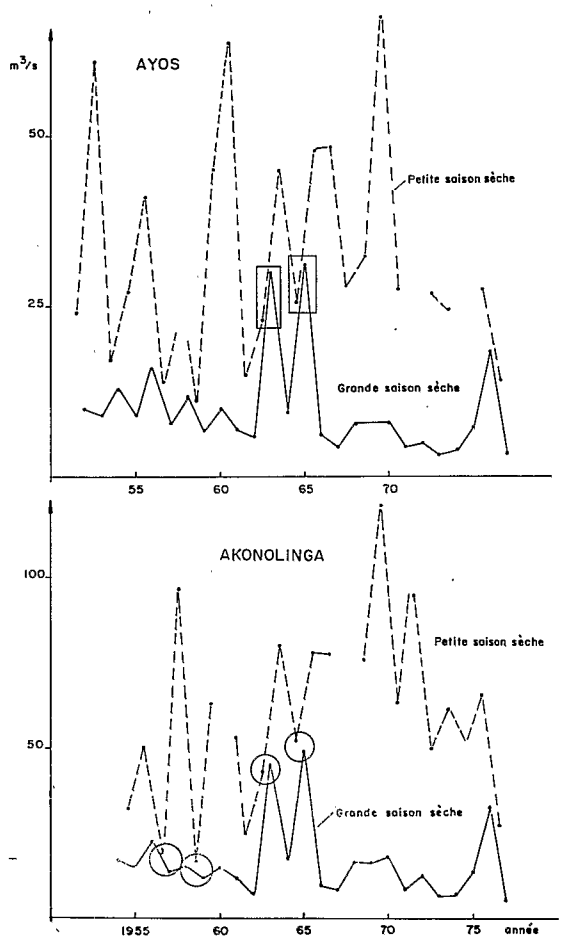


Fig. 3.23. – Comparaison des étiages de grande et petite saison sèche.

relativement lente des réservoirs naturels, créés par les barrages d'herbes à Abong-Mbang et en amont. Le passage au deuxième tarissement traduirait alors la seule vidange des nappes et la fin de la vidange des réservoirs naturels. Dans cette optique, nous avons recherché dans les variations des hauteurs d'eau de la station d'Abong-Mbang à quelle époque se situait une éventuelle stabilisation des cotes du plan d'eau, significative de l'épuisement des réserves accumulées en amont des barrages d'herbes. Aucune liaison n'apparaît, soit que le niveau du plan d'eau à la station d'Abong-Mbang diminue régulièrement, soit qu'une tendance à la stabilisation soit bien observée, mais pas en concomitance avec les variations du tarissement aux stations aval. Mais les observations d'Abong-Mbang (cf. 2.2.2.1) sont peu significatives ; de fait, l'absence de liaison entre Abong-Mbang et Ayos n'entraîne pas automatiquement le rejet de l'hypothèse envisagée.

Ce deuxième tarissement apparaît à partir d'un certain seuil de débit, régulier pour chaque station, d'une année à l'autre. Ainsi, ce débit-limite se situe entre 30 et 35 m³/s, pour Ayos, entre 50 et 60 m³/s pour Akonolinga, et autour de 60 m³/s pour Mbalmayo où il apparaît d'ailleurs moins nettement. Il correspondrait à un niveau de base de drainage à partir duquel seule la zone marécageuse voisine du cours d'eau alimente celui-ci.

On notera que le tarissement secondaire n'est pratiquement plus observé à Olama et à Kaya (valeur donnée pour 4 années seulement), et a disparu pour Eséka et Dehane, où la saison des pluies plus précoce limite la durée de la période de tarissement.

Les coefficients moyens de tarissement de fin de saison sèche diminuent de l'amont vers l'aval, ce qui tend bien à montrer le rôle essentiel joué par les zones marécageuses, dont l'extension n'est importante que sur le cours supérieur du Nyong.

3.1.1.4. Conclusions

Sur le bassin du Nyong, il est rare que l'étiage absolu corresponde à un débit de tarissement pur. L'étiage absolu survient généralement après quelques

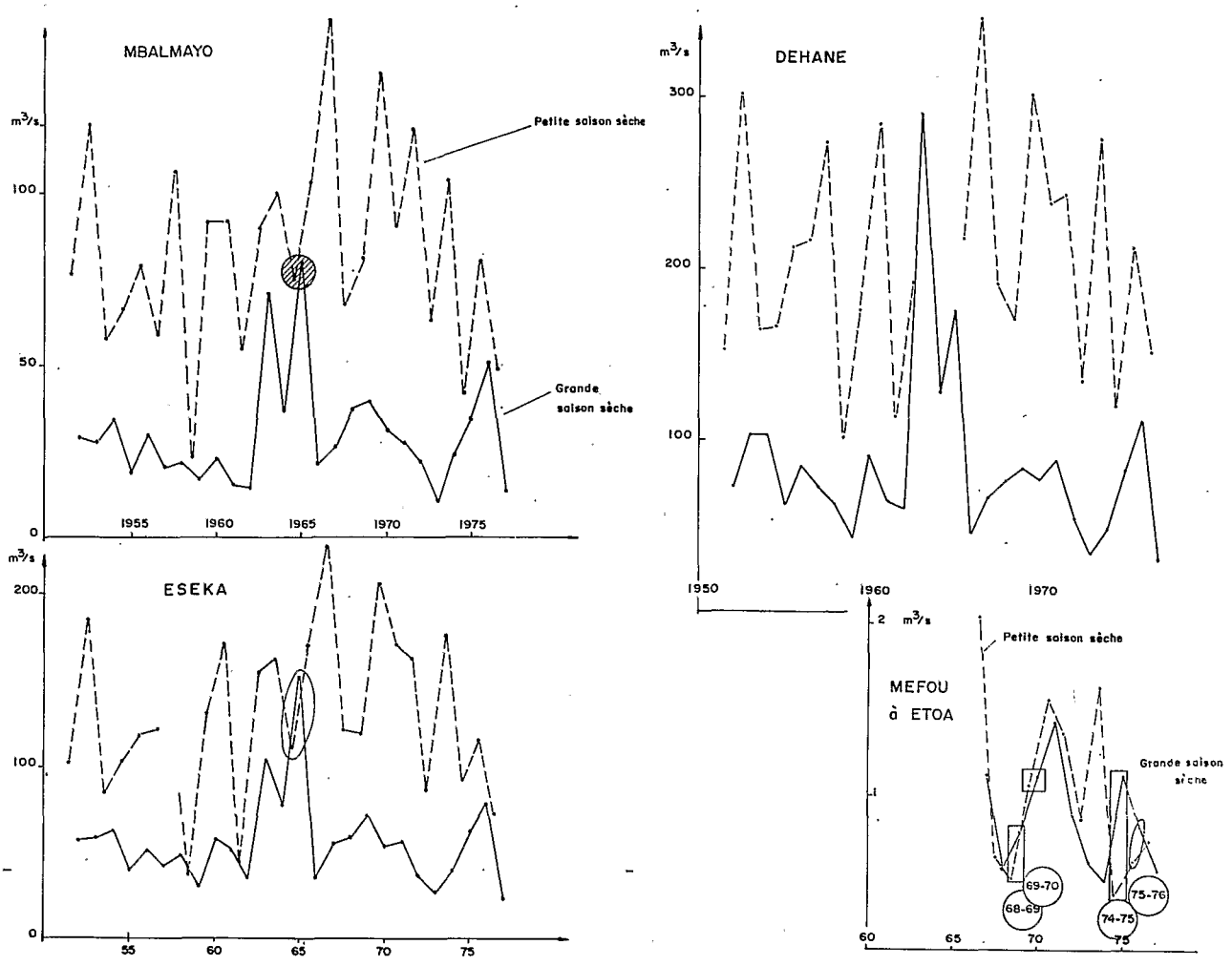


Figure 3.24. – Comparaison des étiages de grande et petite saison sèche.

épisodes pluvieux mineurs qui ont cependant suffi à perturber le tarissement, et est bien entendu plus élevé que le débit de tarissement pur qui aurait pu être observé à la même date.

Les variations du coefficient de tarissement, d'une année à l'autre, rendent difficile par ailleurs la précision des débits pour les dates données à partir d'un débit initial de tarissement, l'utilisation du coefficient moyen pouvant conduire à des résultats divergeant beaucoup de la réalité. Par ailleurs, le débit initial Q_o pris à une date donnée (1er décembre) doit correspondre à un débit de tarissement pur, ce qui n'est pas toujours le cas lorsque la saison des pluies précédente a été très abondante ou s'est prolongée tardivement.

En conclusion, si l'étude du tarissement permet de préciser le comportement hydrologique des bassins du Nyong, elle présente peu d'intérêt sur le plan de la prévision des débits d'étiages.

3.1.2. Analyse statistique des étiages

3.1.2.1. Comparaison des étiages minimum de grande et petite saison sèche

Le climat équatorial de transition nord donne lieu à deux saisons sèches d'inégale importance, la grande saison sèche se situant de décembre à mars, la petite saison sèche étant observée en juillet-août. Les périodes de basses-eaux suivent bien entendu le même schéma et la prédominance de la grande saison sèche est mise en évidence dans le tableau 3.33, donnant le nombre d'observations de l'étiage absolu en grande et petite saison sèche.

Tableau 3.33.

Station	Grande saison sèche	Petite saison sèche	N. années
Ayos	24	2	26
Akonolinga	23	1	24
Mbalmayo	26	1	27
Olama	12	0	12
Kaya	12	0	12
Eséka	24	1	25
Dehane	25	1	26
Etoa	6	4	10
Nsimalen	10	3	13

Grosso modo, l'étiage absolu apparaît dans 95 % des cas au cours de la grande saison sèche, sur les stations du Nyong, mais seulement dans 75-60 % des cas sur la Mefou, dont les bassins plus petits sont évidemment plus sensibles à une petite saison sèche bien marquée. Une série de graphes (fig. 3.23 et 24) montre l'évolution des étiages des deux saisons sèches pour la période d'observation. D'une manière générale, les débits minimums de la petite saison sèche sont nettement supérieurs aux débits de la grande saison sèche. Ceci apparaît nettement dans le tableau 3.34 avec les valeurs de l'étiage absolu moyen observé à chaque station, les minimums de grande et petite saison sèche, et leurs écarts-types respectifs.

On constate aussi une assez faible divergence entre les résultats des étiages absolus et ceux des minimums de grande saison sèche (les fortes valeurs de Olama et Kaya pour la petite saison sèche sont imputables à l'échantillon réduit de données).

Tableau 3.34. – Moyennes observées des étiages du Nyong et écarts-types correspondants.

Etiages	Ayos	Akonol.	Mbalmayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
Etiage absolu							
Moyenne	9.46	16.5	29.5	37.2	43.3	54.8	81.3
Ecart-type	5.67	10.9	15.8	12.8	15.4	21.6	38.2
Etiage de grande saison sèche							
Moyenne	9.97	16.6	29.7	37.2	43.3	56.5	85.1
Ecart-type	7.14	11.0	16.4	12.8	15.4	26.4	52.1
Etiage de petite saison sèche							
Moyenne	33.0	59.4	83.7	*111.9*	*136.6*	130	206.1
Ecart-type	16.7	27.3	29.3	*40.3*	*48.8*	48.2	65.8

(1) Les valeurs indiquées en italiques sont approximatives.

3.1.2.2. Éventualité d'apparition des débits minimums

Date d'apparition du minimum de petite saison sèche

Dans le cas de la petite saison sèche, la date d'apparition de l'étiage absolu de l'année se situe généralement fin août ou même en septembre pour les stations de l'amont. Le minimum de la petite saison sèche ne devient en fait l'étiage absolu qu'en cas de retard exceptionnel de la grande saison des pluies. La date d'apparition du minimum de petite saison sèche se répartit comme suit (décomptée par décades).

Tableau 3.35

Station (n années) \ Mois	Juil.	Août			Sept.	
n° décade	3	1	2	3	1	2
Ayos (23)	1	0	3	7	7	5
Akonolinga (21)	3	1	1	4	6	6
Mbalmayo (26)	3	3	2	8	8	2
Kaya (12)	2	1	3	3	3	0
Olama (12)	3	1	1	3	3	1
Eséka (24)	4	1	4	9	4	2
Dehane (25)	6	3	8	7	1	0
Etoa (10)	3	0	2	4	2	0
Nsimalen (13)	1	2	5	3	2	0

Le tableau montre que le minimum de petite saison sèche a plus de chance d'apparaître – début septembre à l'amont – dans la deuxième quinzaine d'août à l'aval du bassin du Nyong.

Date d'apparition du minimum de grande saison sèche assimilable à l'étiage absolu

La date d'apparition du minimum de grande saison sèche est intéressante à préciser puisque cet étiage est, dans 95 % des cas, l'étiage de l'année hydrologique considérée.

L'échantillon des dates a été traité statistiquement par ajustement graphique d'une loi normale (Gauss). Les résultats sont indiqués dans le tableau 3-36 (figures 3.25 et 26).

D'une manière générale, le débit minimum apparaît début mars, avec d'autant plus de probabilité que l'on va vers l'aval.

3.1.2.3. Évolution des étiages absolus sur la période d'observation

La période d'observation porte sur 26 ans. L'évolution des étiages absolus a été étudiée pour le Nyong à Mbalmayo et le Nyong à Dehane. Elle est comparable d'une station à l'autre. Le dessin en dents de scie de l'évolution annuelle a été « lissé » par le calcul des moyennes mobiles sur 5 années (fig. 3.27).

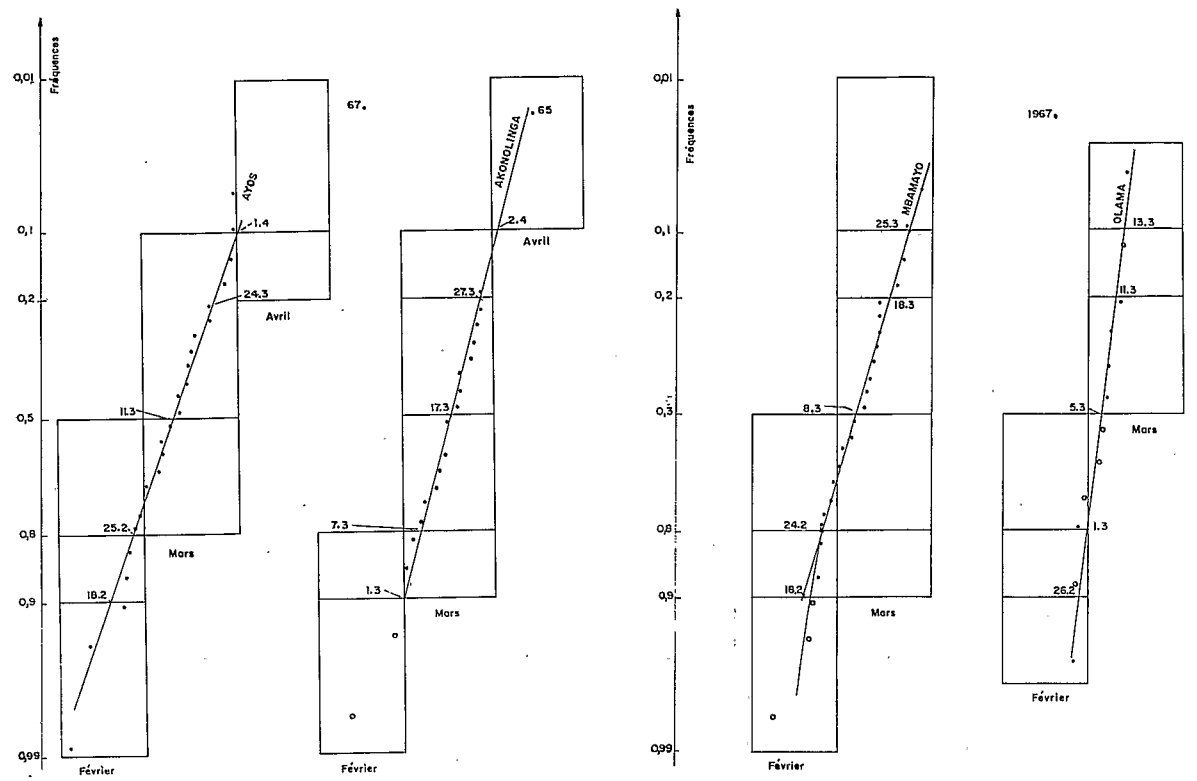


Fig. 3.25. – Étude fréquentielle de la date d'apparition des étiages de grande saison sèche.

Tableau 3.36

Stations	Date médiane	Ecart-type en jours	Limites de période à 60 % d'occurrence	Limites de période à 80 % d'occurrence
Nyong	$t_{Fo,5}$		$\{t_{Fo,8}, t_{Fo,2}\}$	$\{t_{Fo,9}, t_{Fo,1}\}$
Ayos	11/3	17	25/2 - 24/3	18/2 - 1/4
Akonolinga	17/3	12	7/3 - 27/3	1/3 - 2/4
Mbalmayo	8/3	13	24/2 - 18/3	18/2 - 25/3
Olama	5/3	6	1/3 - 11/3	26/2 - 13/3
Kaya	5/3	8	26/2 - 11/3	23/2 - 15/3
Esēka	4/3	11	24/2 - 13/3	19/2 - 18/3
Dehane	6/3	10	26/2 - 13/3	21/2 - 18/3
Mefou				
Etoa	25/2	27	3/2 - 19/3	21/1 - 1/4
Nsimalen	5/3	10	25/2 - 15/3	21/2 - 24/3

L'évolution des moyennes mobiles montre :
- une période d'étiages bas dans la deuxième moitié de la décennie des années 1950 ;
- une période d'étiages soutenus dans la première moitié de la décennie des années 1960, avec diminution progressive jusqu'en 1970 ;
- une période d'étiages bas depuis les années 1970, qui se prolonge jusqu'à aujourd'hui (déficits hydropluviométriques exceptionnels des années 1972, 1973, 1974 et 1977-1978).

On notera cependant que les saisons sèches des années 50 sont plus marquées sur le Nyong à Mbalmayo que celles des années 70, alors qu'on observe le contraire sur le Nyong à Dehane.

Ces variations dans le temps montrent bien que l'on doit considérer avec les réserves d'usage les résultats de stations observées sur une courte période (Kaya, Olama, Mefou).

3.1.2.4. Distribution statistique des étiages absolus

L'étude des lois de distribution des étiages absolus annuels doit tenir compte d'une borne inférieure non nulle, et par suite d'une certaine dissymétrie de la distribution. Cette dissymétrie est positive ; cela signifie que les courbes ont leur concavité tournée vers les débits croissants ; la loi est « hypernormale ou hypergaussique » et le mode (valeur la plus fréquente) est inférieur à la médiane, elle-même inférieure à la moyenne.

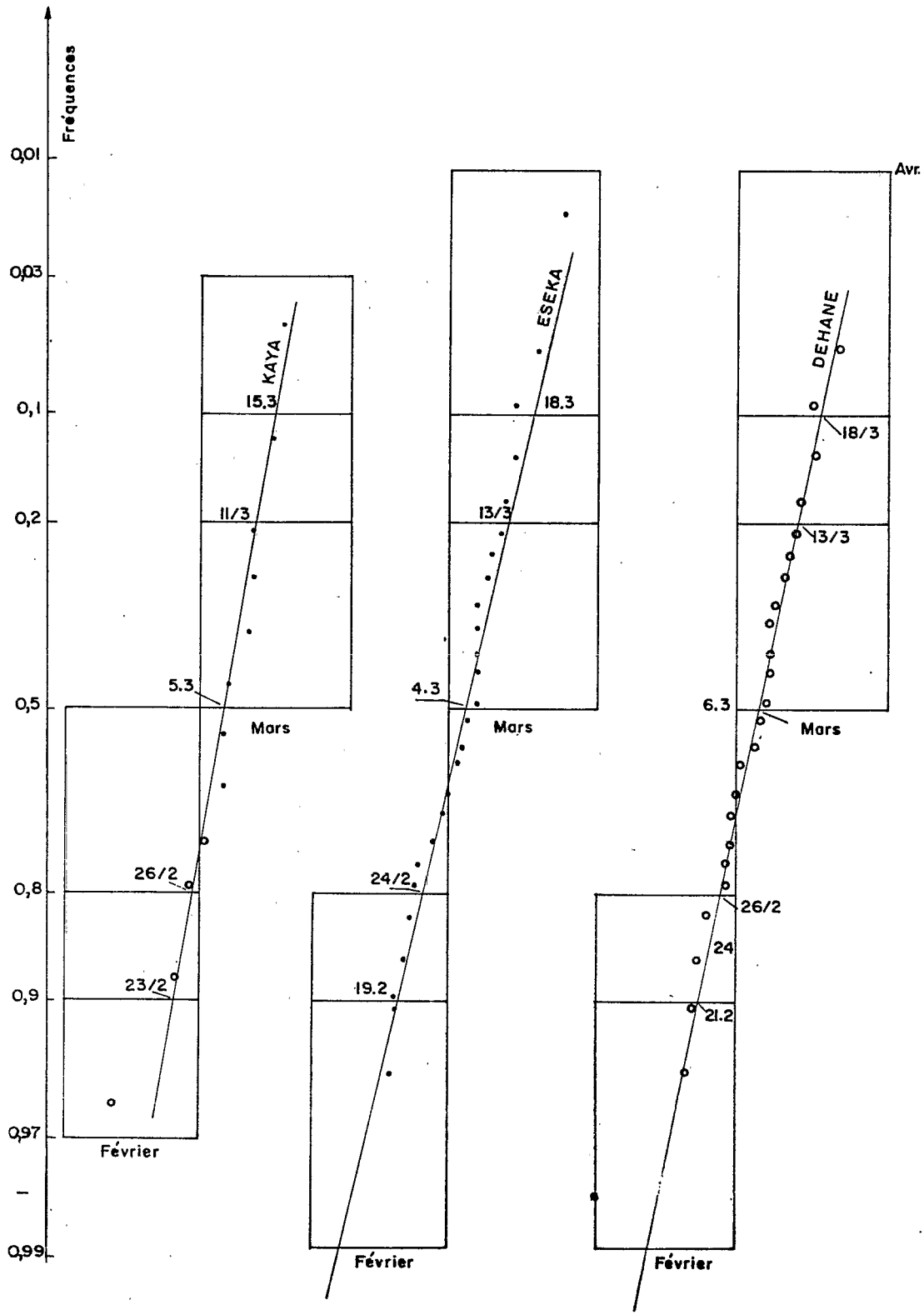


Figure 3.26. – Date d'apparition des étiages de grande saison sèche.

Différentes lois de ce type ont été ajustées à l'échantillon et testées :
- loi de Gauss, normale, pour mémoire,
- loi de Galton,
- loi de Gumbel ou doublement exponentielle,
- loi Gamma incomplète ou Pearson III,
- lois exponentielles généralisées dont la loi de Goodrich et la loi de Fréchet.

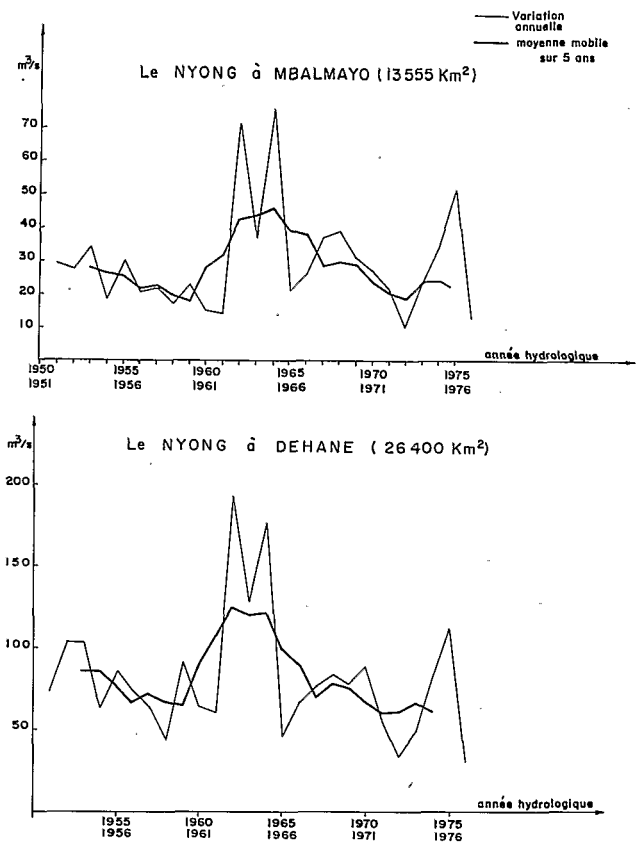


Fig. 3.27. – Évolution des étiages absolus sur la période d'observations.

Les ajustements à ces six distributions ont été déterminés en calcul automatique. Le test du X2 étant généralement inadéquat, le report graphique de l'échantillon et des différentes courbes en diagramme gausso-arithmétique permet à l'opérateur de choisir la loi, la mieux appropriée sur la base de deux tests simples :
- examen de la concordance graphique des valeurs extrêmes avec les branches de courbes significatives (visuellement) de la dissymétrie ;
- entre les fréquences au dépassement 0,9 et 0,10, l'ajustement sera jugé d'autant plus satisfaisant que la ligne joignant les points expérimentaux aura un nombre d'intersections plus important avec la courbe théorique.

Nyong à Ayos

La figure 3.28 reproduit les courbes obtenues à partir de l'ajustement aux six distributions étudiées.

Trois lois peuvent être retenues à l'examen : Goodrich, Galton et Fréchet. Cependant, le test empirique qui a été adopté montre que le choix de la fonction de répartition doit se porter sur la loi de Galton, dont les caractéristiques sont données ci-après (tableau 3.37).

Tableau 3.37.

Paramètre d'échelle s	6.025	Variance	39.238
Paramètre de position q	1.786	Coefficient de variation	0.657
Paramètre de forme	0.709	Coefficient d'asymétrie	2.954
Moyenne	9.533	Coefficient d'aplatissement	18.729
Médiane	7.811	Sy (écart-type de la série	
Mode	5.429	des log)	0.31412

Ce qui donne les résultats suivants pour diverses périodes de retour en années sèches.

Tableau 3.37a.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	7.81	5.10	4.21	3.66	3.19	2.94

Rappelons que le minimum absolu observé est de 3 m^3/s (en 1973) sur 26 années.

Nyong à Akonolinga

Ici encore, les lois de Gauss, de Gumbel et de Pearson III s'adaptent mal à l'échantillon. A un degré moindre, c'est le cas aussi de la loi de Goodrich. Les lois de Fréchet et de Galton sont d'égale probabilité et les résultats ne diffèrent que très peu et seulement à partir des fréquences plus rares que les fréquences centennales (fig. 3.28). On a retenu la loi de Galton.

Les fonctions de répartition et de densité de la loi de Galton ont les caractéristiques suivantes (tableau 3.38) :

Tableau 3.38.

Paramètre d'échelle	9.827	Variance	131.172
Paramètre de position	3.515	Coefficient de variation	0.691
Paramètre de forme	0.755	Coefficient d'asymétrie	3.303
Moyenne	10.583	Coefficient d'aplatissement	24.210
Mode	9.073	Sy (écart-type de la série	
		des log)	0.33490

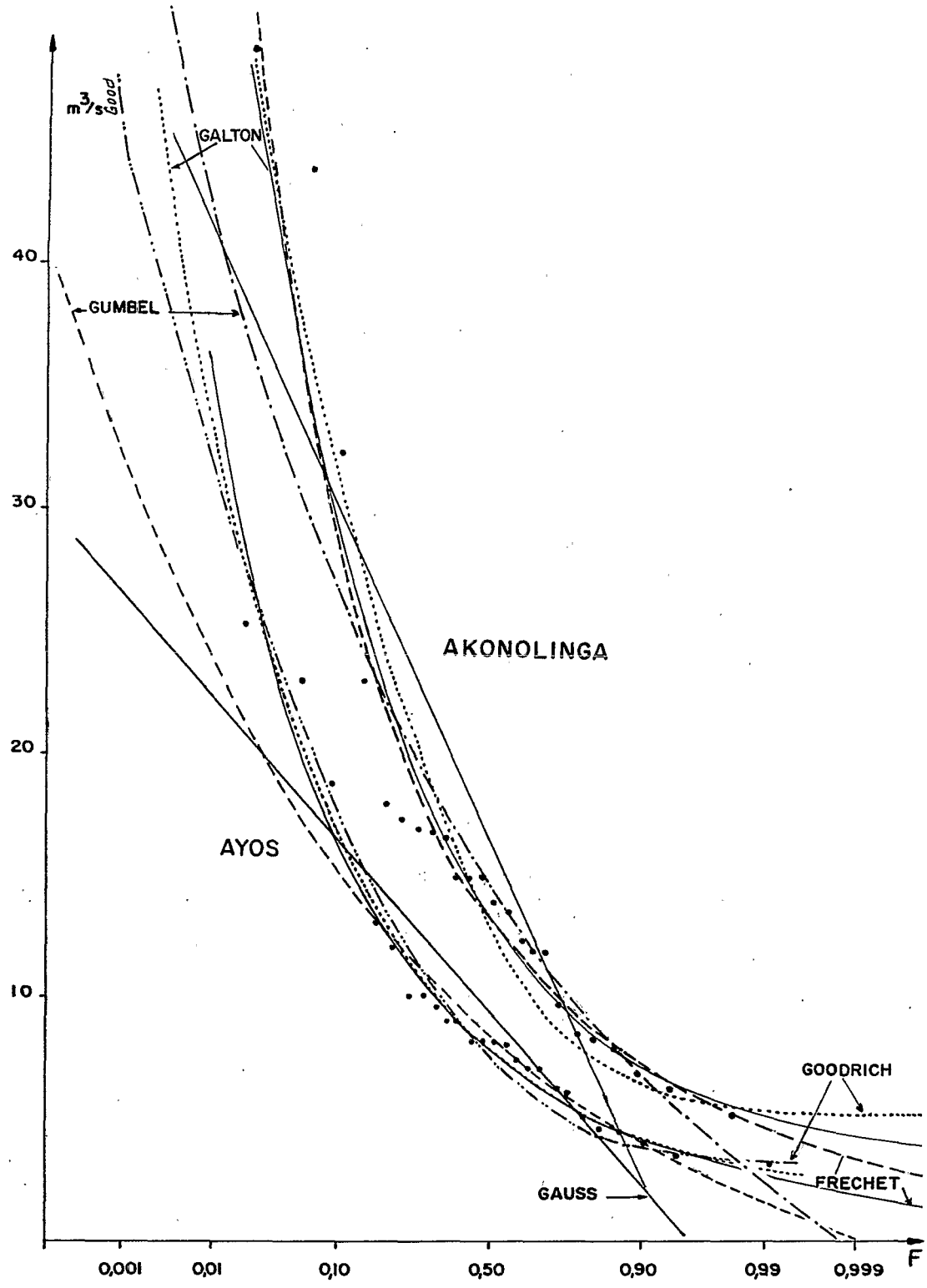


Fig. 3.28. – Étiages absolus du Nyong.
Distribution statistique.

La prédétermination des étiages de périodes de retour données (années sèches) est la suivante :

Tableau 3.38 a.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	13.34	8.72	7.25	6.35	5.60	5.21

Le débit minimal observé sur 24 ans est de 5,4 m^3/s (1977).

Nyong à Mbalmayo

A l'exception de la loi de Gauss, les cinq autres distributions s'ajustent de manière satisfaisante à l'échantillon des débits du Nyong à Mbalmayo, la probabilité étant plus forte pour les lois de Galton et Fréchet (fig. 3.29). Par souci d'homogénéité, la loi de Galton a été retenue. Les caractéristiques des fonctions de répartition et de densité sont données dans le tableau 3.39.

Tableau 3.39.

Paramètre d'échelle	21.560	Variance	247.346
" de position	4.127	Coefficient de variation	0.533
" de forme	0.570	" d'asymétrie	2.098
Moyenne	26.494	" d'aplatissement	8.729
Médiane	25.687	Sy (écart-type de la série	
Mode	19.701	des log)	0.25258

La prédétermination des étiages de périodes de retour données est la suivante (années sèches) :

Tableau 3.39 a.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	25.7	17.47	14.51	12.57	10.81	9.85

L'étiage le plus faible observé est de 10 m^3/s (1973) sur 26 années.

Nyong à Éséka

A l'exception des lois de Gauss et de Fréchet, l'ajustement des autres lois de distribution donne des courbes voisines qui ne divergent que pour des fréquences plus rares que la fréquence décennale sèche. Les lois de Gumbel et de Galton correspondent au meilleur ajustement (fig. 3.30).

Pour la loi de Galton, on a les caractéristiques suivantes, données dans le tableau 3.40.

Tableau 3.40.

Paramètre d'échelle	48.289	Variance	472.856
" de position	2.579	Coefficient de variation	0.396
" de forme	0.399	" d'asymétrie	1.319
Moyenne	54.876	" d'aplatissement	3.247
Médiane	50.868	Sy (écart-type de la série	
Mode	43.750	des log)	0.17701

La prédétermination des étiages de périodes de retour données est la suivante (années sèches) :

Tableau 3.40 a.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	50.87	37.08	31.53	27.62	23.84	21.65

L'étiage observé le plus bas est de 23,7 m^3/s (1977) sur 25 années.

Nyong à Dehane

La distribution des étiages du Nyong à Dehane est assez bien représentée par les cinq lois hypernormales retenues. Le faisceau de courbes est relativement serré (médianes comprises entre 75 et 73,5 m^3/s). Les meilleurs ajustements sont obtenus avec les lois de Galton et de Fréchet (fig. 3.31).

Pour la loi de Galton, on a les caractéristiques suivantes (tableau 3.41) :

Tableau 3.41.

Paramètre d'échelle	67.789	Variance	1 398.742
Paramètre de position	5.675	Coefficient de variation	0.460
" de forme	0.468	" d'asymétrie	1.285
Moyenne	81.301	" d'aplatissement	2.478
Médiane	73.464	Sy (écart-type de la série	
Mode	60.143	des log)	0.20716

La prédétermination des étiages absolus pour des périodes de retour données (années sèches) est indiquée ci-après :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	73.5	51.4	42.9	37.1	31.6	28.5

L'étiage minimum observé sur la période de 26 ans est de 30 m^3/s (1977).

Stations secondaires

Pour ces stations, l'échantillon a un effectif trop réduit pour justifier une analyse détaillée des divers ajustements possibles. De toute évidence, la loi de Galton paraît la mieux appropriée et a été retenue.

Les résultats de la prédétermination des étiages pour diverses périodes de retour sont donnés ci-après.

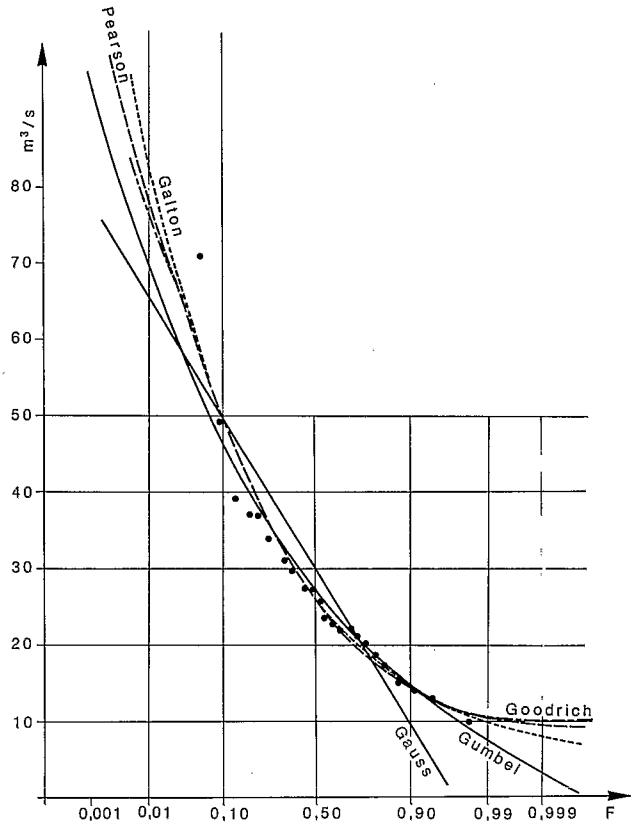


Figure 3.29. – Étiages absolus du Nyong à Mbalmayo. Distribution statistique.

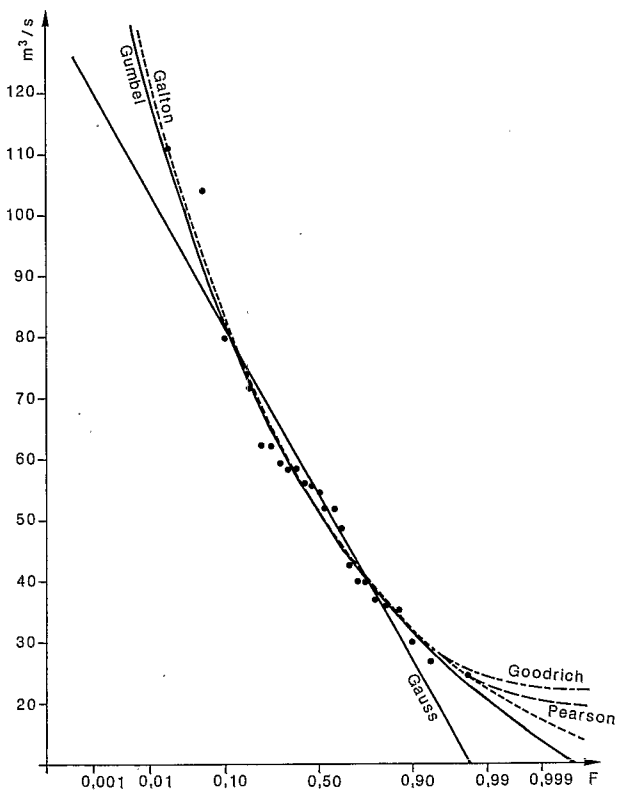


Figure 3.30. – Étiages absolus du Nyong à Éséka. Distribution statistique.

Pour le Nyong à Olama, on a :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	35.9	26.6	22.3	19.1	15.8	13.7

Le coefficient de variation est 0,337.

L'étiage le plus bas observé sur 12 ans est de 19 m^3/s.

Pour le Nyong à Kaya, on a :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Etiage absolu m^3/s	42.6	30.8	25.0	20.4	15.5	12.3

Le coefficient de variation est de 0,341.

L'étiage le plus bas observé sur 12 ans est de 21,5 m^3/s.

On remarquera les limites de crédibilité de ces résultats obtenus sur un échantillon aussi court en comparant les valeurs médianes des 2 stations (20 % de plus pour Kaya, pour un gain de superficie du BV de 8 % seulement) et surtout les valeurs cinquantennale et centennale inférieures à celles d'Olama.

Pour les stations de la Mefou, on trouve les résultats suivants (tableau 3.42) :

Tableau 3.42.

Périodes de retour (ans)	2	5	10	20	50	100
Etiage Mefou-Etoa m^3/s	0.643	0.503	0.461	0.437	0.418	0.408
Etiage Mefou-Nsimalen m^3/s	1.737	1.361	1.208	1.100	0.995	0.934

Avec des coefficients de variations respectifs de 0,548 et 0,318, le débit minimal observé est de 0,420 m^3/s sur 11 ans à Etoa, et de 1 m^3/s à Nsimalen pour 14 années.

Ici encore, ces résultats doivent être pris avec beaucoup de réserves.

3.1.2.5. Signification des résultats

La distribution de Galton est une des distributions les plus communes aux échantillons d'étiages absolus des rivières perennes du Cameroun (et d'ailleurs). Il n'est donc pas surprenant de la retrouver sur les

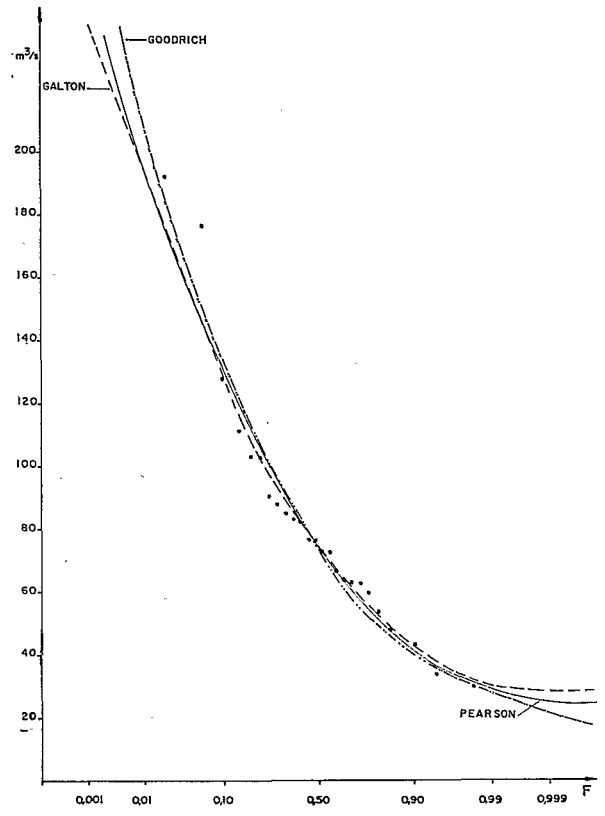


Figure 3.31. – Étiages absolus du Nyong à Dehane. Distribution statistique.

stations du Nyong. La loi de Fréchet permet généralement de bons ajustements et, on l'a vu, donne des résultats comparables à ceux obtenus par la loi de Galton pour une majorité de stations du Nyong. On a remarqué également que les ajustements des échantillons tendent à s'améliorer pour les distributions de Gumbel, Pearson III et Goodrich, lorsque la superficie du bassin augmente. Ces ajustements divergeant essentiellement pour les valeurs extrêmes, on doit bien admettre que la prédétermination d'étiages de diverses récurrences qui a été indiquée voit sa signification diminuer lorsque les récurrences deviennent de plus en plus faibles.

Trois valeurs sont particulièrement intéressantes et peuvent être considérées comme significatives de la distribution des étiages, sur le Nyong ; ce sont la **moyenne**, la **médiane** et l'**étiage décennal sec.**

Du fait de la dissymétrie hypergaussique, la moyenne est toujours supérieure à la médiane : les débits extrêmes augmentent davantage pour les fortes valeurs qu'ils ne diminuent pour les faibles valeurs.

La moyenne est représentative du débit moyen d'un échantillon théoriquement infini.

La médiane indique le débit qui ne sera pas dépassé une année sur deux (F = 0,5).

L'étiage décennal sec indique le débit non dépassé une année sur 10 (dans les graphes, dépassé 9 fois sur 10, F = 0,9).

Ces valeurs sont connues avec une approximation dépendant du degré de confiance retenu et de la taille de l'échantillon d'observations, intervalles de confiance que nous allons préciser.

Intervalles de confiance

L'intérêt de la loi de Galton est de dériver directement de la loi normale classique de Gauss par transformation logarithmique de la variable débit. Aussi, la variable transformée $y_i = \log (x_i - x_o)$ suit une loi normale et il est alors relativement aisé de procéder à une évaluation des intervalles de confiance des différentes valeurs prédéterminées pour diverses récurrences.

Le calcul de ces intervalles implique la connaissance de x_o, paramètre de position, de $\bar{y}$ et S_y, moyenne et écart-type de la série des logarithmes. L'intervalle de confiance Δy_i (1), ramené à y_i et transformé en valeurs arithmétiques indiquant des débits, devient bien entendu dissymétrique par rapport à la valeur calculée.

Pour des échantillons d'effectif inférieur à 30, t est donné par les tables de Student en fonction de $\nu = N - 1$ et de l'intervalle de confiance choisi. Pour des échantillons de la taille de ceux recueillis sur le Nyong, on retient généralement un intervalle de confiance à 80 %, indiquant que la valeur vraie a 80 chances sur 100 de se trouver dans l'intervalle calculé. De 24 à 26 valeurs annuelles de débits, t varie peu et est voisin de 1,32 (pour IC 80 %).

Le calcul des intervalles de confiance à 80 % a été fait pour les 5 stations principales du Nyong, pour l'étiage moyen, l'étiage médian et l'étiage décennal. Les résultats sont donnés dans le tableau 3.31.

On notera que le débit moyen varie à :

Ayos de	– 14 % à + 17 %
Akonolinga de	– 15 % à + 19 %
Mbalmayo de	– 12 % à + 14 %
Eséka de	– 10 % à + 11 %
Dehane de	– 11 % à + 12 %.

On notera que pour Ayos, Akonolinga et Mbalmayo, la moyenne calculée n'est pas comprise dans l'intervalle de confiance à 80 % de la médiane, et vice versa (hypernormalité plus marquée qu'aux stations aval).

Signalons que ce chapitre donne les éléments nécessaires au calcul des intervalles de confiance d'étiages d'autres récurrences.

(1) $\Delta y_i = \pm t \frac{Sy}{\sqrt{2N}} \sqrt{u^2 + 2}$ expression dans laquelle $u = (y_i - \bar{y})/S_y$ et t, paramètre de Student, dépend du degré de confiance choisi et de l'effectif N de l'échantillon.

Tableau 3.43. – Étiages absolus du Nyong – Récapitulation de l'étude statistique.

Stations	Débits en m^3/s						Débits spécifiques en $l/s.km^2$			Rapport Etiage Décennal / Et. médian
	Moyenne		Médiane		Etiage décennal sec		Moyenne	Médiane	Etiage Décennal	
	Calculée	IC à 80 %	Calculée	IC à 80 %	Calculé	IC à 80 %				
Nyong à Ayos	9.53	8.18-11.18	7.81	6.78- 9.05	4.21	3.67- 4.91	1.80	1.47	0.79	0.537
Akonolinga	16.58	14.06-19.71	13.34	11.50-15.61	7.25	6.34- 8.45	1.99	1.60	0.87	0.544
Mbalmayo	29.5	25.0 -33.7	25.7	22.7 -29.2	14.5	12.6 -16.8	2.18	1.90	1.07	0.563
Eséka	54.9	49.5 -60.9	50.9	45.9 -56.4	31.5	27.6 -36.0	2.54	2.36	1.46	0.619
Dehane	81.3	72.4 -91.4	73.5	66.6 -82.4	42.9	37.2 -49.6	3.08	2.78	1.63	0.586
Olama[1]	37.3	*43.9*	35.9	*40.0*	22.3	*24.2*	2.02 *2.37*	1.90 *2.16*	1.20 *1.31*	0.619 *0.606*
Kaya	43.3	*49.0*	42.6	*45.0*	25.0	*27.4*	2.17 *2.45*	2.13 *2.25*	1.25 *1.37*	0.587 *0.609*
Mefou Etoa	0.768		0.643		0.461		3.27	2.74	1.96	0.715
Mefou Nsimalen	1.843		1.737		1.208		4.34	4.09	2.84	0.694

(1) Olama et Kaya : les valeurs en italiques constituent les valeurs les plus probables. Elles ont été obtenues à partir de la comparaison des étiages des 5 stations principales.

Irrégularité interannuelle

Dans la dernière colonne du tableau 3.31 est indiquée la valeur du rapport, étiage décennal sec/étiage médian. Ce rapport exprime l'irrégularité interannuelle, d'autant plus faible qu'il se rapproche de 1.

Il augmente de l'amont vers l'aval, avec la superficie du bassin et la richesse de l'aquifère drainé. La valeur de Dehane, plus faible que celle d'Eséka, traduit sans doute l'influence du régime hydrologique aval sur le régime général du Nyong.

Pour la Mefou, les valeurs mentionnées indiquent une régularisation du régime de basses-eaux.

Étiages absolus spécifiques

Ceux-ci ont été indiqués pour la moyenne, la médiane et l'étiage décennal sec dans la seconde partie du tableau.

Pour ces trois étiages, le débit spécifique augmente régulièrement de l'amont vers l'aval, de l'est vers l'ouest, ce qui correspond à une pluviométrie plus importante vers l'Océan avec notamment un démarrage plus précoce de la saison des pluies, qui abrège d'autant la période des basses-eaux (fig. 3.32).

Cette relation entre étiages spécifiques permet de corriger les valeurs calculées pour Olama et Kaya, sur 13 ans, et de la ramener aux valeurs plus probables indiquées dans le tableau entre parenthèses, puis transformées en m^3/s. On notera les fortes valeurs obtenues sur le bassin de la Mefou ; il convient de rappeler ici, comme pour le tarissement, les perturbations apportées à l'écoulement naturel de cette rivière, dues au barrage de la Mefou, avec débit de base de lâchure relativement constant, et au drainage de la ville de Yaoundé, dont le Mfoundi est le collecteur principal des eaux usées.

La figure 3.32 indique aussi les débits spécifiques moyen, médian et décennal sec, pour des débits caractéristiques non dépassés pendant 10 jours et 1 mois, en fonction de la superficie des bassins. Ces valeurs ont été déterminées à partir des résultats du paragraphe suivant.

3.1.2.6. Relations entre l'étiage absolu et les débits caractéristiques d'étiage

La connaissance des basses-eaux ne se limite pas à celle de l'étiage absolu et du tarissement. Il est intéressant de connaître aussi la liaison existant entre l'étiage absolu et les débits caractéristiques d'étiage.

Dans ce but, une étude de régressions linéaires a été faite pour les stations principales entre les étiages absolus d'une part et les débits correspondants non dépassés pendant 10 jours (DCE) et non dépassés pendant 1 mois (DC1). Outre les paramètres de la droite de régression ($DC = a\,D_{MIN} + b$) permettant la détermination des débits caractéristiques à partir d'un étiage absolu donné, nous indiquons la valeur du coefficient de corrélation qui traduit le degré de perfection de l'ajustement, et par suite la confiance que l'on peut accorder aux déterminations effectuées.

Ces résultats sont réunis dans le tableau 3.44, avec indication des valeurs DCE et DC1, correspondant aux étiages absolus moyen, médian et décennal sec (cf. fig. 3.32 pour débits spécifiques correspondants).

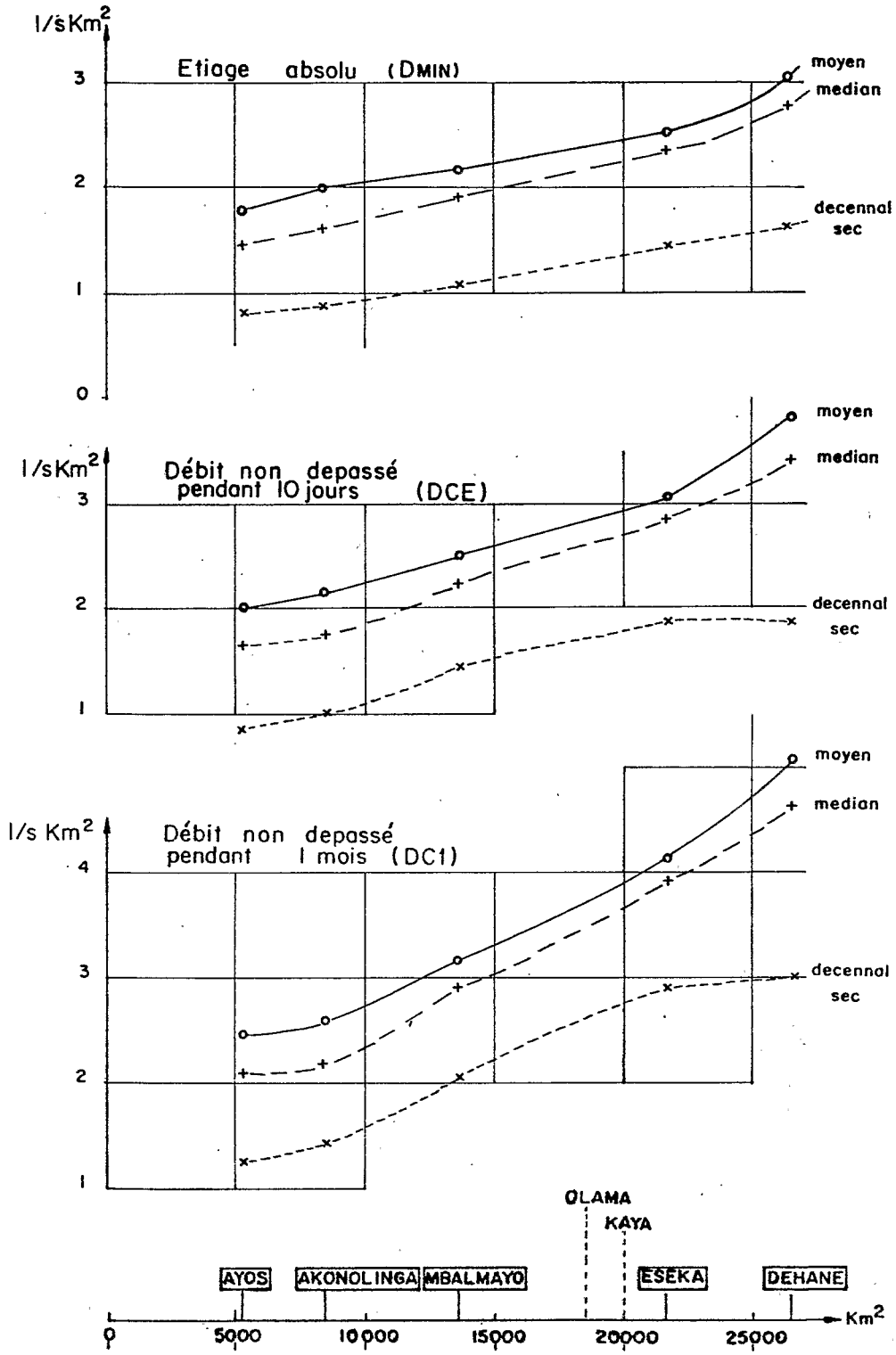


Figure 3.32. – Débits spécifiques d'étiage et superficie des bassins (Nyong).

Tableau 3.44.

Station	DC	Paramètres a b m^3/s	Coef. de corrélation r	DC moyen m^3/s	DC médian m^3/s	DC décennal sec m^3/s
Ayos	DCE	1.137 - 0.244	0.990	10.6	8.64	4.54
	DCI	1.226 + 1.343	0.945	13.0	10.9	6.51
Akonolinga	DCE	1.009 + 1.218	0.994	18.0	14.7	8.53
	DCI	1.040 + 4.46	0.940	21.7	18.3	12.0
Mbalmayo	DCE	0.949 + 6.0	0.983	34.0	30.4	19.8
	DCI	1.010 +13.3	0.875	43.1	39.3	27.9
Eséka	DCE	1.122 + 4.92	0.975	66.5	62.0	40.3
	DCI	1.123 +27.6	0.841	89.3	84.8	63.0
Dehane	DCE	1.360 -10.13	0.961	100.5	89.8	48.2
	DCI	1.447 +16.7	0.918	134	123	78.7

L'examen des coefficients de corrélation (r) montre une liaison étroite prévisible, entre l'étiage absolu et le débit caractéristique non dépassé pendant 10 jours. Le coefficient de corrélation diminue légèrement toutefois d'Akonolinga à Dehane. La liaison entre étiage absolu et caractéristique non dépassé pendant 1 mois est beaucoup plus lâche mais reste acceptable. Le coefficient de corrélation (r) diminue régulièrement d'Ayos à Eséka.

Une comparaison des débits caractéristiques médians calculés avec ceux observés, et indiqués dans le chapitre « Données de base », montre des résultats voisins : moins de 2 % d'écart pour les trois stations aval, et de l'ordre de 5 à 8 % pour les 2 stations amont.

3.1.2.7. Relations entre les étiages absolus de stations voisines

L'étude des régressions linéaires a permis d'établir les relations suivantes :

Q_{MIN} Akonolinga = 1.78 Q_{MIN} Ayos — 0.33r = 0.970
Q_{MIN} Mbalmayo = 1.40 Q_{MIN} Akonolinga + 6.4 r = 0.928
Q_{MIN} Eséka = 1.27 Q_{MIN} Mbalmayo + 17.3 r = 0.949
Q_{MIN} Dehane = 1.47 Q_{MIN} Eséka — 1.45r = 0.848

Ces quatre relations, présentées figure 3.33, doivent être utilisées avec réserves, compte tenu de la faible valeur des coefficients de corrélation ; ceux-ci traduisent en effet une liaison évidente, mais assez lâche.

3.2. Étude des crues

3.2.1. Éventualité d'apparition des maximums de la crue annuelle

Maximums annuels et maximums secondaires

Sur le Nyong, l'apparition du maximum annuel de crue est toujours consécutive, au moins sur la période d'observation, aux fortes précipitations de la « grande saison des pluies » septembre-octobre.

La « petite saison des pluies » provoque un maximum de crues secondaires, d'une manière générale nettement inférieur au maximum principal.

- Pour Ayos, si le maximum secondaire dépasse 100 m³/s sur 6 années de la période d'observation, il n'atteint pas la valeur minimale de 109 m³/s du maximum principal.
- Pour Akonolinga, le maximum du 30 juin 1966, avec 159 m³/s, atteint la valeur minimale observée en novembre 1954.
- Pour Mbalmayo, la crue de juillet 1966 avec 292 m³/s, reste inférieure à la crue la plus faible 304 m³/s d'octobre 1954.
- Pour Olama et Kaya, les valeurs maximales de la crue secondaire sont toujours inférieures aux valeurs minimales de la crue principale.
- Pour Eséka, cinq valeurs maximales de la crue secondaire sont supérieures au minimum minimorum de la crue principale dont une atteint la valeur du quartile inférieur. En 1952, le maximum du 12/6 (660 m³/s) approche le maximum annuel de 663 m³/s observé le 5 novembre.
- Pour le Nyong à Dehane, on note que 4 valeurs de l'échantillon de maximums secondaires dépassent la valeur minimale de l'échantillon de maximum annuel, dont une valeur approche celle du quartile inférieur. En 1973, la crue du 26 mai atteint 1 042 m³/s, alors que celle du 8 octobre ne dépasse pas 1 092 m³/s.

En conclusion, si le maximum de la crue annuelle a toujours été observé, consécutivement à la grande saison des pluies, l'occurrence de l'observer pendant la petite saison des pluies n'est pas nulle, notamment pour le Nyong à Eséka et Dehane. Cette occurrence reste toutefois nettement plus faible que celle de voir apparaître l'étiage absolu pendant la petite saison sèche. La date d'apparition du maximum secondaire se situe le plus souvent en juin, mais elle peut fortement varier entre avril et août, ce qui ne doit pas surprendre, la petite saison des pluies s'étalant de mars à juillet.

Dans le cas des stations de la Mefou à Etoa et Nsimalen, le maximum annuel n'a été observé qu'une seule fois en mai et juin 1973 pour une dizaine d'années d'observations.

Les bassins étant de taille modeste et les crues résultant d'épisodes pluvieux brefs (1 à quelques jours), on aurait pu supposer que l'occurrence de voir survenir le maximum annuel pendant la petite saison des pluies était plus grande.

Date d'apparition des maximums annuels

Pour chaque station, nous avons procédé dans un premier temps au décompte par décades du nombre d'apparitions du débit maximal et réuni les résultats dans le tableau 3.45.

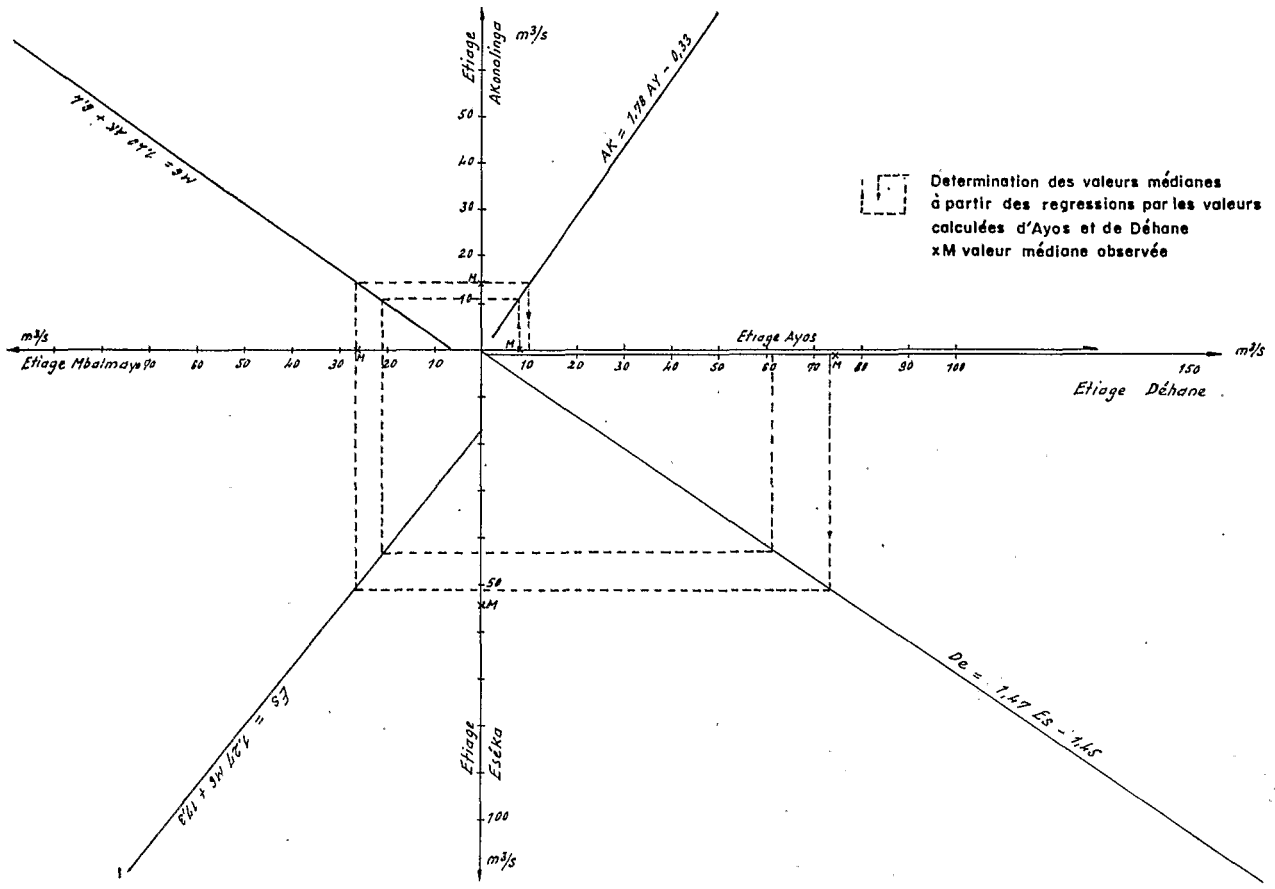


Fig. 3.33. – Relations entre étiages absolus de station à station voisine sur le Nyong.

Tableau 3.45.

Bassin du Nyong	Nombre années	Septembre		Octobre			Novembre		
		11 20	21 30	1 10	11 20	21 31	1 10	11 20	21 30
Ayos	26	0	0	0	0	6	14	6	0
Akonolinga	23	0	0	0	0	2	9	9	3
Mbalmayo	26	0	0	0	1	1	10	12	2
Olama	12	0	0	0	1	2	4	4	1
Kaya	11	0	0	0	0	1	6	3	1
Eséka	25	0	0	0	1	7	10	7	0
Dehane	23	1	0	1	2	10	5	4	0

L'éventail des dates d'apparition du débit maximal annuel s'élargit d'Ayos à Eséka puis Dehane. Pour cette dernière station, les apports de la partie aval du bassin sont parfois suffisamment importants pour susciter l'apparition du débit maximal annuel sans que celle-ci coïncide avec celle des apports maximaux de la partie amont : d'où les crues précoces du 19/9/59 ou du 8/10/73 par exemple.

On notera également que la date d'apparition la plus probable du maximum se déplace, de la première décade de novembre pour Ayos, à la seconde décade pour Mbalmayo, pour revenir à la première décade à Eséka (incidence des affluents sud : Soo) et à la dernière décade d'octobre pour Dehane.

Une étude statistique précise les résultats de cette première analyse. L'échantillon de dates du maximum annuel a été classé pour chaque station. Les valeurs affectées de leur fréquence sont distribuées suivant une loi normale sans dispersion notable sauf pour le Nyong à Dehane où l'on observe une distribution hypogaussique, montrant que les dates d'apparition du maximum de faibles occurences tendent à être plus précoces que tardives par rapport à la date médiane.

Les résultats de cette analyse statistique sont donnés ci-après (tableau 3.46).

Tableau 3.46.

Stations	Date médiane F = 0.5	Ecart-type s en jours	Limite de la période à 60 % d'occurrence ($t_{F0.8}$; $t_{F0.2}$)	Limite de la période à 80 % d'occurrence ($t_{F0.9}$; $t_{F0.1}$)
Ayos	5/11	7.3	30/10 ; 11/11	27/10 ; 14/11
Akonolinga	11-12/11	7.7	5/11 ; 18/11	1/11 ; 22/11
Mbalmayo	11-12/11	8.1	5/11 ; 18/11	31/10 ; 23/11
Olama	6/11	10.1	29/10 ; 14/11	23/10 ; 19/11
Kaya	8/11	8.6	1/11 ; 15/11	28/10 ; 19/11
Eséka	5/11	7.6	30/10 ; 11/11	26/10 ; 15/11
Dehane	30/10 (date moyenne : 28/10)	(12.6)	21/10 ; 6/11	13/10 ; 10/11

Pour la Mefou, 9 maximums sur 10 auront :
- à Etoa, une date d'apparition moyenne située le 26/10 (s = 14,5 jours) ;
- à Nsimalen, une date d'apparition moyenne située le 30/10 (s = 13 jours).

3.2.2. Évolution des débits maximums annuels sur la période d'observation

La figure 3.34 retrace l'évolution des débits maximums annuels du Nyong à Mbalmayo, à Eséka et Dehane ainsi que celle des moyennes mobiles calculées sur 5 ans.

On note des valeurs assez faibles jusqu'au début des années 60, montrant toutefois une croissance constante au niveau des moyennes mobiles.

De 1962 à 1972, les débits maximums sont en moyenne nettement plus élevés. L'ensemble de la décennie se caractérise par une hydraulicité des crues plus forte.

Depuis 1972, la tendance vers une hydraulicité des crues comparable ou plus faible à celle du début des années 50 apparaît nettement. Pour le Nyong à Dehane, la période de forte hydraulicité des crues pourrait se limiter à la période 1967-1972. Ces tendances sont comparables à celles observées dans toute la zone tropicale humide de l'Afrique Occidentale et Centrale.

3.2.3. Analyse statistique

3.2.3.1. Distribution statistique des débits maximums de crue

La distribution des séries de débits maximums annuels de crue a été étudiée en comparant l'ajustement des échantillons suivant différentes lois statistiques :

- loi de Gauss,
- loi de Galton,
- loi de Gumbel,
- loi de Pearson III,
- loi de Goodrich,
- loi de Frechet.

Les ajustements à ces six distributions ont été déterminés en calcul automatique. Le report graphique de l'échantillon et des différentes courbes en diagramme gausso-arithmétique permet de choisir la loi la mieux appropriée, en se basant :
- d'une part sur la concordance graphique des valeurs extrêmes avec les branches de courbes significatives d'une éventuelle dissymétrie ;
- d'autre part sur l'ajustement graphique le plus adéquat dans la partie moyenne de la courbe.

Nyong à Ayos (26 ans)

La figure 3.35 illustre la distribution statistique de l'échantillon de 26 valeurs. Le meilleur ajustement est obtenu avec les lois de Galton et de Pearson III. La distribution est légèrement hypernormale. Le fait mérite d'être souligné, car ceci implique que les zones marécageuses du haut-bassin ne jouent pas vraiment le rôle « amortisseur des crues » que l'on rencontre pour d'autres cours d'eau et qui se traduit alors par une distribution hypogaussique. Les zones marécageuses du Nyong sont inondées dès les moyennes-eaux et ne correspondent pas à des plaines d'inondation de très hautes-eaux dont le rôle amortisseur est souvent important.

Sur le Nyong, la crue annuelle « glisse » sur une zone d'inondation préexistante et est transférée à l'exutoire du bassin pratiquement sans retard. Ceci dit, précisons que la distribution des crues du Nyong à Ayos est peu dissymétrique. La loi de Galton a été retenue. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 3.47.

Paramètre d'échelle	124.5	Variance	946.34
" de position	33.96	Coefficient de variation	0.190
" de forme	0.237	" d'asymétrie	0.735
Moyenne	162.0	" d'aplatissement	0.975
Médiane	158.4	Ecart-type de la série des log	0.10208
Mode	151.6		

Les résultats de la prédétermination des débits de crues correspondant à diverses périodes de retour sont donnés ci-après :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	158	186	203	218	236	250

Rappelons que le maximum observé est de 237 m^3/s.

Nyong à Akonolinga (23 ans)

A l'exception d'une valeur qui pourrait montrer une tendance hypergaussique de la distribution des crues à Akonolinga, l'échantillon s'ajuste sans grande dispersion autour d'une loi normale (fig. 3.35).

La moyenne est de 240,1 m^3/s, l'écart-type est de 45,1 m^3/s.

Le coefficient de variation est de 0,188.

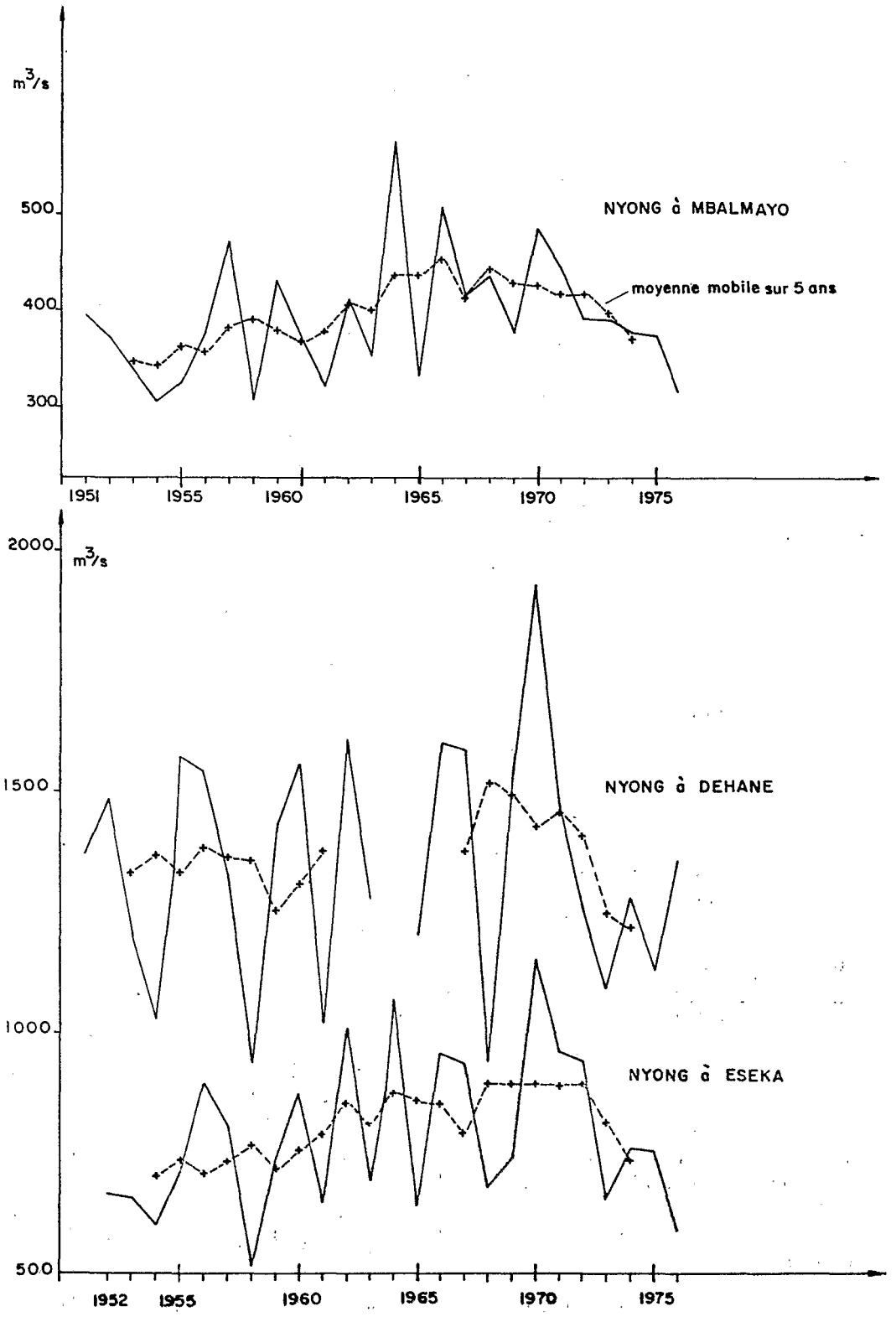


Figure 3.34. – Évolution des débits maximums annuels du Nyong sur la période d'observations.

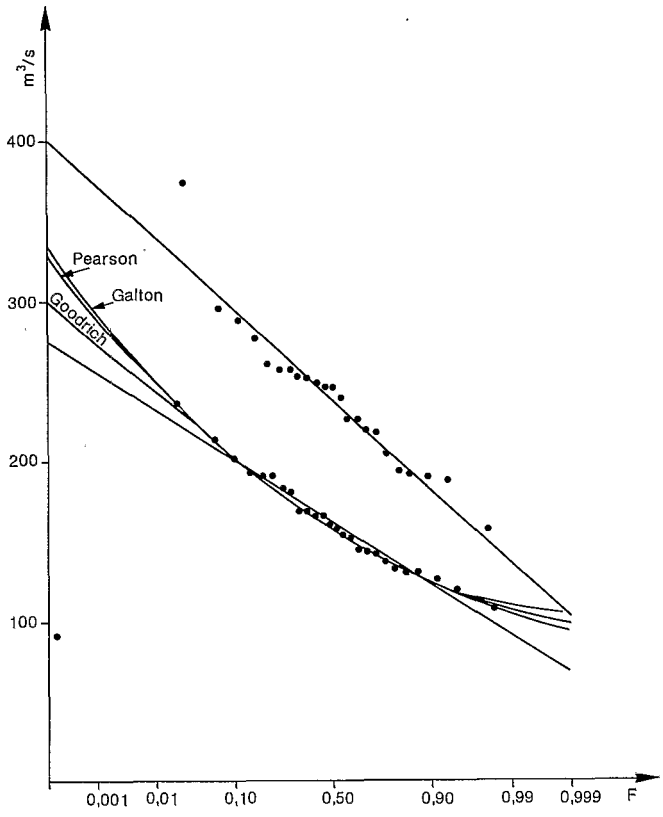


Fig. 3.35. – Distribution statistique.

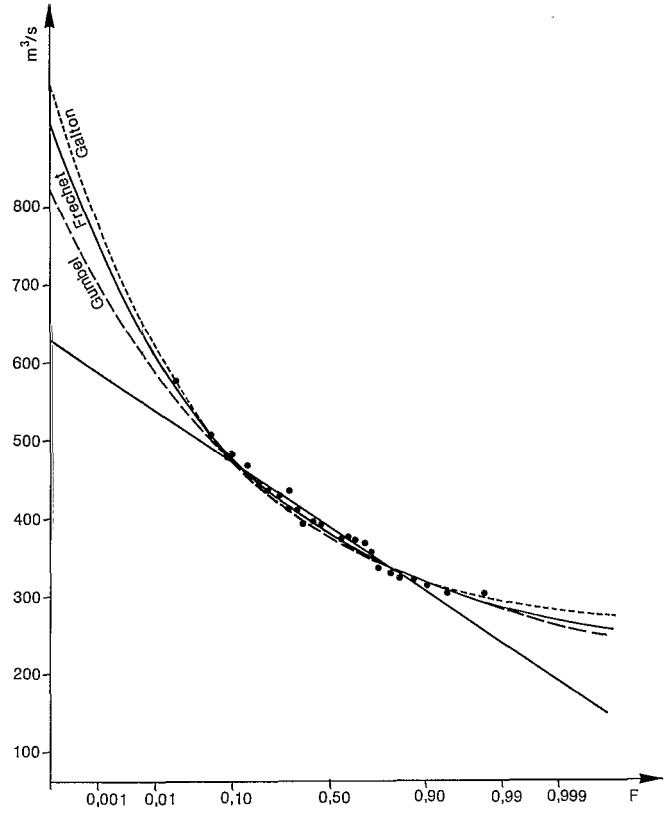


Fig. 3.36. – Crues du Nyong à Mbalmayo, distribution statistique.

La prédétermination des débits de crue de périodes de retour données aboutit aux résultats suivants :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	240	276	295	310	(328)	(340)

La crue maximale observée est de 374 m³/s en 1964, ce qui indique probablement une sous-estimation des valeurs de fréquence cinquantennale et centennale (mentionnées entre parenthèses dans le tableau précédent).

Nyong à Mbalmayo (26 ans)

La qualité des ajustements obtenus suivant les distributions de Gumbel, Frechet et Galton est comparable (fig. 3.36). Nous avons retenu pour des commodités d'exploitation la distribution de Galton, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 3.48.

Paramètre d'échelle	126.23	Variance	4705.98
" de position	250.6	Coefficient de variation	0.175
" de forme	0.462	" d'asymétrie	1.581
Moyenne	391.1	" d'aplatissement	4.753
Médiane	376.9	Ecart-type de la série des log	0.20368
Mode	352.6		

La figure 3.36 montre une distribution fortement dissymétrique. Les résultats de l'étude de prédétermination des crues sont indiqués ci-après.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	377	437	479	521	577	621

Le débit maximal observé est de 575 m³/s.

Nyong à Eséka (25 ans)

Les meilleurs ajustements sont obtenus avec les distributions de Galton et Pearson III (fig. 3.37).

Les caractéristiques de la distribution de Galton sont les suivantes :

Tableau 3.49.

Paramètre d'échelle	463.5	Variance	27958
" de position	295.6	Coefficient de variation	0.213
" de forme	0.332	" d'asymétrie	1.064
Moyenne	785.4	" d'aplatissement	2.078
Médiane	759.1	Ecart-type de la série des log	0.14697
Mode	710.7		

L'étude de prédétermination des crues aboutit aux résultats indiqués ci-après :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	759	909	1005	1096	1212	1299

Avec Pearson III, la crue centennale aurait une valeur de 1 278 m³/s, soit une différence de 1,6 % seulement. La crue maximale observée a atteint 1 152 m³/s en 1970.

A titre indicatif, et dans le cadre du projet d'aménagement hydroélectrique de Njock, proche d'Eséka, qui implique un calcul de prédétermination de la crue dite « exceptionnelle » ou « crue de projet », nous donnons les valeurs de la crue dix millénale suivant plusieurs distributions étudiées ici.

	GALTON	PEARSON	GUMBEL	GOODRICH	FRECHET
Maximum de crue m^3/s Période de retour 10 000 ans	1 890	1 740	1 920	1 555	2 100

La validité de ces résultats ne doit pas faire illusion. Les meilleurs ajustements obtenus pour 25 années, avec les lois de Galton et Pearson III, auraient pu l'être avec d'autres lois pour une série plus longue. A ce niveau de prédétermination, des considérations économiques et de sécurité prennent le pas sur les considérations hydrologiques (Intervalle de confiance à 80 % pour Galton : 1 542-2 334 m³/s, soit entre — 18 % et + 23 %).

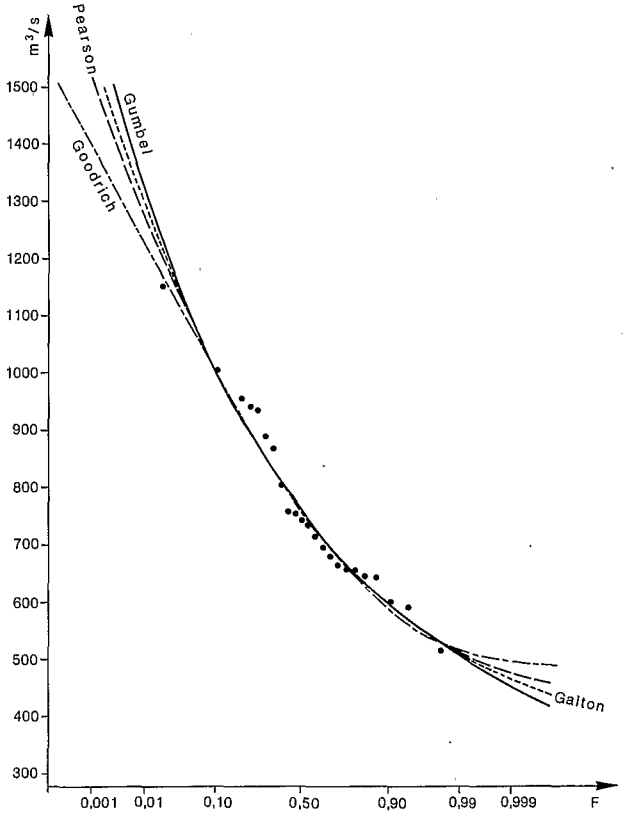


Fig. 3.37. – Crues du Nyong à Eséka. Distribution statistique.

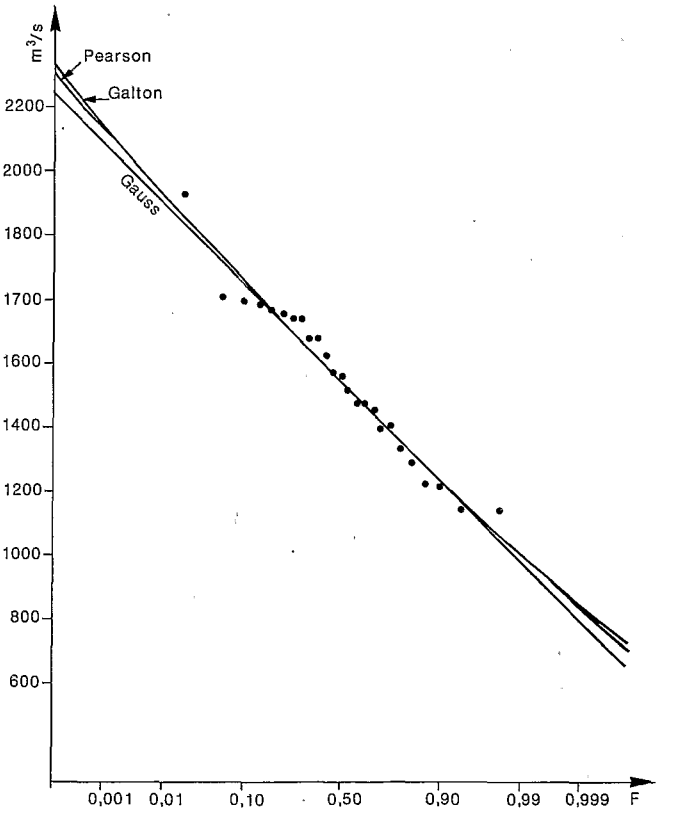


Fig. 3.38. – Crues du Nyong à Dehane. Distribution statistique.

Nyong à Dehane (25 ans)

La distribution de l'échantillon des crues observées à Dehane paraît montrer une très faible dissymétrie positive qui ne s'appuie en fait que sur les 2 valeurs extrêmes. Sans ces 2 valeurs, l'échantillon présenterait même un caractère d'hyponormalité assez net (fig. 3.38). Dans ces conditions, qui situent les limites de l'analyse statistique effectuée sur des séries relativement courtes, l'adéquation d'une loi normale beaucoup plus maniable paraît plus raisonnable. La distribution gaussique a pour moyenne 1 356 m^3/s et pour écart-type 246 m^3/s.

Le coefficient de variation est de 0,181.

Les débits correspondants à diverses périodes de retour ont été réunis ci-après.

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	1 349	1 552	1 658	1 746	1 844	1 910

Le débit maximal observé est de 1 930 m^3/s en 1970.

Stations secondaires

Pour ces stations, les séries d'observations sont trop courtes pour justifier une analyse détaillée des divers ajustements possibles. Pour les stations d'Olama et de Kaya, des séries étendues par reconstitution des maximums de crue à partir de corrélations interstations n'amèneraient pas de gain considérable dans la confiance des études de prédétermination.

Pour le Nyong à Olama, on a, avec une loi de Goodrich :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	639	729	781	826	878	914

Le coefficient de variation est de 0,145. Le débit maximal observé sur 12 ans est de 786 m^3/s.

Pour le Nyong à Kaya, avec une loi de Frechet, on aurait :

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50	100
Débit de crue m^3/s	658	743	807	877	980	1068

Le coefficient de variation est de 0,157.

Le débit maximal observé est de 834 m^3/s sur 11 ans.

Les débits de Kaya sont plus faibles en valeur spécifique que ceux d'Olama, ce qui enlève beaucoup de crédit aux prédéterminations effectuées (cf. tableau 3.35).

Dans le cas de la Mefou, à l'inconvénient de séries courtes s'ajoute celui de bassins versants de superficie réduite pour lesquels la prédétermination des crues ressort généralement d'une autre méthodologie (événements épisodes pluvieux-crues).

C'est donc avec réserves que nous indiquons les résultats de prédétermination des crues, suivant une loi normale dans le tableau 3.50.

Tableau 3.50

Périodes de retour (ans)	2 (méd)	5	10	20	50
Mefou à Etoa 11 ans	16.3	19.1	20.5	21.7	23.0
Mefou à Nsimalen (13 ans)	19.8	21.4	22.2	22.9	23.6

Les coefficients de variation sont de 0,2 pour Etoa et de 0,1 pour Nsimalen. Les débits maximums observés sont respectivement de 21,2 m^3/s et de 22,8 m^3/s.

Ajoutons que le barrage de la Mefou supérieure lamine les crues issues d'un bassin versant de 70 km^2 (barrage du Mopfou).

3.2.3.2. Signification des résultats de l'étude de prédétermination des crues

Distribution statistique et comportement des stations du Nyong

L'analyse des échantillons des débits maximums annuels montre une distribution qui évolue d'une loi normale ou quasi-normale pour Ayos et Akonolinga à une loi hypernormale pour Mbalmayo et Eséka pour revenir à une loi normale à Dehane.

Les distributions hypernormales correspondent aux ajustements les plus fréquents d'échantillons de crues et concernent des bassins généralement homogènes, ou dont les rivières principales réagissent simultanément, conjuguant à l'exutoire leurs maximums de crues. De Mbalmayo à Eséka, la branche majeure du Nyong et les affluents principaux (Mfoumou, Soo...) présentent des maximums en conjonction, conjonction bien traduite par une période d'apparition des pointes de crues assez brève dans le temps (moins de 15 jours dans 60 % des cas).

Les distributions normales ou quasi-normales peuvent correspondre à deux types de comportement hydrologique. Dans le cas d'Ayos et d'Akonolinga, la faible hypernormalité des distributions des débits de pointe pourrait correspondre à une atténuation de la dissymétrie positive due à l'influence non nulle des zones marécageuses (influence toutefois limitée, nous l'avons souligné pour Ayos).

Dans le cas du Nyong à Dehane, la distribution normale des débits de pointe traduit un comportement

hydrologique différent entre les parties amont et aval du bassin. Il n'y a pas forcément conjonction des débits de pointe observés à Eséka et des apports maximaux de la Kellé, du Likouk, de la Maloumbe et de la Koubela. Ainsi, sur 24 années communes, les dates ne présentent aucune correspondance dans 13 cas (voir aussi corrélation Eséka-Dehane). Cette non-coïncidence des débits de pointe a déjà été signalée (3.2.1.) ; elle explique que les débits maximums de Dehane soient inférieurs à ce qu'ils auraient dû être en distribution hypernormale. D'ailleurs, à l'inverse des hydrogrammes d'Eséka, les hydrogrammes annuels de Dehane présentent pour la période de hautes-eaux plusieurs pointes de crue, témoignant de l'arrivée à l'exutoire des différents apports.

Dans l'étude de la Sanaga, nous avons aussi été amené à expliquer l'hyponormalité des crues observée à Edéa, par l'absence de conjonction entre crues du Mbam et de la Sanaga.

Intervalles de confiance

Le calcul des intervalles de confiance, choisis à 80 %, a été effectué pour les valeurs médiane, moyenne et décennale. Ces valeurs ont donc 80 chances sur 100 d'être comprises entre des limites définies par les écarts relatifs en plus ou en moins des valeurs retenues dans l'étude de prédétermination.

Ces écarts relatifs indiqués en pourcentage (%) sont donnés ci-après (tableau 3.51) :

Tableau 3.51.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Eséka	Dehane
Maximum médian	± 4.4	± 5	−3.7 +4.5	−5.3 +5.7	± 4.8
Maximum moyen	± 4.9	± 5	−4.1 +4.9	−5.4 +5.9	± 4.8
Maximum décennal	−6.4 +6.9	± 5.8	−7.1 +8.6	−8 +9	± 5.3

Le tableau qui précède met en évidence la dissymétrie des écarts en plus ou en moins, traduisant la plus ou moins forte hypernormalité des distributions.

On notera que le débit de crue moyen ou médian est connu dans un intervalle de confiance de $\pm$ 4 à $\pm$ 6 %.

Le débit de crue décennal est déterminé avec une incertitude statistique de $\pm$ 5 à $\pm$ 9 %.

Dans le tableau récapitulatif 3.35, nous avons porté à la suite du débit médian, moyen et décennal les limites en débits de l'intervalle de confiance à 80 % correspondant.

Irrégularité interannuelle

Elle est caractérisée par le coefficient de variation des lois de distributions qui ont été retenues.

Elle est également illustrée par un coefficient de passage entre les débits maximaux des crues décennale et centennale ($k_{c/d}$).

	Ayos	Akono-linga	Mbal-mayo	Olama	Kaya	Eséka	Dehane
C_v	0.190	0.188	0.175	(0.145)	(0.157)	0.213	0.181
$k_{c/d}$	1.23	(1.15)	1.30	(1.17)	(1.32)	1.29	1.15

Tableau 3.52. – Récapitulation de l'étude des débits maximums annuels sur le bassin du Nyong.

Station	Superficie km²	Maximum de crue médian			Maximum de crue moyen			Maximum de crue décennal		
		l/s.km²	m³/s	IC 80 % m³/s	l/s.km²	m³/s	IC 80 % m³/s	l/s.km²	m³/s	IC 80 % m³/s
Ayos	5 300	29.8	158	151- 165	30.6	162	154- 170	38.3	203	190- 217
Akonolinga	8 350	28.7	240	228- 252	28.7	240	228- 252	35.3	295	278- 312
Mbalmayo	13 555	27.8	377	363- 394	28.8	391	375- 410	35.3	479	445- 520
Eséka	21 600	35.1	759	719- 802	36.3	785	743- 831	46.5	1 005	925-1095
Dehane	26 400	51.1	1 349	1284-1414	51	1 349	1284-1414	62.8	1 658	1570-1746
Olama*	18 510	31.0	*574*	*639*	*32.0*	*592*	*639*	*40.5*	*750*	*781*
Kaya*	19 985	32.8	*656*	*658*	*33.8*	*675*	*654*	*43.1*	*861*	*807*
Mefou Etoa	235	*69.2*	*16.3*		*69.2*	*16.3*		*87.0*	*20.5*	
Nsimalen	425	*47.1*	*19.8*		*47.1*	*19.8*		*51.1*	*22.2*	

* Pour les stations d'Olama et de Kaya, la valeur en l/s.km² a été déduite des variations de l'amont vers l'aval des débits spécifiques des autres stations. La première valeur en m³/s correspond à cette détermination ; la seconde valeur a été obtenue dans l'étude statistique faite sur 12 ou 11 ans.

L'examen de ces valeurs montre que ces coefficients sont assez faibles et que le bassin du Nyong présente des maximums de crues relativement peu variables d'une année à l'autre, notamment pour le Nyong à Dehane (les valeurs entre parenthèses se rattachent à des prédéterminations de crues données avec réserves). L'irrégularité interannuelle est, on le verra, légèrement plus marquée sur le bassin de la Sanaga.

Débits spécifiques de crues

Les débits spécifiques des crues médiane, moyenne et décennale ont été reportés dans le tableau récapitulatif 3.52. La fig. 3.40 présente les variations de ces débits en fonction de la superficie des bassins.

Ces débits spécifiques de crue sont peu élevés par rapport à ceux observés sur le bassin de la Sanaga, en particulier pour les bassins de superficie inférieure à 15 000 km² (valeurs médianes de 30 à 28 l/s.km² sur le Nyong, supérieure à 50 l/s.km² sur la Sanaga).

Les faibles pentes, d'une part, le couvert forestier, d'autre part, expliquent ces faibles débits spécifiques de crue.

L'augmentation importante des débits spécifiques de Mbalmayo à Dehane (de 28 à 51 l/s.km² pour la médiane, de 35 à 63 l/s.km² pour la crue décennale) traduit **un phénomène inverse** de ce que l'on observe le plus communément, et en particulier sur la Sanaga, à savoir **l'atténuation régulière de la puissance relative des crues, avec l'augmentation de la superficie des bassins versants.**

Pour le débit de crue médian, on passe :
- **de 28 à 35 l/s.km² de Mbalmayo à Eséka, soit + 7 l/s.km², pour un gain de superficie des bassins versant de 8 000 km² ;**
- **de 35 à 11 l/s.km² d'Eséka à Dehane, soit + 16 l/s.km², pour un gain de superficie des bassins versants de 4 800 km².**

Pour le débit de crue décennal, on observe un gain de + 11 l/s.km², entre Mbalmayo et Eséka, et de + 16 l/s.km², entre Eséka et Dehane.

Le phénomène d'augmentation des débits spécifiques avec la superficie des bassins versants s'accentue considérablement de l'amont vers l'aval (un peu moins pour la crue décennale du fait de la normalité de la distribution des crues de Dehane).

Une explication a été recherchée dans les variations des précipitations reçues pendant la grande saison des pluies, de l'amont vers l'aval. Si l'on s'en tient à la hauteur de précipitations moyennes reçues par les bassins, on a pour septembre-octobre : BV Ayos : 536 mm, BV Akonolinga : 526 mm, BV Mbalmayo : 520 mm, BV Eséka : 522 mm, BV Dehane : 562 mm ; variations bien peu significatives de celles des débits spécifiques.

Si l'on ne considère, par contre, que la station pluviométrique représentative de la partie aval des bassins (qui s'ajoute au précédent bassin amont), on constate une liaison nette entre les débits spécifiques de crue et la hauteur interannuelle de précipitations cumulées des mois de septembre-octobre ou d'août-septembre-octobre. On a en effet (tableau 3.53) :

Tableau 3.53.

Poste pluvio du bassin aval	Abong-Mbang	Akonolinga	Yaoundé-Mbalmayo	Eséka	Edéa
Pm (S + O)	561	519	510	738	845
Pm (A + S + O)	639	620	580	910	1 185
BV du Nyong à Ayos correspondant		**Akonolinga**	**Mbalmayo**	**Eséka**	**Dehane**
Qs médian l/s.km²	29.8	28.7	27.8	35.1	51.1
Qs décennal	38.3	35.3	35.3	46.5	62.8

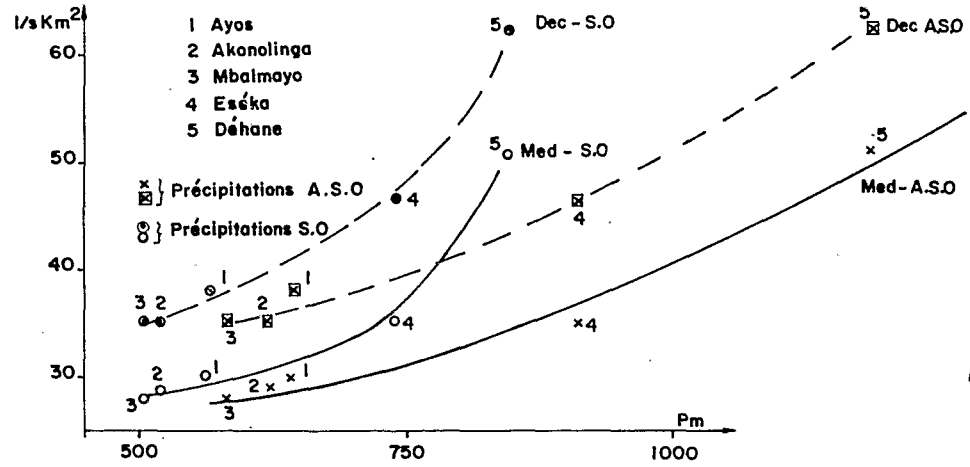
La fig. 3.39 montre les variations des débits spécifiques en fonction des précipitations de saison des pluies à l'aval des bassins.

Ainsi, les variations de la pluviosité sur la partie aval des bassins ont une grande incidence sur celles des débits spécifiques de crue. De Mbalmayo à Dehane, la rapide augmentation des hauteurs de précipitations en grande saison des pluies entraîne *de facto* une saturation de plus en plus grande des sols et par suite une augmentation de leur aptitude au ruissellement. A cela s'ajoutent des critères morphologiques jouant également dans le sens d'un plus fort ruissellement : relief plus prononcé des sous-bassins à l'aval de Mbalmayo, augmentation des indices des pentes. Enfin, à partir d'Olama, mais surtout de Kaya, le Nyong montre un bassin versant étroit où il ne reçoit, à l'exception de la Kellé plus en aval, que de petits affluents courts et à forte pente, générateurs de crues dont les maximums sont en valeur relative plus forts que ceux observés sur le bassin amont et dont l'incidence se retrouve au niveau des débits de crue du Nyong.

Compte tenu des remarques qui ont été faites sur l'évolution dans le temps des débits maximums (3.2.2), il paraîtrait raisonnable de penser que les valeurs médianes, moyennes et décennales du Nyong à Olama et Kaya, prédéterminées dans l'étude statistique, sont surestimées. Sur la base de la figure 3.40 (Q l/s.km² = f (S km²)), l'estimation des débits spécifiques de crue aboutit à des résultats en continuité avec le comportement hydrologique du fleuve à l'aval de Mbalmayo. Ces résultats sont indiqués dans le tableau récapitulatif 3.35. Ils correspondent à des débits de pointe inférieurs de 10 à 4 % pour Olama aux débits médians et décennaux déterminés dans l'étude statistique. Mais pour Kaya, l'estimation graphique donne des résultats supérieurs de 0,3 à 6,5 % à l'estimation statistique.

Le tableau met ainsi en évidence l'imprécision des déterminations faites pour Olama et Kaya, soit par la méthode graphique (débit spécifique indiqué et première valeur en m³/s), soit par la méthode statistique (2ᵉ valeur m³/s) effectuée sur un échantillon d'effectif réduit.

Fig. 3.39. – Débits spécifiques des crues médiane et décennale en fonction des précipitations de saison des pluies reçues à l'aval des bassins.



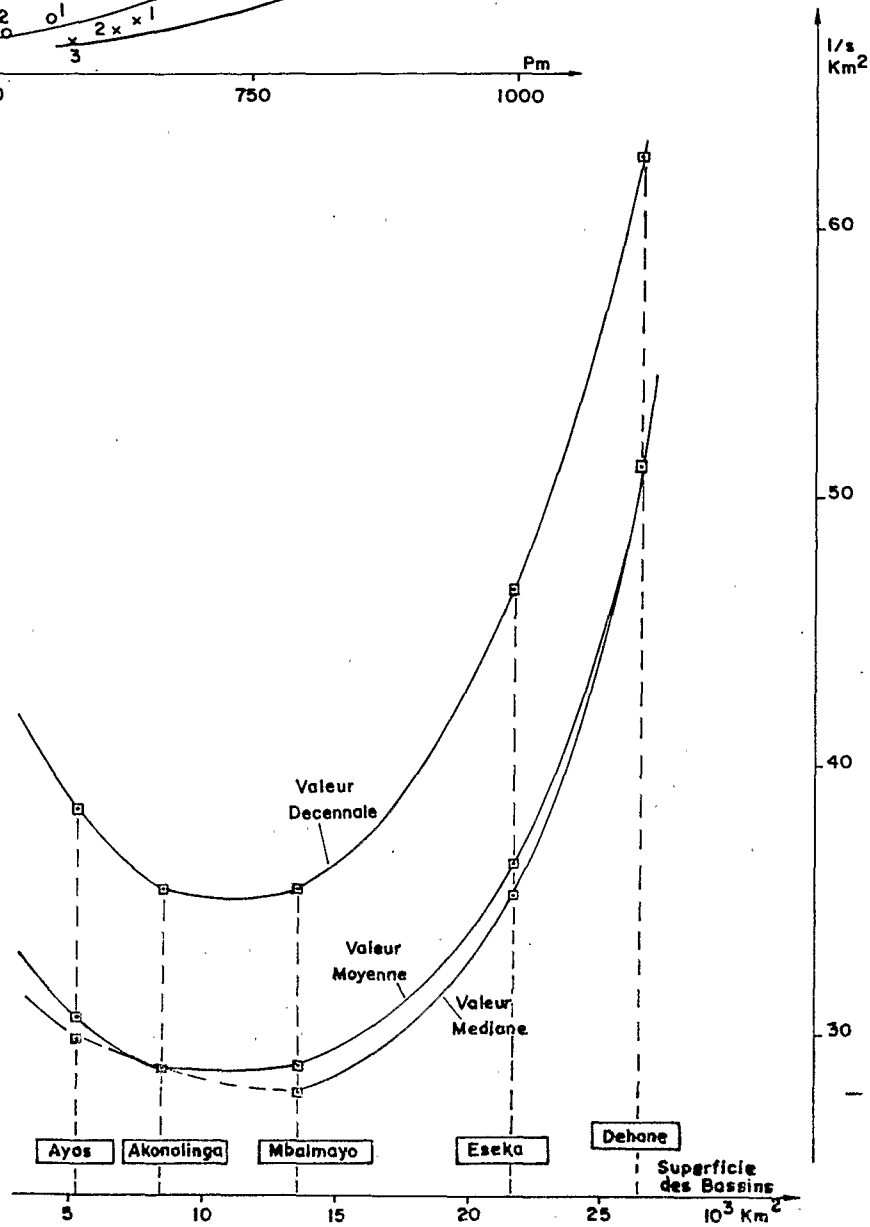


Fig. 3.40. – Débits maximums spécifiques et superficie des bassins du Nyong.

Dans le cas de la Mefou, les valeurs des débits spécifiques de crue sont assez faibles, par comparaison avec celles de bassins de superficies comparables étudiés dans les régions de la Sanaga. La crue décennale est de 87 et 51 l/s.km² pour Etoa (235 km²) et Nsimalen (425 km²), alors qu'elle est de 105 à 135 l/s.km² pour le bassin de l'Avea (375 km²) près de Nanga-Eboko, de 109 l/s.km² pour la Mifi à Bamoungoum (307 km²), et de 82 l/s.km² pour la Metchié (480 km²) en pays Bamiléké. Ceci tient au barrage du Mopfou et au couvert forestier à peu près continu sur le petit bassin d'Etoa, et à la séparation des écoulements de crue à Nsimalen où les apports du Mbala provenant du ruissellement de Yaoundé précèdent ceux du bassin sous forêt.

Citons aussi pour terminer les résultats de prédétermination des crues décennales sur de petits bassins inclus dans le bassin du Nyong.

- Bassin du Mfoundi : 38,8 km² **en partie urbanisé (Yaoundé) :** 1 080 l/s.km².
- Bassin d'Ottotomo :
  S1 : 1,8 km² sous forêt protégée .. 720 l/s.km²,
  S2 : 2,4 km² sous forêt dégradée .. 680 l/s.km²,
  S3 : 23,6 km² sous forêt dense .. 267 l/s.km²

Mais ici, les très petites surfaces jouent leur rôle ainsi que le sol relativement imperméable.

3.2.4. Relations entre les débits maximums de stations voisines

L'intérêt de telles relations est de permettre l'extension de séries connues sur une courte période. Pour cinq stations principales, les séries d'observations sont pratiquement identiques. Pour deux autres, le gain d'une éventuelle extension ne paraît pas probant.

C'est donc à titre purement indicatif que sont donnés ici les résultats des études de régression effectuées sur les débits maximums.

• Pour les stations principales, les équations de la droite de régression entre le débit maximum de la station amont et celui de la station aval, ainsi que le coefficient de corrélation, sont indiqués ci-après :

Q_{MAX} Akonolinga = 1,27 Q_{MAX} Ayos + 33,5 avec r = 0,909

Q_{MAX} Mbalmayo = 1,19 Q_{MAX} Akonolinga + 108 avec r = 0,778

Q_{MX} Eséka = 1,89 Q_{MAX} Mbalmayo + 47 avec r = 0,770

Q_{MAX} Dehane = 1,22 Q_{MAX} Eséka + 401 avec r = 0,766

La liaison interstations des débits maximums est très lâche, soit du fait de variations de l'hydraulicité ressenties suivant des degrés différents de station à station, soit du fait de l'hydrologie particulière de certains affluents (au sud, le Soo, en aval de Mbalmayo, la Kellé en aval d'Eséka).

• Pour les stations intermédiaires d'Olama et de Kaya :

- la relation Olama-Kaya est de bonne qualité, mais établie sur 11 couples seulement :
- Q_{MAX} Kaya = 0,96 Q_{MAX} Olama + 66, avec r = 0,990 ;
- la relation est médiocre entre Mbalmayo et Olama (12 couples), Q_{MAX} Olama = 1,36 Q_{MAX} Mbalmayo + 106, avec r = 0,789 ;
- la relation entre Kaya et Eséka est meilleure (11 couples), Q_{MAX} Eséka = 1,79 Q_{MAX} Kaya — 420, avec r = 0,962.

A supposer que les liaisons soient étroites, n'oublions pas que l'étude de corrélation a été faite sur les 12 dernières années communes de plus forte hydraulicité pour lesquelles le débit maximum moyen est de 402 m³/s pour Mbalmayo et 814 m³/s pour Eséka. Ceci explique que nous ayons renoncé à toute extension des échantillons d'Olama et de Kaya.

3.2.5. Relations entre le débit maximum et les débits caractéristiques de crue

Une étude de régressions linéaires a été faite pour les stations principales du Nyong entre le débit maximal annuel (Q_{MAX}) et les débits caractéristiques de crue, dépassé pendant 10 jours (DCC) et dépassé pendant 1 mois (DC 11).

De ces régressions, nous avons déduit les valeurs médiane, moyenne et décennale de ces débits caractéristiques. Ils sont réunis dans le tableau ci-après avec les paramètres a et b de la droite de régression et le coefficient de corrélation r.

Tableau 3.54.

Stations	DC	Paramètres de la droite (DC = aQ_{MAX} + b)		r	DC médian		DC moyen		DC décennal	
		a	b m³/s		m³/s	l/s.km²	m³/s	l/s.km²	m³/s	l/s.km²
Ayos	DCC	0.96	0.5	0.992	152	28.7	156	29.4	195	36.8
(5 300 km²)	DC11	0.62	32.2	0.907	130	24.5	133	25.1	158	29.8
Akonolinga	DCC	0.94	7.8	0.992	233	27.9	233	27.9	285	34.5
(8 350 km²)	DC11	0.72	31	0.828	204	24.4	204	24.4	243	29.1
Mbalmayo	DCC	0.98	- 6.8	0.995	363	26.8	376	28.0	463	34.2
(13 555 km²)	DC11	0.74	45.3	0.914	324	23.9	335	24.7	400	29.5
Eséka	DCC	0.78	85.6	0.959	678	31.4	698	32.3	870	40.3
(21 600 km²)	DC11	0.42	232	0.765	551	25.5	562	26.0	654	30.3
Dehane	DCC	0.66	211	0.909	1101	41.7	1101	41.7	1305	49.4
(26 400 km²)	DC11	0.50	239	0.808	914	34.6	914	34.6	1068	40.5

Si les liaisons entre Q_{MAX} et DCC sont de bonne qualité, elles sont par contre beaucoup plus lâches entre Q_{MAX} et DC 11, ce qui est normal. La liaison entre le débit maximum et le débit dépassé pendant 10 jours devient moins étroite lorsque l'on va vers

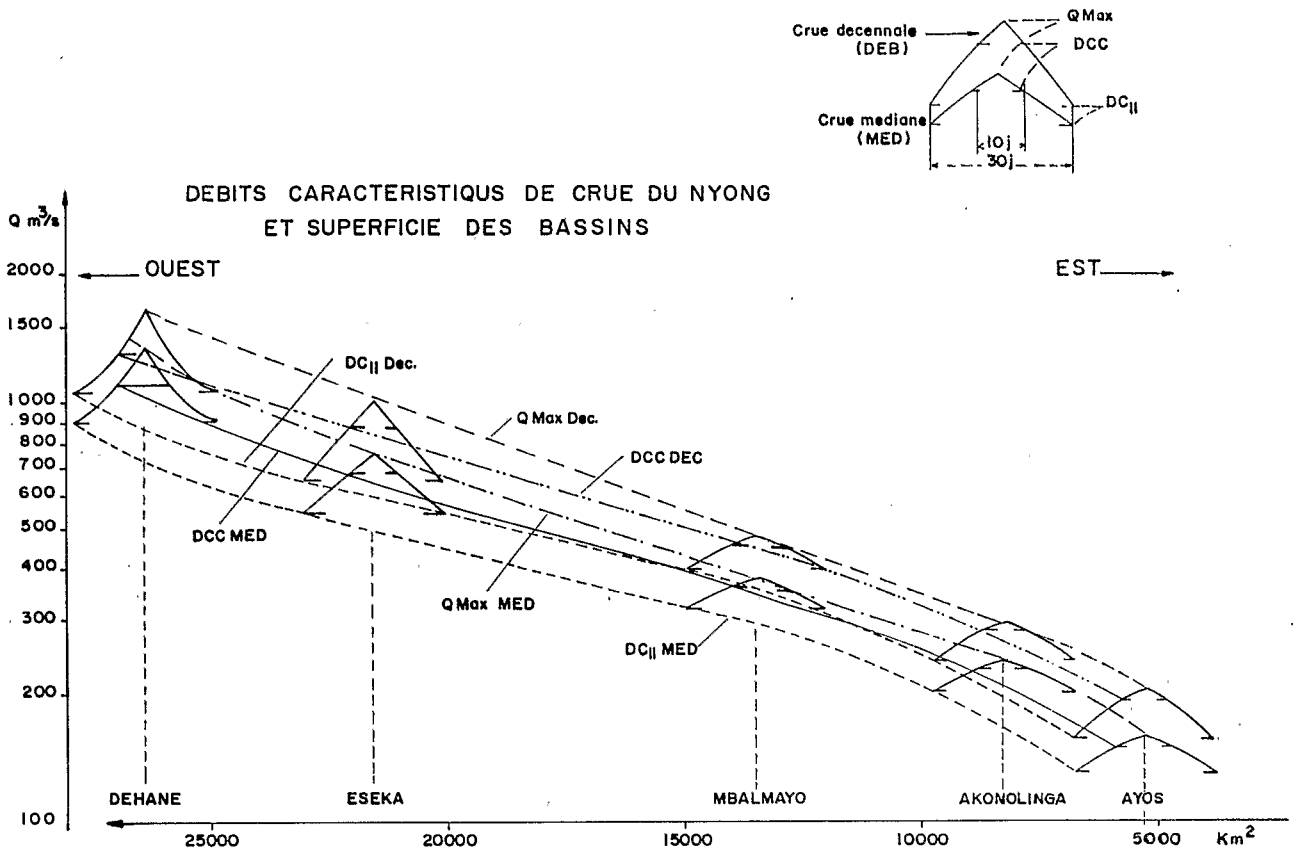


Fig. 3.41. – Débits caractéristiques de crue du Nyong et superficie des bassins.

l'aval de Mbalmayo ; cette tendance ne se retrouve pas au niveau du DC 11. Les valeurs médianes indiquées ici sont très voisines de celles qui ressortent de l'observation de l'échantillon de données de base.

Pour conclure cette étude des crues, nous proposons dans la figure 3.41 de suivre l'évolution de l'amont vers l'aval en fonction des superficies des bassins, des débits de crue maximums, dépassés pendant 10 jours et 1 mois en année médiane (F = 0,5) et décennale humide.

On notera que le débit maximum médian est inférieur ou égal au débit dépassé pendant 1 mois de fréquence décennale, pour les stations amont. Il est nettement supérieur à Eséka et Dehane. Pour cette dernière station, il est même supérieur au débit dépassé pendant 10 jours de fréquence décennale.

Par ailleurs, l'hydrogramme de crue devient en valeur relative plus aigu à l'aval de Mbalmayo, comme le montrent les rapports Q_{MAX}/DCC des crues médiane et décennale :

Tableau 3.55.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Eséka	Dehane
Crue médiane	1.04	1.03	1.04	1.12	1.23
Crue décennale	1.04	1.04	1.03	1.16	1.27

3.3. Étude des modules et du bilan hydrologique

3.3.1. Hydraulicité du Nyong sur la période d'observation

L'évolution des modules au cours de la période d'observation a été étudiée pour le Nyong à Mbalmayo, Eséka et Dehane. La figure 3.42 montre les variations des modules annuels ainsi que celles des

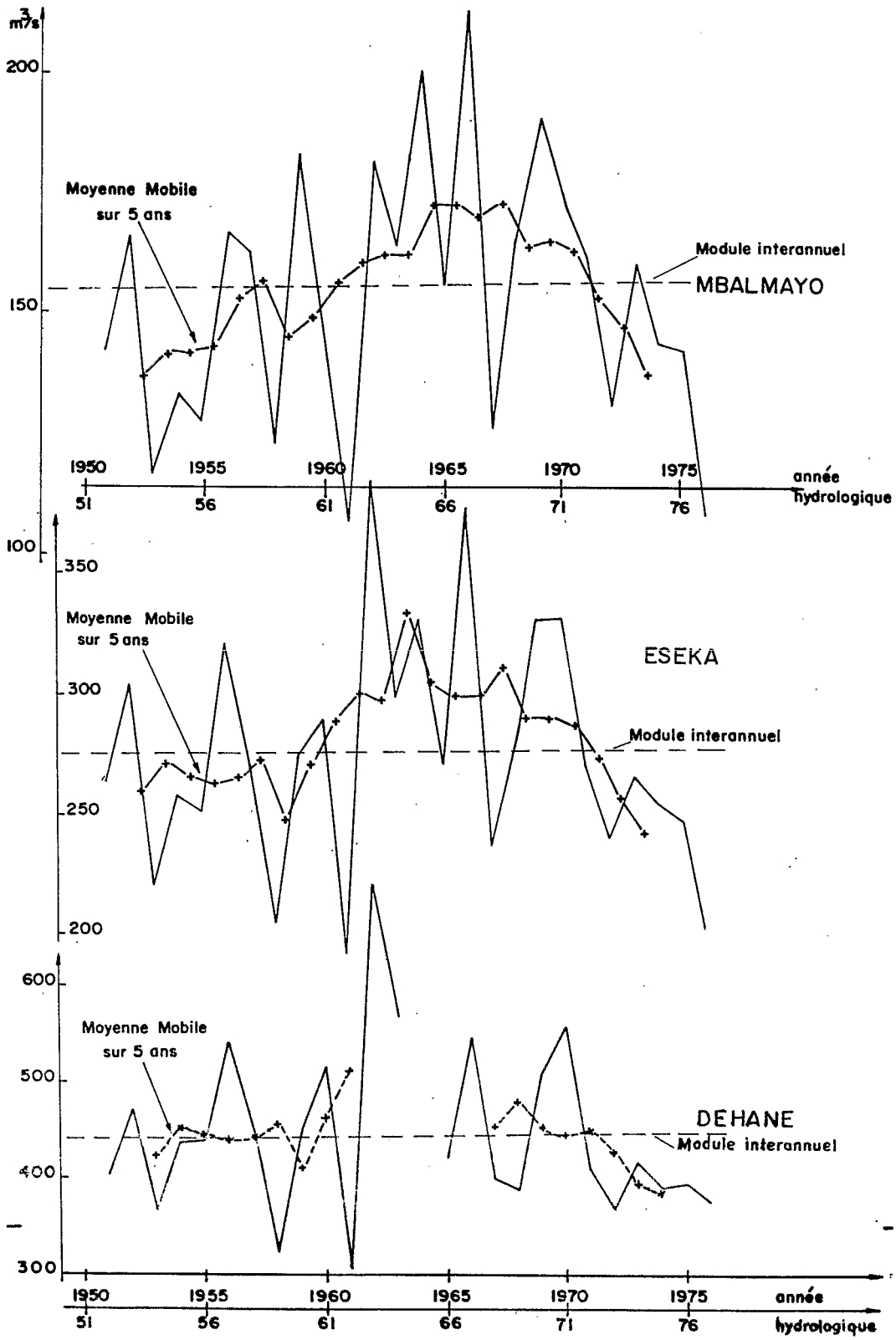


Fig. 3.42. – Variation des modules du Nyong aux 3 stations principales sur la période d'observations.

moyennes mobiles calculées sur 5 ans. Les variations des moyennes mobiles permettent d'interpréter plus facilement le dessin en dents de scie des variations annuelles. On constate pour Mbalmayo une croissance progressive des moyennes mobiles de l'origine des observations jusqu'au milieu des années 60, avec des valeurs supérieures au module interannuel dès le début des années 60 (hydraulicité supérieure à 1). Une phase de décroissance des moyennes mobiles s'amorce dès le début des années 70, pour aboutir pour les cinq dernières années à une hydraulicité nettement inférieure à 1. Ceci est bien en rapport avec la sécheresse générale observée ces années-là dans les régions tropicales.

Pour Eséka, on a le même schéma de variation avec des hydraulicités inférieures à 1 jusqu'en 1960, puis 12 années de forte hydraulicité moyenne et de nouveau de très faibles hydraulicités depuis 1972. On notera cependant que le passage aux fortes hydraulicités n'est pas progressif comme pour Mbalmayo, mais est consécutif aux fortes valeurs observées pour les modules de 1962-1963 et des années suivantes.

Il en est de même pour la station de Dehane où l'on note des hydraulicités moyennes avant 1960, fortes pendant les années 60, et rapidement décroissantes pour devenir très faibles depuis 1970. Quoique basées sur un même schéma général, les variations d'hydraulicité ne sont pas exactement concomitantes d'une station à l'autre.

Si l'on considère parallèlement l'évolution dans le temps des étiages et des crues, on constate des disparités assez marquées dans le comportement d'une année à l'autre des stations du Nyong à Mbalmayo, et du Nyong à Eséka et Dehane.

3.3.2. Analyse statistique des modules

3.3.2.1. Étude fréquentielle des modules

L'étude de la distribution statistique des modules a été effectuée en comparant l'ajustement de différentes lois aux échantillons observés :

- loi de Gauss ou loi normale,
- loi de Galton ou gaussologarithmique,
- loi de Gumbel ou doublement exponentielle,
- loi Gamma incomplète ou Pearson III,
- loi de Goodrich exponentielle généralisée,
- loi de Fréchet exponentielle généralisée.

Déterminés en calcul automatique, ces ajustements ont été comparés après report graphique des échantillons et des différentes courbes en diagramme gausso-arithmétique. Cette comparaison permet à l'opérateur de choisir la loi la mieux appropriée à l'échantillon tant pour les valeurs extrêmes que pour les valeurs intermédiaires. Les figures 3.43 à 46 montrent pour les stations principales les résultats de cette analyse.

Nyong à Ayos

La distribution des modules ne présente pas de dissymétrie marquée. Les ajustements des lois de Galton et de Goodrich dont les courbes ne présentent que des faibles divergences avec la loi normale n'ont pas été retenus. La loi normale de Gauss a donc été adoptée ; elle donne les modules suivants pour diverses périodes de retour, en années sèches et humides. L'écart-type est de 10,2 m³/s (tableau 3.56).

Tableau 3.56.

	Années sèches				Moyenne	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Modules m^3/s	34.2	41.1	44.7	49.1	57.6	66.0	70.5	74.1	81.0

Rappelons que les modules extrêmes observés sont de 39,9 et de 75,6 m³/s.

Nyong à Akonolinga

Ici encore l'ajustement d'une loi normale paraît le mieux approprié à l'échantillon de données. L'écart-type est de 15,6 m³/s. On a, pour diverses périodes de retour, les valeurs suivantes :

Tableau 3.57.

	Années sèches				Moyenne	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Modules m^3/s	57.5	67.9	73.4	80.2	93.0	106	113	118	128

Les modules extrêmes observés sont de 61,8 et 124 m³/s.

Nyong à Mbalmayo

La distribution de l'échantillon des modules du Nyong à Mbalmayo ne suit plus rigoureusement une loi normale et présente une légère dissymétrie positive ; elle est hypergaussique. L'ajustement des différentes lois de ce type montre que les distributions suivant les lois de Galton et de Pearson III sont les plus satisfaisantes. Pour la loi de Galton, on a les caractéristiques données dans le tableau 3.58.

Tableau 3.58.

Paramètre d'échelle	270.25	Variance	735.47
" de position	117.97	Coefficient de variation	0.177
" de forme	0.100	" d'assymétrie	0.301
Moyenne	153.6	" d'aplatissement	0.161
Médiane	152.3	Sy (écart-type de la série	
Mode	149.0	des log)	0.04411

Le tableau 3.59, ci-après, précise les valeurs des modules correspondant à diverses périodes de retour en années sèches et humides.

Tableau 3.59.

	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Modules m^3/s	96.4	111	120	131	152	176	189	200	223

Les modules extrêmes observés sont de 107 et 213 m^3/s.

Nyong à Eséka

Le caractère dissymétrique de la distribution fréquentielle des modules apparaît plus nettement pour le Nyong à Eséka. La loi de Galton semble correspondre au meilleur ajustement de l'échantillon (sans grande différence avec la distribution de Pearson III, cependant).

Les caractéristiques retenues suivant une distribution de Galton sont les suivantes (tableau 3.60) :

Tableau 3.60.

Paramètre d'échelle	230.94	Variance	2 376.64
" de position	38.76	Coefficient de variation	0.178
" de forme	0.205	" d'assymétrie	0.629
Moyenne	274.6	" d'aplatissement	0.712
Médiane	269.7	Sy (écart-type de la série	
Mode	260.2	des log)	0.09064

Les valeurs des modules correspondant à diverses périodes de retour sont indiquées ci-après :

Tableau 3.61.

	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Modules m^3/s	182	204	216	233	270	313	339	362	410

Les modules extrêmes observés sont de 191 et 387 m^3/s.

Nyong à Dehane

L'échantillon des modules de Dehane présente une hypernormalité encore plus marquée que pour le Nyong à Eséka.

L'ajustement le plus satisfaisant est obtenu par les lois de Galton et de Gumbel (coïncidence des 2 courbes). Pour la distribution de Galton, on a les caractéristiques suivantes (tableau 3.62) :

Tableau 3.62.

Paramètre d'échelle	227.42	Variance	7 770
" de position	200.29	Coefficient de variation	0.198
" de forme	0.353	" d'assymétrie	1.141
Moyenne	442.3	" d'aplatissement	2.400
Médiane	427.3	Sy (écart-type de la série	
Mode	401.1	des log)	0.15661

La prédétermination des modules de diverses récurrences est indiquée ci-après (tableau 3.63) :

Tableau 3.63.

	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Modules m^3/s	300	328	345	369	428	506	558	607	717

Les modules extrêmes observés sont de 304 et 700 m^3/s.

Stations secondaires

L'effectif réduit des échantillons de modules recueillis sur le Nyong à Olama et Kaya, et sur les stations de la Mefou, ne permet pas une analyse statistique précise.

Les recherches effectuées montrent toutefois que la loi de Galton semble la mieux adaptée aux échantillons de données et nous proposons ci-après les résultats de la prédétermination des modules pour diverses périodes de retour.

Pour le Nyong à Olama on a :

Tableau 3.64.

Modules du Nyong à Olama	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
m^3/s	183	186	189	194	212	253	291	337	482

Le module moyen est de 228 m^3/s et les extrêmes observés se situent à 185 et 317 m^3/s.

Pour le Nyong à Kaya, on a :

Tableau 3.65.

Modules du Nyong à Kaya	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
m^3/s	179	194	204	217	249	293	322	350	413

Le module moyen est de 257 m^3/s et les extrêmes observés se situent à 189 et 348 m^3/s.

La très forte dissymétrie entre modules d'années sèches et d'années humides à Olama est suspecte en soi ;

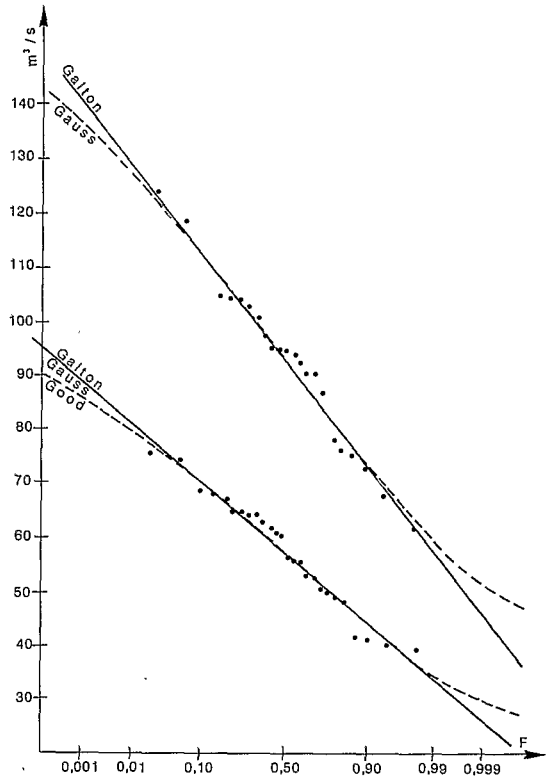


Fig. 3.43. – Modules du Nyong à Akonolinga. Distribution statistique.

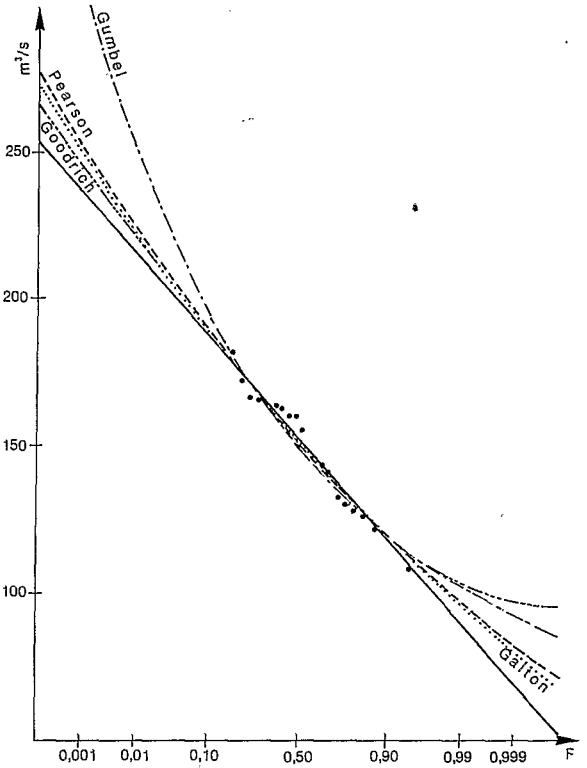


Fig. 3.44. – Modules du Nyong à Mbalmayo. Distribution statistique.

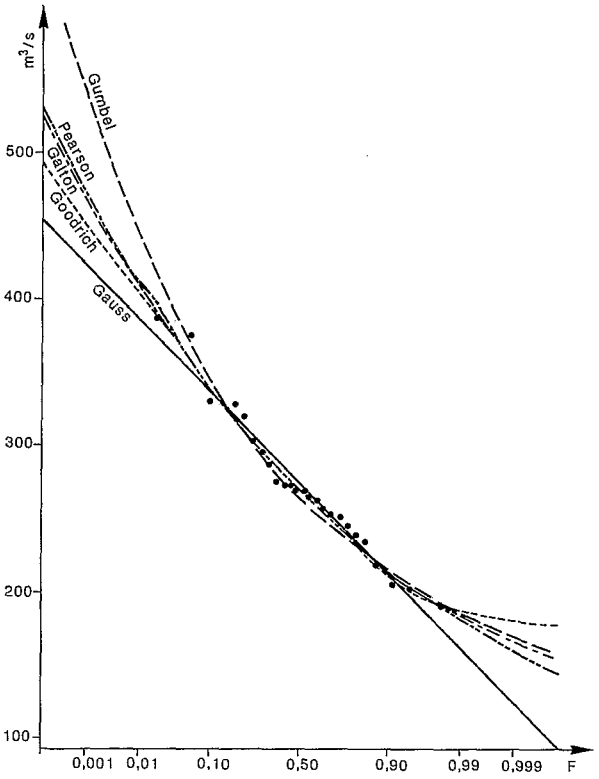


Fig. 3.45. – Modules du Nyong à Eséka. Distribution statistique.

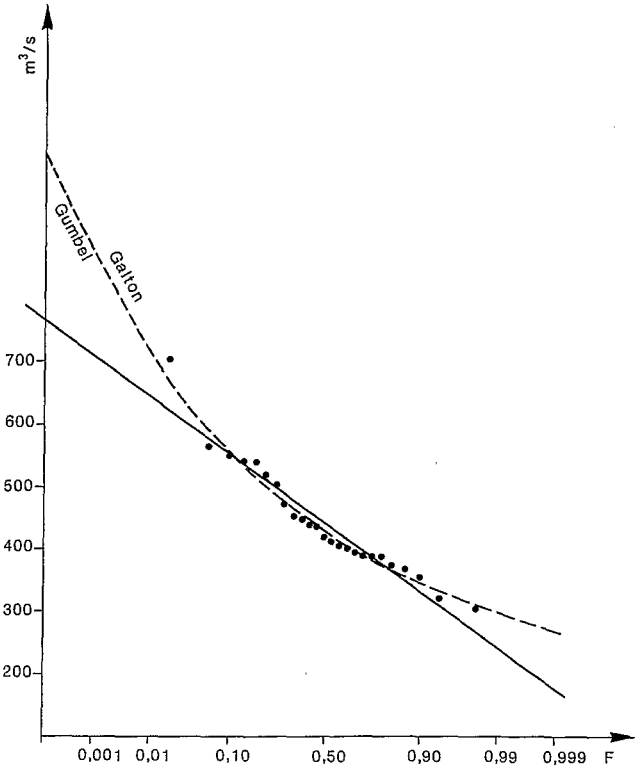


Fig. 3.46. – Modules du Nyong à Debane. Distribution statistique.

elle conduit en outre pour de très faibles récurrences à des valeurs supérieures à celles de Kaya, station aval. C'est dire les limites de crédibilité de recherches statistiques effectuées sur des échantillons trop courts.

Pour la Mefou, les conditions d'analyse ne sont pas plus favorables et ses résultats doivent être considérés avec la plus grande réserve (tableau 3.66).

Tableau 3.66.

Modules de la Méfou	Années sèches				Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	2	5	10	20	100
Etoa m^3/s	2.50	2.59	2.66	2.77	3.10	3.66	4.10	4.56	5.80
Nsimalen m^3/s	3.67	4.21	4.54	4.98	5.95	7.14	7.86	8.52	9.92

Les modules moyens étant respectivement de 3,28 et 6,10 m^3/s pour Etoa et Nsimalen, et les modules extrêmes observés de 2,54 et 5,18 m^3/s et de 4,17 et 9,12 m^3/s.

3.3.2.2. Signification des résultats de l'étude de prédétermination des modules

L'étude statistique des modules du Nyong montre une distribution évoluant, de l'amont vers l'aval, d'une loi normale à une loi hypernormale. La dissymétrie est d'autant plus forte que l'on va vers l'aval. Ceci constitue une caractéristique du bassin du Nyong, que nous tenterons d'interpréter plus loin, d'autant plus intéressante que l'on observe l'inverse sur le bassin de la Sanaga (des lois de distributions hypergaussiques sont observées sur le haut-bassin et les modules suivent des lois normales pour les stations aval).

Le tableau 3.67 résume l'étude de prédétermination des modules en précisant les intervalles de confiance et les valeurs en débits spécifiques.

Calcul des intervalles de confiance

Ce calcul simple pour la distribution normale implique, pour la loi de Galton, une anamorphose par les logarithmes (avec introduction du paramètre de position Q_0) puis retour aux valeurs arithmétiques. Avec des effectifs de 24 à 26 valeurs, le paramètre de la loi de Student-Fisher est voisin de 1,32 pour un intervalle de confiance choisi à 80 % (la méthode de calcul a déjà été exposée à l'occasion de l'étude fréquentielle des étiages).

Le choix de cet intervalle à 80 % correspond à des variables assez dispersées. Les calculs ont été effectués pour les modules, médian, moyen décennal sec, décennal humide des 5 stations principales. Les résultats sont indiqués dans le tableau 3.67. Après indication de la valeur du module prédéterminé dans l'étude statistique, figurent les valeurs limites de l'intervalle de confiance à 80 %.

Nous résumons ci-après l'importance relative de ces intervalles en % (tableau 3.67).

La progression des écarts entre borne inférieure (—) et borne supérieure (+) exprimés en pourcentage, des intervalles de confiance, de Mbalmayo et Dehane, montre bien que la dissymétrie positive de la distribution des modules augmente en allant vers l'aval.

Modules spécifiques

Ceux-ci ont été reportés dans le tableau 3.67 pour les valeurs médiane, moyenne, décennales sèche et humide des cinq stations principales.

Tableau 3.67. – Récapitulation de l'étude statistique des modules.

Stations	Module décennal sec			Module médian			Module moyen			Module décennal humide		
	$l/s.km^2$	m^3/s	IC à 80 % m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	IC à 80 % m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	IC à 80 % m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	IC à 80 % m^3/s
Ayos	8.43	44.7	41.1- 48.3	10.9	57.6	55 - 60.2	10.9	57.6	55 - 60.2	13.3	70.5	66.9- 74.1
Akonolinga	8.79	73.4	67.6- 79.2	11.1	93.0	88.8- 97.2	11.1	93.0	88.8- 97.2	13.5	113	107.2-118.8
Mbalmayo	8.85	120	112 -128	11.2	152	145 -159	11.3	154	147 -161	13.9	189	178 -200
Eséka	10.0	216	204 -229	12.5	270	258 -283	12.7	275	262 -288	15.7	339	318 -361
Dehane	13.1	345	328 -365	16.2	428	407 -451	16.7	442	420 -466	21.1	558	515 -607

Tableau 3.68.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Eséka	Dehane
Module décennal sec	± 8 %	± 7.9 %	-6.83 % +7.08 %	-5.74 % +6.16 %	-5.01 % +5.08 %
Module médian	± 4.6 %	± 4.5 %	-4.6 % +4.7 %	-4.52 % +4.75 %	-4.84 % +5.33 %
Module moyen			-4.59 % +4.69 %	-4.52 % +4.77 %	-5 % +5.52 %
Module décennal humide	± 5.1 %	± 5.1 %	-5.6 % +5.8 %	-6.17 % +6.61 %	-7.67 % +8.71 %
	distribution normale		distribution gaussologarithmique		

La figure 3.47 illustre les variations de ces différentes valeurs en fonction de la superficie des bassins. Elle met en évidence une augmentation des débits spécifiques, d'autant plus rapide que l'on va vers l'aval du Nyong. On observe l'inverse sur le bassin de la Sanaga. L'utilisation du graphe permet de proposer de nouvelles valeurs des modules de diverses récurrences du Nyong à Olama et Kaya, que l'on comparera aux résultats de l'analyse statistique (cf. 3.3.2.1.) pour laquelle l'insuffisance de l'effectif des échantillons a été soulignée (tableau 3.69).

Tableau 3.69.

		Décennal sec	Médiane	Moyenne	Décennale humide
Olama	$l/s.km^2$	9.4	11.8	11.9	14.9
	m^3/s	174	218	220	276
Kaya	$l/s.km^2$	9.6	12.1	12.3	15.2
	m^3/s	192	242	246	305

Ces valeurs sont d'une manière générale inférieures à celles précédemment déterminées et traduisent une faible dissymétrie de la distribution probable d'un échantillon qui aurait porté sur 25 années.

Dans le cas de la Mefou, nous nous en tiendrons aux valeurs de l'analyse statistique donnant des débits spécifiques médians de 13,2 l/s.km² pour la Mefou à Etoa et 14,0 l/s.km² pour la Mefou à Nsimalen.

Irrégularité interannuelle

Abordée dans la conclusion du chapitre « Données de Base » avec le coefficient de variation (CV = ET/MOY), l'irrégularité interannuelle des modules s'exprime également par le paramètre K3 qui est le rapport de la valeur décennale humide à la valeur décennale sèche.

Les valeurs de K3 et les limites de son intervalle de confiance à 80 % sont données ci-dessous :

Ayos	1,58	[1,44 — 1,74]
Akonolinga	1,54	[1,40 — 1,69]
Mbalmayo	1,58	[1,39 — 1,79]
Eséka	1,57	[1,39 — 1,77]
Dehane	1,62	[1,41 — 1,85]

Ces valeurs traduisent une faible irrégularité interannuelle, toutefois supérieure à celle observée sur le bassin de la Sanaga (K3 voisin de 1,41). Les variations d'une station à l'autre ne sont guère significatives.

3.3.2.3. Corrélations entre les modules des différentes stations du Nyong

Calculées de station à station voisine pour les 5 stations principales, ces corrélations se proposaient de déterminer les paramètres de la droite de régression et de préciser la qualité de la liaison interstations (coefficient r).

Le tableau ci-après (3.70) résume ces résultats ainsi que ceux obtenus pour les corrélations avec les stations secondaires (dont la qualité ne doit pas faire illusion, la confiance étant d'autant plus limitée que l'échantillon de couples est court).

Tableau 3.70.

y en m^3/s	=	a	. x (m^3/s)	+	b (m^3/s)	r corrélation (coef.)
Module Akonolinga	=	1.28	Module Ayos	+	19.25	r = 0.864
Module Mbalmayo	=	1.54	Module Akonolinga	+	11.87	r = 0.856
Module Eséka	=	1.61	Module Mbalmayo	+	27.6	r = 0.899
Module Dehane	=	1.66	Module Eséka	-	8.64	r = 0.911
Module Olama	=	1.51	Module Mbalmayo	-	10.65	r = 0.982
Module Kaya	=	1.01	Module Olama	+	28.81	r = 0.997
Module Eséka	=	1.08	Module Kaya	-	3.82	r = 0.997

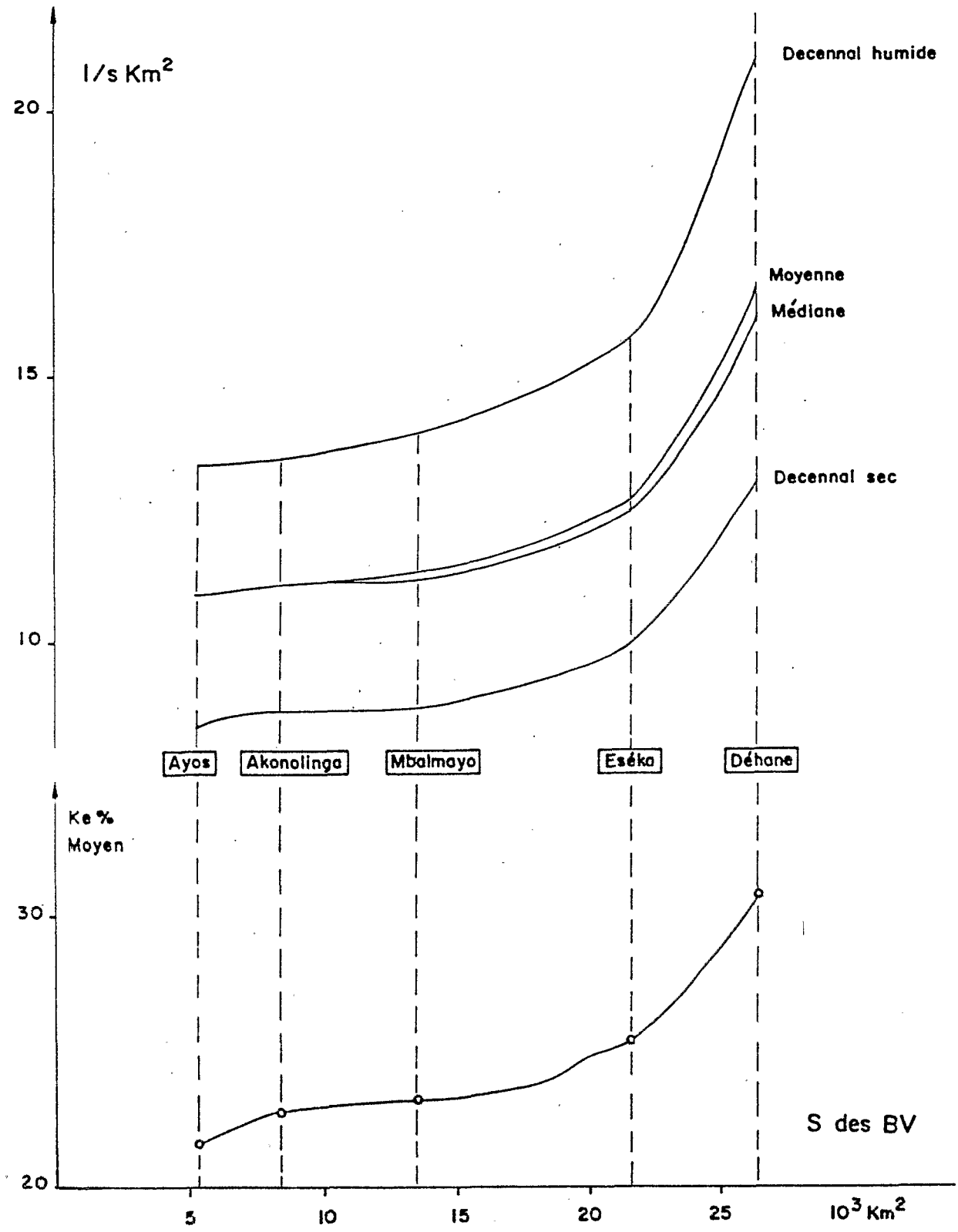


Fig. 3.47. – Variations des modules spécifiques et des coefficients d'écoulement du Nyong en fonction de la superficie des bassins.

3.3.3. Les termes du bilan hydrologique

L'équation du bilan hydrologique s'écrit : $P = He + Er + R_1 - R_0$ dans laquelle P est la hauteur de précipitation en mm, He est la lame d'eau écoulée en mm (c'est-à-dire le volume écoulé ramené par la superficie du bassin à une hauteur comparable à la hauteur de précipitation), Er est la lame d'eau prélevée par l'évapotranspirtion en mm, R_1 et R_0, respectivement les lames en mm mises en réserves, stockées dans le sol ou les nappes souterraines et restituées par ces mêmes aquifères au cours d'une période donnée.

$Er + R_1 - R_0 = P - He = De$, appelé déficit d'écoulement.

Deux termes du bilan annuel sont connus : P et He, et permettent la détermination du coefficient d'écoulement

$$Ke\ \% = \frac{He}{P} \cdot 100.$$

La pluviométrie moyenne P reçue par les différents bassins a été obtenue par la méthode de Thiessen à partir des observations effectuées aux différents postes (cf. ci-dessus 2.1). La lame d'eau écoulée He se déduit facilement à partir des modules.

3.3.3.1. Lames d'eau écoulées et précipitations annuelles – corrélations hydropluviométriques

Les lames écoulées ont été calculées pour chaque année hydrologique et mises en régression avec la hauteur de précipitations de l'année correspondante pour les différents bassins étudiés.

Coefficients de corrélation et équations de la droite de régression sont donnés ci-après :

Ayos	$He = 0{,}06\ P + 249$	$r = 0{,}194$
Akonolinga	$He = 0{,}18\ P + 70$	$r = 0{,}576$
Mbalmayo	$He = 0{,}21\ P + 18$	$r = 0{,}514$
Olama	$He = 0{,}25\ P - 29$	$r = 0{,}526$
Kaya	$He = 0{,}27\ P - 24$	$r = 0{,}54$
Eséka	$He = 0{,}30\ P - 86$	$r = 0{,}537$
Dehane	$He = 0{,}43\ P - 233$	$r = 0{,}487$

Un simple examen des coefficients de corrélation obtenus montre qu'il n'y a pas de corrélation étroite entre les lames écoulées et la pluviosité. Il y a bien entendu une certaine dépendance entre les deux termes, mais la liaison reste très lâche, en particulier pour le Nyong à Ayos. Ceci s'explique probablement par la répartition des pluies au cours de l'année, variant d'une année à l'autre et suscitant au niveau de la lame écoulée des réactions différentes suivant, par exemple, qu'un excédent pluviométrique sera observé en début ou en fin de saison des pluies.

Il est probable également que la faible densité du réseau pluviométrique (2 postes pour le bassin d'Ayos par exemple) ne donne pas toujours une image exacte des précipitations annuelles reçues par le bassin. Il serait vain dans ce cas d'espérer une nette amélioration de ces corrélations hydropluviométriques en traitant l'information à l'échelle du mois.

La figure 3.48 illustre la dispersion des corrélations hydropluviométriques annuelles du Nyong à Mbalmayo et du Nyong à Dehane.

3.3.3.2. Coefficients d'écoulement – Termes du bilan annuel

De l'étude des corrélations hydropluviométriques qui précède, il s'ensuit un échantillon de coefficients d'écoulement annuels très dispersé présentant peu d'intérêt en soi (de 14 à 28 % pour Ayos par exemple). En effet, après l'étude de prédétermination des modules, une étude statistique des coefficients d'écoulement n'apporterait pas d'information complémentaire, l'occurence de tel ou tel coefficient n'étant pas liée étroitement à l'occurence de telle ou telle hauteur de précipitations.

Le coefficient d'écoulement interannuel constitue une caractéristique des régimes des bassins, ne dépendant que de la lame d'eau écoulée interannuelle et de la hauteur de pluie moyenne interannuelle reçue par les bassins, valeurs moyennes définies dans l'étude statistique, d'où l'on déduit le déficit d'écoulement interannuel.

Le tableau 3.71 réunit ces valeurs moyennes et les valeurs extrêmes observées pour Ke et De.

La lame écoulée et le coefficient d'écoulement augmentent de l'amont vers l'aval avec la superficie des bassins, mais aussi la pluviosité. Cependant pour le haut-bassin, la pluviosité moyenne diminue d'Ayos à Mbalmayo, quand He et Ke augmentent. Cette « anomalie » s'explique par la morphologie des bassins et en particulier leur pente. Très faible à l'amont, la pente du réseau hydrographique, en retardant les vitesses d'écoulement (zones marécageuses), favorise l'évapotranspiration.

On notera la forte augmentation de Ke, d'Eséka à Dehane ; la partie du bassin située à l'aval d'Eséka (4 800 km²) reçoit, il est vrai, des précipitations beaucoup plus importantes que le bassin amont et son coefficient d'écoulement moyen dépasse 53 %.

Sur le bassin de la Sanaga, on observe une tendance générale à la diminution du coefficient d'écoulement lorsque la superficie des bassins augmente.

L'observation inverse constatée sur le Nyong ne constitue pas une caractéristique des régimes hydrologiques en zone forestière. Elle est seulement la conséquence de la conjonction de 2 facteurs déterminants, **pluviosité** et **hypsométrie** (traduite par Ip), qui augmentent de l'amont vers l'aval avec la superficie des bassins.

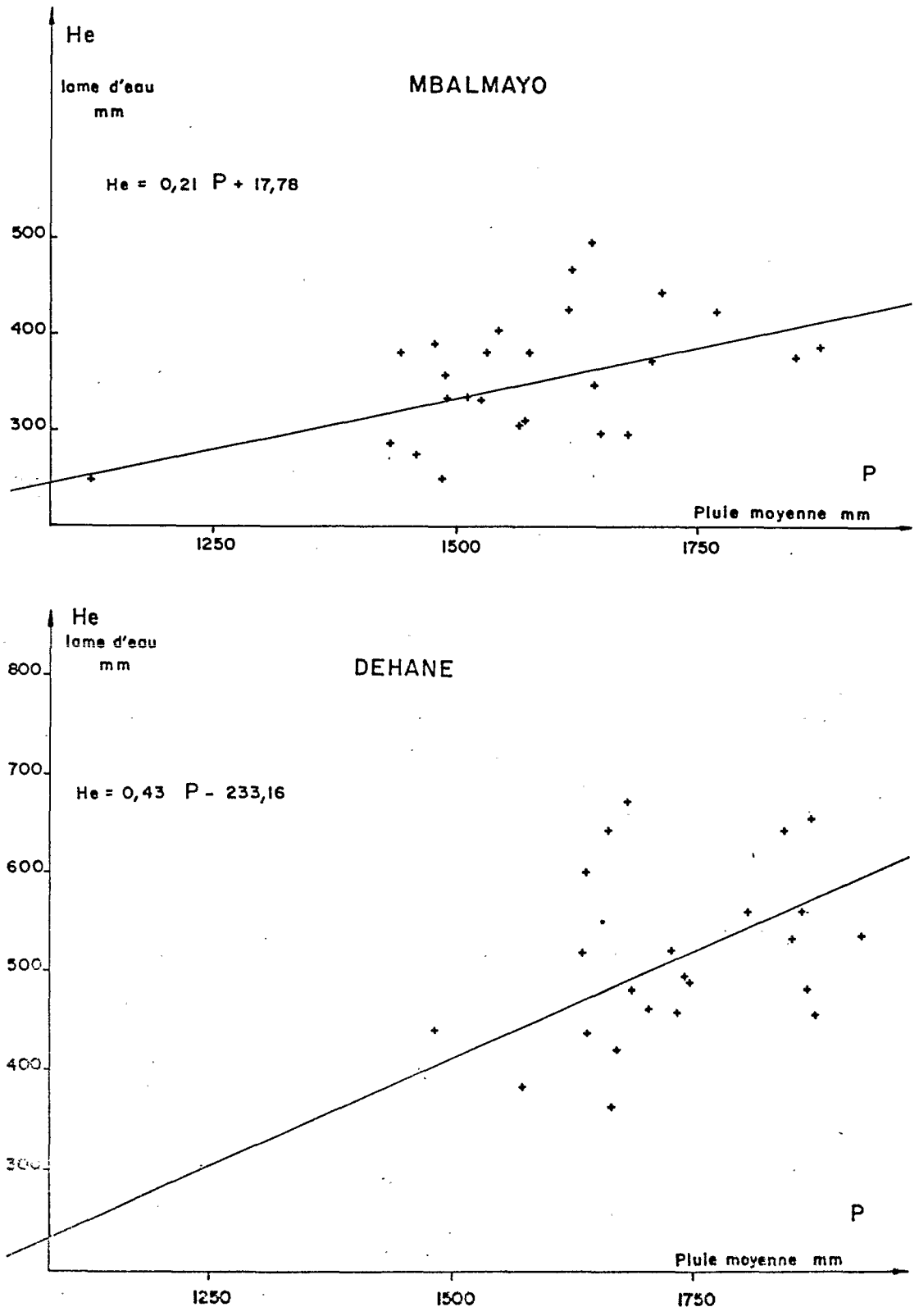


Fig. 3.48. – Corrélations hydropluviométriques.

Géographie et climatologie font que cette observation tend à se généraliser, on le verra, pour l'ensemble des fleuves côtiers.

3.3.3.3. Déficit d'écoulement

Le déficit d'écoulement correspond à la consommation d'eau par évapotranspiration d'une part, à laquelle s'ajoute, d'autre part, la différence entre le stock d'eau mis en réserves dans les aquifères souterrains (R_1) et le volume restitué provenant de ces mêmes réserves (R_0).

$$De = Er + R_1 - R_0.$$

Les variations de De d'une année à l'autre sont relativement importantes. La différence entre les valeurs extrêmes tend toutefois à diminuer de l'amont vers l'aval (de 852 mm à Ayos à 382 mm à Dehane).

Ces variations tiennent en partie à celles de Er, mais surtout aux conditions de stockage ou de restitution des réserves très variables suivant la configuration de l'année hydrologique considérée.

Dans le bilan interannuel, stockage et restitution des réserves tendent à s'équilibrer ($R_1 \neq R_0$) d'autant mieux que la période d'observation est longue, et le déficit d'écoulement moyen représente alors le seul paramètre Er, valeur moyenne de l'évapotranspiration réelle de la région.

Les résultats varient d'une station à l'autre entre 1 176 et 1 238 mm (tabl. 3.41 ; De = Er), variations assez peu significatives (imprécision sur la détermination de P), mais montrant toutefois de plus faibles valeurs pour les stations intermédiaires de Mbalmayo à Eséka.

Sur le bassin du Nyong, l'évapotranspiration réelle serait donc d'environ 1 200 mm.

Ces résultats sont à rapprocher du calcul de l'évapotranspiration potentielle calculée mois par mois par la formule empirique de L. Turc (cf. Chap. II, 2.1.4.) et dont la valeur annuelle est de l'ordre de 1 200 mm... dans la région du Nyong (se reporter à la fig. 2.14), avec, là aussi, des valeurs légèrement inférieures sur le cours moyen du Nyong.

Tableau 3.71.

Stations	N Années	Année moyenne P mm	He mm	De mm	Ke %	Valeurs extrêmes Maximum De mm	Maximum Ke %	Minimum De mm	Minimum Ke %
Ayos	26	1 581	343	1 238	21.7	1 652	27.7	800	14.6
Akonolinga	23	1 544	352	1 192	22.8	1 548	28.2	783	16.1
Mbalmayo	26	1 538	359	1 179	23.3	1 492	28.8	872	16.8
Olama*	12	1 563	*374*	*1 189*	*23.9*	1 455	31.0	982	18.4
Kaya*	10	1 565	*389*	*1 176*	*24.9*	1 428	31.3	959	19.8
Eséka	26	1 581	402	1 179	25.4	1 468	30.7	985	17.9
Dehane	25	1 732	528	1 204	30.5	1 420	42.3	1 038	21.7
Méfou à Etoa		1 597	*416*	*1 181*	*26,0*				
Méfou à Nsimalen		1 597	441	1 156	*27.6*				

* Pour Olama et Kaya, les valeurs données en italiques indiquent des estimations obtenues à partir des autres stations ; les lames moyennes de la période d'observation sont de 388 et 406 mm ; P : 1 629 et 1 640 mm et De = 1 241 et 1 234 mm.

Cette coïncidence entre les valeurs du déficit d'écoulement interannuel et de l'évapotranspiration potentielle, jusque dans ses nuances géographiques (cours moyen du Nyong), mérite d'être soulignée.

Elle implique que **l'évapotranspiration potentielle est quasiment satisfaite sur le bassin du Nyong.**

Les études effectuées sur les bassins représentatifs sous forêt d'Ottotomo près de Yaoundé ont d'ailleurs conduit aux mêmes résultats. Ces résultats montrent par ailleurs que pour les régions étudiées ici, la formule de L. Turc donnant l'ETP mensuelle constitue une très bonne approche de ce paramètre. On retrouve sur le Nyong une valeur de l'évapotranspiration assez commune dans les régions forestières bien arrosées.

L'étude du bilan mois par mois va nous permettre de préciser le comportement des bassins et nous confirmera que l'évapotranspiration réelle est très peu différente de l'évapotranspiration potentielle telle que calculée par L. Turc.

3.3.3.4. Bilan mois par mois

L'équation du bilan $P = He + Er + R_1 - R_0$, dans laquelle $De = Er + R_1 - R_0$, permet à partir d'hypothèses simples de préciser le cycle de l'eau à l'échelle du mois tout au long de l'année.

On suppose, avec Penmann (1954), que l'évapotranspiration potentielle est satisfaite lorsqu'elle est inférieure à la hauteur de précipitations : hypothèse vraisemblable surtout en région forestière. Pour 8 mois de l'année (mars, avril, mai, juin puis août, septembre, octobre et novembre), on aura Er = ETP.

On en déduit alors $(R_1 - R_0) = \Delta R$, en vérifiant l'équation du bilan :

- si ΔR est positif, il y a globalement mise en réserves, c'est-à-dire plus d'eau stockée que d'eau restituée dans l'écoulement général de la rivière ;
- si ΔR est négatif, il y a au contraire excédent de la restitution de réserves antérieurement stockées, par rapport au stockage de nouvelles réserves ;
- pour le mois de juillet (petite saison sèche), l'humidité de la forêt et de son sol incite à penser que l'ETP est encore satisfaite (d'autant plus qu'elle est relativement peu importante en juillet) ; ΔR participe à la lame écoulée et à l'évaporation ;
- pour les mois de décembre, janvier, février (grande saison sèche), on est conduit à équilibrer le bilan annuel en admettant, si l'ETP annuelle n'est pas totalement satisfaite (E > De), que Er décroît régulièrement en même temps que le stock d'eau disponible dans le sol.

La restitution des réserves ($-\Delta R$) assure alors l'essentiel de l'écoulement et de l'évaporation. Mais dans ce cas, la différence entre les valeurs annuelles de Er et ETP est si faible que seuls les mois de janvier et février paraissent devoir être réellement touchés par ce faible déficit d'évapotranspiration. La constance du couvert végétal aux divers étages de la forêt, sans jamais de traces d'un quelconque dépérissement, avec même, pour certaines espèces végétales, une activité biologique intense, consommatrice d'eau (floraison et fructification) pendant les mois de faible pluviométrie, montre bien d'ailleurs que tout au long de l'année, les réserves en eau du sol sont pratiquement suffisantes pour garantir la fourniture de la demande potentielle de l'évapotranspiration.

Le bilan mois par mois a été calculé pour les bassins du Nyong à Mbalmayo et du Nyong à Dehane.

Les différents termes du bilan ont été réunis dans le tableau 3.72 (où figurent également mois par mois pour Ayos, Akonolinga, Eséka, les termes P, He et De). Les hauteurs pluviométriques mensuelles ont été obtenues par la méthode de Thiessen. Les lames écoulées sont calculées à partir des débits moyens mensuels. Le déficit d'écoulement obtenu par différence peut devenir négatif (excédent d'écoulement pendant la saison sèche) ; c'est le cas en décembre.

L'évapotranspiration potentielle a été calculée par la formule de Turc. Pour le Nyong à Mbalmayo, nous avons retenu les résultats de l'ETP à Yaoundé. Pour le Nyong à Dehane, l'ETP est une moyenne des valeurs calculées pour Yaoundé et Douala.

Les termes $+\Delta R$ et $-\Delta R$ ont été séparés afin de mettre en évidence les périodes de stockage et les périodes de restitution.

Ainsi pour Mbalmayo, le bilan hydrologique mensuel s'écrit :

- en avril : $166 = 16 + 109 + \Delta R$, d'où $\Delta R = +41$ mm, donc mise en réserve de 41 mm ;
- mai et juin le stockage est de 68 et 33 mm, soit, pour les 3 mois, de 142 mm (143 mm avec le mois de mars qui a précédé) ;
- en juillet et août (petite saison sèche), évapotranspiration et écoulement sont supérieurs aux précipitations, d'où restitution des réserves de 37 mm en juillet et 13 mm en août, soit — 50 mm. La lame restée en réserves est encore de 93 mm ;
- en septembre-octobre (grande saison des pluies), les précipitations sont en partie stockées :
  . septembre : $236 = 28 + 87 + \Delta R$, d'où $\Delta R = 121$ mm,
  . octobre : $284 = 54 + 97 + \Delta$, d'où $\Delta R = 133$ mm, soit une mise en réserves de 254 mm, qui s'ajoute aux 93 mm de réserves antérieures, soit une lame stockée de 347 mm qui va être restituée pendant la grande saison sèche ;
- en novembre-décembre, on a respectivement :
  . $113 = 68 + 112 + \Delta R$, d'où $\Delta R = -67$,
  . $32 = 46 + 113 + \Delta R$, d'où $\Delta R = -127$, soit 194 mm restitués soit dans l'écoulement (tarissement), soit dans l'évapotranspiration de la forêt ;

Tableau 3.72. – Bilan mois par mois sur le Nyong (mm).

		A	M	J	J+	A+	S	O	N	D	J	F	M	Année
Mbalmayo	P	166	199	151	68	89	236	284	113	32	25	49	126	1 538
	He	16	25	29	28	21	28	54	68	46	22	10	11	359
	De	150	174	122	40	67	208	230	45	-14	3	39	115	1 179
	ETP	109	106	89	77	80	87	97	112	113	117	117	114	1 218
	Er	"	"	"	"	"	"	"	"	"	102	93	"	1 179
Stockage	+ ΔR	41	68	33	-	-	121	133	-	-	-	-	1	+ 397
Restitut	- ΔR	-	-	-	37	13	-	-	67	127	99	54	-	- 397
Dehane	P	191	219	162	82	111	263	309	133	37	29	52	141	1 732
	He	28	42	46	37	32	59	94	87	49	25	13	16	528
	De	163	177	166	45	79	204	215	46	-12	4	39	128	1 204
	ETP	117	112	90	72	74	83	100	112	110	120	121	122	1 233
	Er	"	"	"	"	"	"	"	"	"	109	103	"	1 204
Stockage	+ ΔR	46	65	26		5	121	115					6	+ 384
Restitut	- ΔR				27				66	122	105	64		- 384
Ayos	P	164	202	162	75	95	246	290	108	34	26	56	123	1 581
	He	12	20	28	31	24	25	58	69	40	19	8	9	343
	De	151	182	134	44	71	221	232	39	-14	7	48	114	1 238
Akonolinga	P	161	199	156	71	92	242	284	107	34	25	53	119	1 544
	He	12	19	26	31	27	26	52	69	48	25	10	7	352
	De	150	180	130	40	65	216	232	38	-16	0	43	112	1 192
Eséka	P	178	203	151	67	85	232	290	124	35	27	52	137	1 581
	He	23	33	36	28	22	33	65	73	43	21	11	14	402
	De	155	170	115	39	63	199	225	51	-8	6	41	123	1 179

- en janvier-février, on équilibre le bilan annuel en admettant un déficit dans l'évapotranspiration, estimé à 102 et 93 mm. La restitution des réserves est respectivement de 99 et 54 mm pour janvier et février, soit épuisement du stock de 347 mm ;
- en mars, les précipitations sont de nouveau abondantes et il y a stockage de 1 mm (déjà pris en compte) ; mars constitue, au niveau du bilan, le 1er mois de l'année hydrologique.

On note donc pour le Nyong à Mbalmayo 6 mois pendant lesquels il y a excédent des mises en réserves par rapport à leur restitution, les mois de plus forte pluviométrie, et six mois pendant lesquels s'observe la situation inverse (saison sèche).

Pour le Nyong à Dehane, la détermination du bilan mois par mois aboutit à des résultats voisins. La petite saison sèche se traduit par une phase de restitution des réserves de 1 mois seulement (pour 2 sur Mbalmayo), ce qui correspond sur l'année à 7 mois de stockage, pour 5 mois de restitution.

La figure 3.49 illustre pour ces deux bassins les variations des termes principaux du bilan mois par mois déterminés dans cette étude. La même étude pour les bassins d'Ayos, Akonolinga et d'Eséka n'apporte pas d'information complémentaire sur les variations des termes du bilan mensuel.

Bien que cette étude ne constitue qu'un schéma simplifié du comportement réel des bassins, il paraît possible de préciser les variations vraisemblables des réserves du sol, par le cumul mois par mois des phases de stockage et de restitution ($+\pm R$) déteminées dans ce bilan établi sur l'année moyenne.

En commençant l'année hydrologique en mars, on a alors :

Tableau 3.73. – Évolution des réserves (en mm).

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Févr
Nyong à Mbalmayo	1	42	110	143	106	93	214	347	280	153	54	0
Nyong à Dehane	6	52	117	143	116	121	242	357	291	169	64	0

L'amplitude maximale des variations est de 347 mm pour Mbalmayo, 357 mm pour Dehane.

On peut s'attendre à retrouver sur des bassins homogènes des fluctuations moyennes des nappes souterraines comparables pour autant que leur extension soit généralisée. La balance du niveau piézométrique dans un matériau aquifère de porosité 10 % serait alors en moyenne de l'ordre de 3,50 m.

3.4. Conclusions

Au terme de ce chapitre d'interprétation des données hydrologiques du Nyong, nous indiquons un certain nombre de rapports entre modules, étiages et crues (valeurs médianes et décennales), significatifs de l'amplitude des variations saisonnières.

Tableau 3.74.

	Ayos	Akonolinga	Mbalmayo	Eséka	Dehane
Module médian / Etiage médian	7.38	6.97	5.91	5.30	5.82
Mod. dec. humide / Etiage dec. sec	16.7	15.6	13.0	10.8	13.0
Mod. med. / crue med.	0.365	0.388	0.403	0.356	0.317
Mod. dec. sec / Crue dec. humide	0.220	0.249	0.250	0.215	0.208
Crue med. / Etiage med.	20.2	18.0	14.7	14.9	18.4
Crue dec. humide / Etiage dec. sec	48.2	40.7	33.0	31.9	38.6

Les variations de ces différents rapports de l'amont vers l'aval confirment ce qui a été souligné tout au long de ce chapitre, à savoir la mise en évidence de régimes hydrologiques différents dans le détail, entre les parties amont et aval du bassin du Nyong. Mbalmayo constitue la charnière des deux types de comportement qui ont été définis. Rappelons que ces comportements hydrologiques différents s'expliquent par les variations des hauteurs de précipitation et des formes de relief différentes :

Bassin amont	Bassin aval
Précipitations moyennes	Fortes précipitations
Très faibles pentes	Fortes pentes

A la suite de l'analyse des données recueillies sur les fleuves côtiers, nous reprendrons l'ensemble des résultats pour les replacer dans leur contexte géographique général.

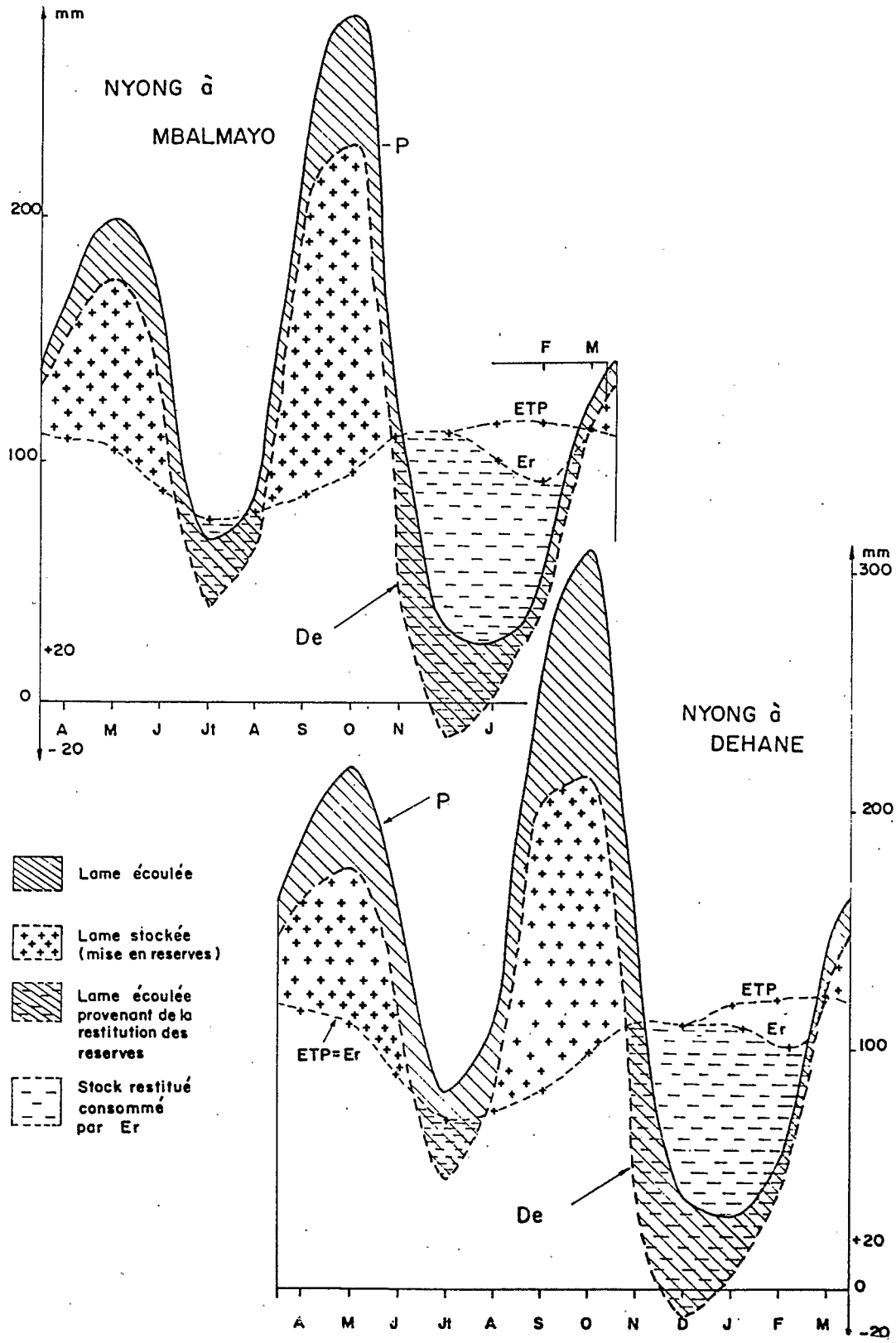


Fig. 3.49. – Bilan mois par mois sur le Nyong.

CHAPITRE IV

Régimes hydrologiques des autres fleuves côtiers et conclusions

L'étude des régimes hydrologiques des fleuves côtiers, autres que le Nyong, a été divisée en deux parties regroupant :

1° Les fleuves côtiers au sud du Nyong, pour lesquels le régime assez voisin de celui du Nyong est caractérisé par le climat équatorial de transition à 4 saisons.

2° Les fleuves côtiers à l'ouest de la Sanaga pour lesquels le régime climatique est essentiellement marqué par 2 saisons, dont une longue et abondante saison des pluies.

Pour chaque fleuve ou cours d'eau, le plan de l'étude a été calqué sur celui du Nyong, de même que les méthodes d'analyse et la présentation des résultats sur lesquelles nous ne revenons pas. Pour quelques stations, certains aspects des régimes hydrologiques n'ont pu être développés, faute d'observations suffisamment longues.

Ce chapitre fait la synthèse des connaissances actuelles qui devront toutefois être précisées dans l'avenir, notamment dans les provinces du Sud-Ouest et du Nord-Ouest où le réseau hydrométrique est d'implantation récente.

1. LES FLEUVES CÔTIERS AU SUD DU NYONG

Les fleuves côtiers camerounais au sud du Nyong sont la Lokoundjé, la Kienké, la Lobe et le Ntem.

Ils drainent l'ensemble du bassin versant atlantique camerounais au sud du Nyong, les régions est étant drainées par des tributaires du fleuve Congo (et pour une faible part de l'Ogoué). Seules quelques petites rivières échappent à ces fleuves côtiers, drainant une petite frange côtière de moins de 500 km² au total. L'infrastructure hydrométrique est des plus réduites. Elle comprend une seule station pour la Lokoundjé (haut-bassin), la Kienské et la Lobe.

Pour le Ntem, la partie camerounaise du bassin versant comprend 3 stations, dont deux sur le fleuve lui-même et une sur le Seng, petit affluent représentatif de la région d'Ebolowa. L'information hydrologique est donc relativement limitée. Elle va cependant permettre de préciser le régime de ces fleuves côtiers, par rapport à celui du Nyong, régime hydrologique qui s'articule :

1° Sur une tendance équatoriale de plus en plus marquée en allant vers le sud.

2° Sur des précipitations de plus en plus abondantes en allant vers le Littoral, vers l'ouest.

1.1. La Lokoundje

1.1.1. Généralités

Immédiatement au sud du cours inférieur du Nyong, la Lokoundje se jette dans l'océan à quelques kilomètres seulement de l'embouchure du Nyong après un parcours de 216 km.

Issue des contreforts ouest du plateau du Centre-Sud, la Lokoundje draine une région au relief bien marqué sur des terrains essentiellement métamorphiques, constitués en majeure partie de gneiss leucomésocrates à texture rubannée prédominante, et de gneiss leptynitiques ou d'orthogneiss calco-alcalins. Le réseau hydrographique du haut-bassin, en amont de Lolodor, est constitué de deux branches principales : la Lokoundje proprement dite dont les affluents montrent un cours général orienté Est-Ouest et l'Akié, venant du Sud-Est.

Le chevelu hydrographique individualise de nombreux petits massifs de plus de 900 m d'altitude (point culminant 983 m). Les vallées sont encaissées. Des pentes fortes amènent la Lokoundje à 436 m d'altitude à Lolodorf. Le fleuve a alors pris une orientation Est-Sud-Ouest, qu'il va suivre sur 50 km, en longeant le pied de la chaîne de Ngovayang qui atteint 1 090 m d'altitude, point haut de l'ensemble du bassin de la Lokoundje. L'obstacle de cette chaîne de montagne est franchi à Bipindi où le fleuve n'est plus qu'à 70 m d'altitude. A Bipindi, le fleuve reçoit en rive droite la Mougue drainant le versant Sud-Est de la chaîne de Ngovayang, et la Tchangue en rive gauche. La Lokoundje prend une direction générale Est-Ouest et sa pente devient faible ; elle franchit les derniers rapides à Elon (route Edéa-Kribi) ; les reliefs du bassin en aval de Bipindi sont peu prononcés et il n'y a pas d'affluents importants.

Le bassin versant de la Lokoundje couvre une superficie totale de 5 200 km².

La Lokoundje n'a été étudiée qu'à Lolodorf. Son bassin versant n'est alors que de 1 150 km² et correspond sur les plans climatique et morphologique à la partie aval du bassin du Nysong comprise entre les stations de Kaya et d'Eséka. Ses caractéristiques de forme sont les suivantes :

Tableau 4.1. – Lokoundje à Lolodorf

Débits moyens mensuels et annuels en m³/s

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51										6.6	9.1	19.4	
51-52	17.6	9.0	10.1	14.6	8.5	15.9	63.5	61.2	15.2	7.2	6.1	6.2	19.8
52-53	20.8	34.1	31.7	21.9	11.5	17.5	60.8	39.4	16.1	8.4	6.6	13.8	23.6
53-54	24.3	28.8	29.3	19.0	9.3	19.4	38.7	50.0	13.1	6.8	10.3	12.3	21.8
54-55	26.8	32.0	71.9	22.6	11.5	22.7	55.9	49.9	20.6	9.0	7.7	20.5	29.3
55-56	32.3	32.9	29.5	15.3	10.5	25.2	45.0	51.7	15.4	7.4	8.5	20.9	24.6
56-57	55.4	46.1	48.4	15.8	8.0	21.9	58.1	55.1	20.9	10.0	3.8	14.2	29.9
57-58	25.5	24.6	18.1	10.5	7.4	29.8	51.3	74.1	34.4	12.7	6.7	8.8	25.4
58-59	25.0	29.1	14.7	6.3	4.2	11.2	39.1	40.8	20.4	8.1	4.0	6.0	17.5
59-60	17.8	27.9	14.4	7.8	11.2	30.6	63.9	61.9	21.6	10.0	6.0	11.2	23.7
60-61	20.5	32.5	30.1	20.4	14.4	36.7	67.5	61.2	24.7	12.5	5.9	7.3	27.9
61-62	25.5	20.1	14.2	6.5	3.1	24.2	49.1	37.9	11.4	4.3	2.8	19.0	18.3
62-63	42.2	42.6	38.4	19.8	9.3	43.1	67.6	55.5	26.5	11.3	8.1	12.1	31.4
63-64	30.5	32.3	25.4	24.4	10.0	69.9	72.0	53.3	14.7	8.8	8.5	15.6	30.4
64-65	40.1	51.4	52.1	13.7	13.9	61.9	131	178	108.1	4.9	16.5	57.8	47.8
65-66	26.6	20.8	63.7	22.1	20.0	61.3	73.9	34.3	22.7	14.8	20.1	25.5	34.6
66-67	28.6	58.0	61.2	49.9	26.9	21.3	76.7	94.5	32.5	18.1	10.8	6.72	40.6
67-68	9.15	33.6	80.8	13.1	16.1	29.4	56.5	112.8	*30*	8.1	6.0	19.1	*34.5*
68-69	20.20	29.3	*35*	11.3	8.7	24.6	49.5	48.3	22.1	8.7	8.0	32.9	*25.1*
69-70	37.0	37.9	30.2	14.4	18.2	43.7	54.8	51.9	21.3	9.7	6.1	12.7	28.3
70-71	32.8	46.6	44.4	19.3	29.3	56.0	101	79.3	21.4	10.3	6.0	11.2	38.3
71-72	18.30	39.2	33.7	17.1	26.6	30.5	93.0	53.8	*20*	7.5	6.5	20.0	*30.7*
72-73	30.30	29.0	38.1	12.9	10.9	28.7	63.0	47.3	17.4	7.6	5.7	9.70	25.0
73-74	27.20	33.4	49.0	21.6	17.0	32.8	69.7	29.1	14.4	8.5	6.9	12.5	26.9
74-75	22.6	24.1	22.5	6.5	5.0	48.8	42.8	8.9	24.1	7.4	5.8	11.2	19.2
75-76	29.20	29.9	24.1	32.8	9.7	17.3	44.7	72.8	21.5	8.5	9.7	19.2	26.6
76-77	30.3	31.8	36.0	15.4	10.2	20.6	108.0	87.9	23.5	11.4	9.70	8.60	32.9
MED.	26.7	32.1	32.7	15.6	10.7	29.0	61.9	53.5	21.3	8.50	6.70	12.7	27.4
ET.	9.24	10.2	18.3	9.10	7.38	15.8	22.1	32.0	18.0	2.91	3.59	10.5	7.1
MOYE.	27.6	33.0	36.4	17.5	13.1	32.5	65.3	61.2	24.4	9.21	7.84	16.1	28.2
Q1	30.5	37.9	48.4	21.6	16.1	43.1	72.0	72.8	24.1	10.3	9.10	19.4	32.1
Q3	20.8	28.8	24.1	12.9	8.70	21.3	49.5	47.5	16.1	7.50	6.00	9.70	23.6

S (km²)	Périmètre (km)	Kc	Rectangle équivalent : L (km)	l (km)
1 150	150	1,24	53	22

Le profil en long a été donné figure 4.1.

La pente moyenne des 60 % médians du profil est de 3,8 m/km.

1.1.2. Données de base de la Lokoundje à Lolodorf

La hauteur de précipitation annuelle reçue en moyenne par le bassin est mal connue, par suite de l'absence d'un réel réseau pluviométrique. Le dessin des courbes isohyètes a été estimé à partir des postes de Lolodorf, Makak et Ebolowa.

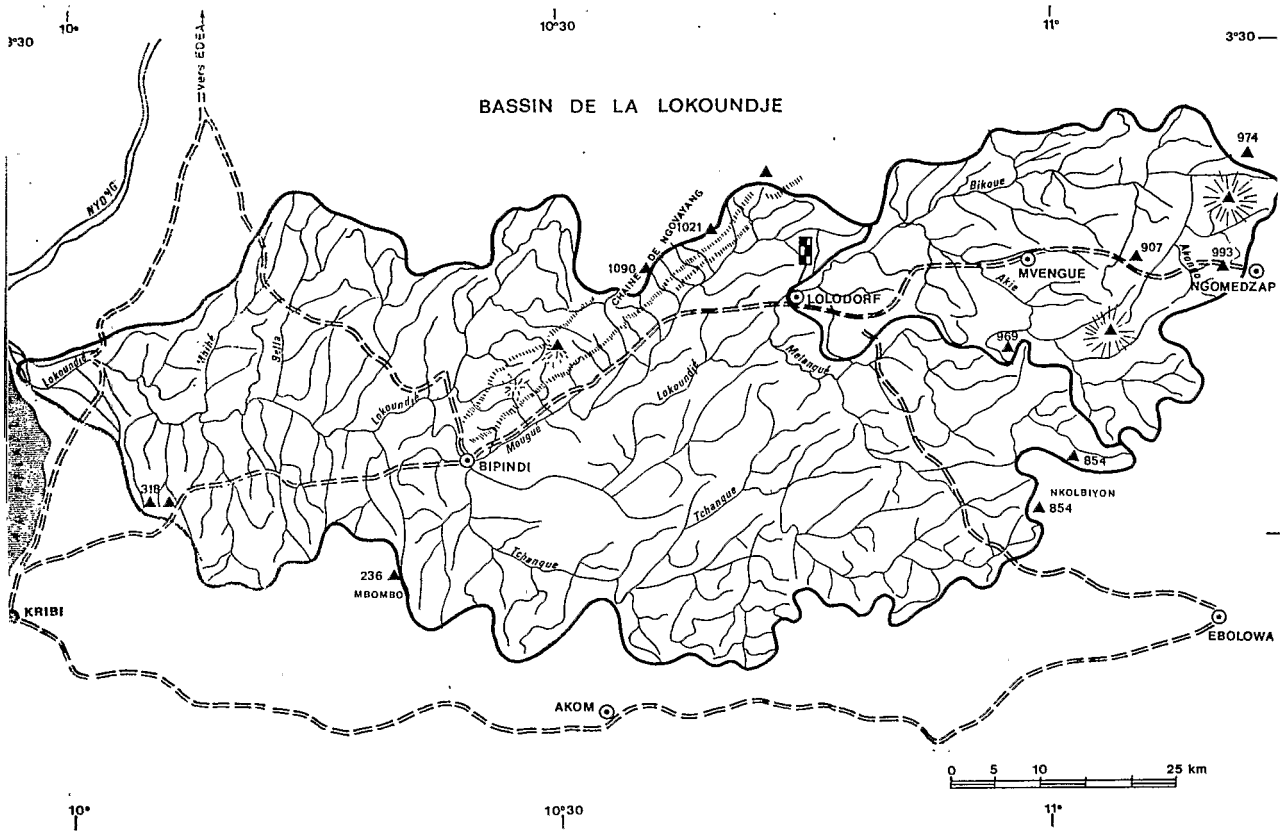
La lame d'eau précipitée en année moyenne serait de l'ordre de 1 880 mm.

Les données de base indiquées dans les tableaux 4.1 et 4.2 portant sur les débits mensuels et les débits caractéristiques pour 26 années d'observation montrent :

- un module interannuel de 28,2 m³/s, soit 24,5 l/s.km² ;
- un étiage médian observé de 3,30 m³/s, soit 2,87 l/s.km², avec un débit minimum sur la période de 1,0 m³/s, 0,87 l/s.km² (1962) ;
- un maximum de crue médian de 118,5 m³/s, soit 103 l/s.km² ; et un maximum sur la période de 220 m³/s, soit 191 l/s.km² (1976).

Tableau 4.2. – Lokoundje à Lolodorf

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	05/3	2.8	3.6	5.3	7.2	10.0	20.9	66.0	82.0	100	01/11
52-53	22/2	3.3	4.0	5.5	10.6	16.4	31.0	54.0	71.0	111	21/10
53-54	10/3	3.2	4.5	7.2	9.8	16.4	28.9	46.0	62.0	89.0	17/11
54-55	22/2	3.2	4.2	7.2	12.0	20.4	40.0	64.0	87.0	216	09/06
55-56	20/2	3.6	5.1	6.8	11.4	20.0	33.0	49.0	66.0	120	06/11
56-57	14/2	2.2	3.0	4.9	10.0	22.0	46.0	69.0	89.0	109	27/10
57-58	06/3	3.5	4.5	5.5	8.8	15.7	36.0	62.0	80.0	118	03/11
58-59	26/2	1.7	2.8	3.3	4.9	11.2	25.4	42.0	54.0	67.0	11/05
59-60	02/3	3.3	3.6	5.1	7.6	14.3	34.0	64.0	75.0	114	31/10
60-61	16/3	3.3	4.5	6.5	12.3	20.9	36.0	69.0	84.0	120	04/11
61-62	04/3	1.0	2.0	2.8	5.1	11.4	26.5	49.0	58.0	69.0	27/10
62-63	17/3	3.0	5.9	7.6	11.2	26.5	49.0	69.0	76.0	114	21/04
63-64	29/2	2.9	5.5	7.6	10.0	16.4	42.0	71.0	89.0	120	07/10
64-65	31/1	2.2	2.9	3.6	11.4	46.0	78.0	166	190	200	09/11
65-66	01/8	8.8	11.4	14.6	20.0	25.4	45.0	75.0	89.0	99.0	22/09
66-67	11/3	2.9	4.5	8.8	18.6	29.5	62.0	71.0	150	160	07/11
67-68	12/3	4.2	4.9	6.1	8.8	20.9	39.0	93.0	120	160	26/11
68-69	15/2	3.0	3.8	7.2	10.3	20.4	33.0	54.0	67.0	78.0	11/10
69-70	17/2	3.5	4.7	7.4	11.7	20.0	39.0	62.0	78.0	91.0	19/09
70-71	10/2	4.7	5.3	7.4	12.9	25.4	49.0	88.0	133	183	04/11
71-72	10/1	3.3	5.5	6.3	13.6	28.3	35.0	84.0	104	127	13/10
72-73	18/3	3.5	4.7	6.1	9.5	19.5	34.0	56.0	75.0	86.0	24/10
73-74	21/2	3.8	5.3	7.2	11.7	19.1	36.0	57.0	77.0	125	22/10
74-75	15/8	2.9	3.3	4.7	7.0	16.4	34.0	66.0	92.0	119	28/10
75-76	05/2	3.3	5.5	7.6	10.6	20.4	34.0	60.0	83.0	136	07/11
76-77	14/2	5.1	6.3	7.4	10.9	18.6	37.0	89.0	118	220	28/10
MED.		3.30	4.50	6.65	10.6	20.0	36.0	65.0	82.5	118.5	
ET.		1.38	1.73	2.22	3.35	7.19	11.6	23.7	30.4	41.8	
Q1		3.50	5.30	7.40	11.7	22.0	42.0	71.0	92.0	136	
Q3		2.90	3.60	5.30	8.80	16.4	33.0	56.0	75.0	99.0	



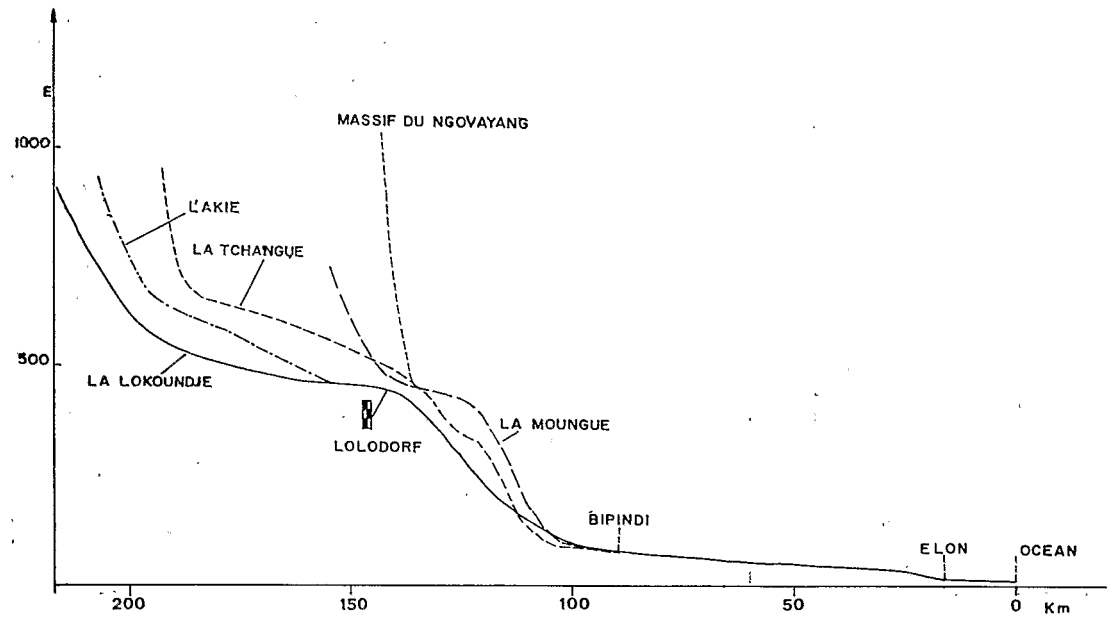


Fig. 4.1. – Bassin et profil en long de la Lokoundje.

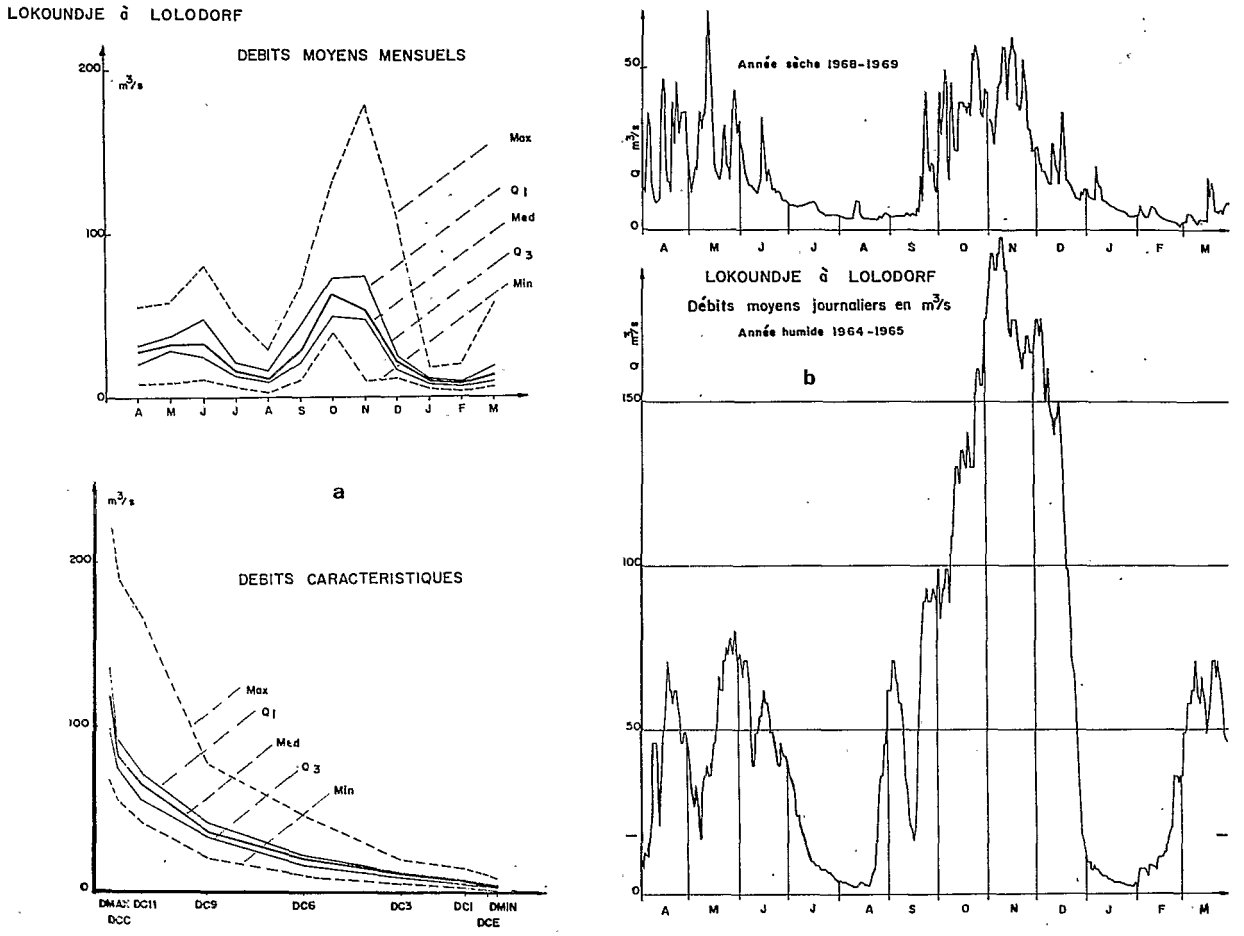


Fig. 4.2. – Débits de la Lokoundje à Lolodorf.

Les graphes de la figure 4.2 a montrent les variations des débits mensuels et caractéristiques pour les valeurs extrêmes, les quartiles et médianes. La figure 4.2 b donne 2 exemples d'hydrogrammes annuels.

1.1.3. Les basses-eaux

Le tarissement

Pendant la période des basses-eaux, les débits de la rivière sont essentiellement alimentés en décembre et janvier par le tarissement des nappes du bassin. Les épisodes pluvieux de saison sèche sont cependant assez nombreux pour masquer, certaines années, le tarissement pur. Celui-ci n'est pratiquement jamais observé pendant la petite saison sèche. D'une année à l'autre, les coefficients de tarissement sont très variables, de 0,036 à 0,021, avec une valeur moyenne de 0,0286. Exceptionnellement, et en dessous de 4 à 5 m³/s, on peut observer un tarissement secondaire plus lent (α = 0,011 à 0,015).

Les étiages absolus

Les étiages absolus apparaissent 24 fois sur 26 pendant la grande saison sèche, répartis sur janvier, février, mars et 2 fois en août, comme indiqué ci-après (le mois a été divisé en décades 1, 2 et 3) (tableau 4.3).

Tableau 4.3

Mois	Janvier			Février			Mars			Août	
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Nombres d'étiages	1	0	1	2	5	5	5	5	0	1	1

La distribution statistique des dates d'apparition des étiages montre que les étiages absolus de grande saison sèche apparaissent, avec 60 % d'occurrence, entre le 14 février et le 9 mars, la date médiane se situant le 26 février.

Par rapport à cette date, l'occurrence d'observer sous ces latitudes un démarrage précoce de la saison des pluies est plus grande que celle d'observer un

retard. Ceci explique la dissymétrie hypogaussique de la distribution des dates d'étiages absolus, celles-ci étant plus précoces qu'elles ne seraient tardives, pour une même fréquence de retour.

L'échantillon des étiages absolus présente une forte dispersion pour laquelle l'ajustement hypergaussique de lois dissymétriques ne s'est pas révélé très satisfaisant ; ceci peut être dû à une mauvaise extrapolation vers les plus basses-eaux de la relation hauteur-débit.

L'ajustement par la loi de Galton et de Gumbel donne des résultats voisins (voir figure 4.3), reportés ci-après pour quelques récurrences caractéristiques (tableau 4.4).

Tableau 4.4

Etiage de la LOKOUNDJE à LOLODORF	Moyenne	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	-	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	3.42	3.21	2.36	1.99	1.72	1.45
$l/s.km^2$	2.97	2.79	2.05	1.73	1.50	1.25

Le débit le plus faible ayant été estimé à 1 m^3/s, sa faible occurrence nous a incité à corriger les 4 débits les plus bas suivant un ajustement graphique à l'échantillon de valeurs dépassées dans 80 % des cas. On aboutit à une nouvelle prédétermination des étiages (tableau 4.5).

Tableau 4.5

Etiages de la LOKOUNDJE à LOLODORF	Moyenne	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	-	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	3.5	3.2	2.80	2.55	2.35	2.15
$l/s.km^2$	3.04	2.79	2.43	2.22	2.04	1.87

L'ensemble des valeurs ainsi indiquées donne une fourchette probable des étiages de la Lokoundje pour diverses périodes de retour.

Nous retiendrons les valeurs moyennes des étiages absolus spécifiques :
- de 3 $l/s.km^2$ pour l'étiage absolu moyen ;
- de 2,8 $l/s.km^2$ pour l'étiage absolu médian ;
- de 2 $l/s.km^2$ pour l'étiage absolu décennal sec.

L'étude de corrélations entre débits caractéristiques montre des relations de qualité moyenne, qualité moyenne due probablement à l'incidence des basses-eaux de la 2e saison sèche.

On a, pour le débit d'étiage non dépassé pendant 10 jours :

$$DCE = 1{,}16\ Dmin + 0{,}74\ r = 0{,}923 ;$$

et pour le débit non dépassé pendant 30 jours :

$$DC_1 = 1{,}37\ Dmin + 1{,}89\ r = 0{,}852.$$

1.1.4 Les crues

L'hydrogramme annuel présente deux périodes de hautes-eaux aux deux saisons des pluies d'inégale ampleur.

Le maximum annuel apparaît généralement au cours de la grande saison des pluies. Le maximum de la petite saison des pluies est cependant plus fort que sur le Nyong. Ainsi sur l'ensemble des 26 années d'observation, le maximum principal est apparu 3 fois pendant la petite saison des pluies. La crue de printemps dépasse 21 fois sur 26 la crue minimale de la grande saison des pluies et 4 fois la valeur du quartile annuel moyen. La crue du 9 juin 1954 constitue le 2e plus fort débit de l'échantillon de 26 années.

Le caractère équatorial du climat est plus marqué que sur le Nyong. La date d'apparition du maximum de « petite saison des pluies », généralement secondaire, peut varier de début avril à la mi-juillet. Elle a été décomptée par décades ci-après.

Tableau 4.6

Mois	Petite saison des pluies										
	Avril			Mai			Juin			Juillet	
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
n Max	1	1	2	1	2	8	5	1	2	2	1
Max annuel		1			1			1			

Le maximum secondaire est centré sur la dernière décade de mai et la première de juin.

Le maximum de « grande saison des pluies », maximum annuel dans 90 % des cas, apparaît de septembre à novembre suivant le décompte donné ci-dessous par décades.

Tableau 4.7

Mois	Grande saison des pluies								
	Septembre			Octobre			Novembre		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
n Max	0	1	2	1	2	8	9	2	1

La distribution des dates d'apparition de la crue maximale est hypogaussique. La date médiane se situe le 30 octobre et est comprise dans 60 % des cas entre le 15 octobre et le 12 novembre.

L'échantillon des débits maximums a été ajusté à diverses lois de distribution. Les meilleurs ajustements sont obtenus avec les lois de Gumbel, Galton et Frechet. La figure 4.3 donne l'ajustement des maximums annuels suivants une loi de Galton.

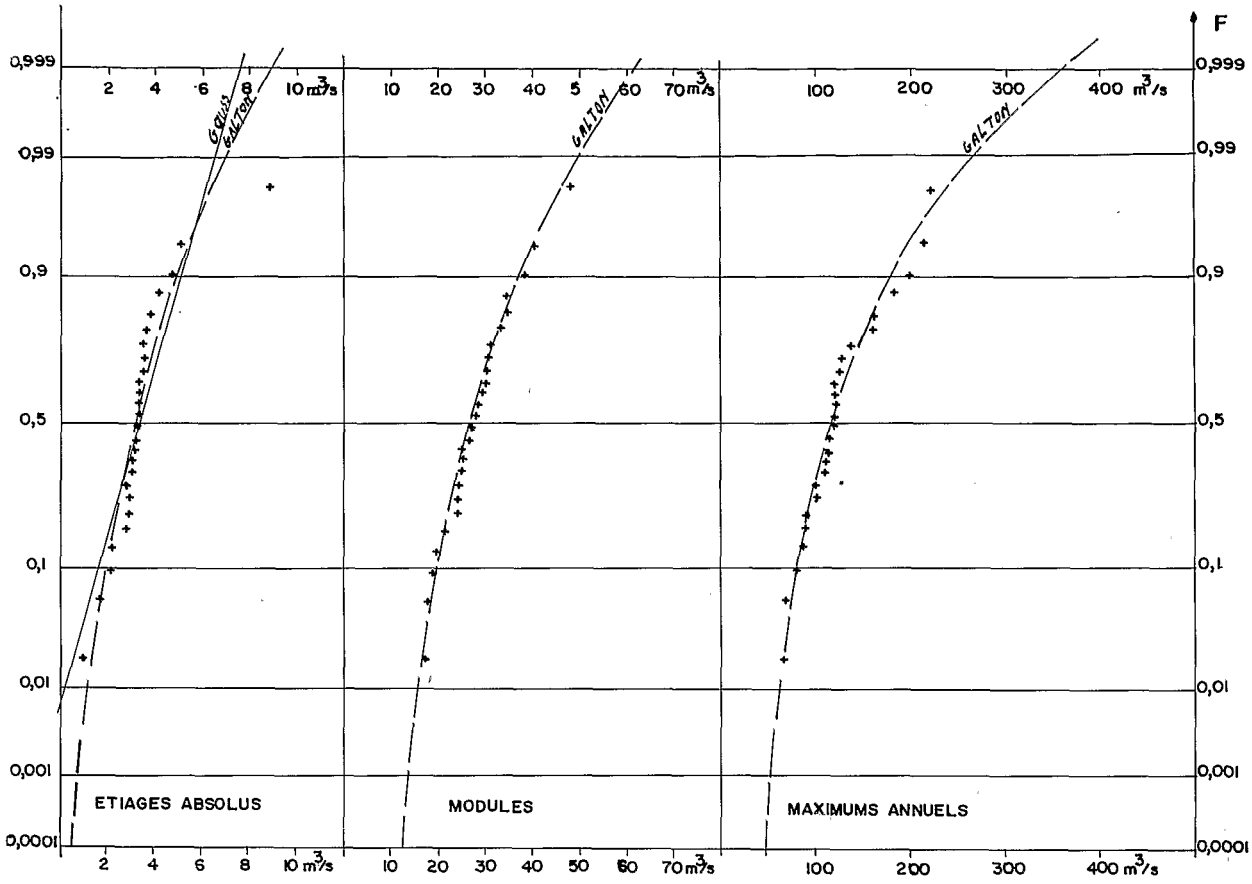


Figure 4.3. – Distributions statistiques sur la Lokoundje à Lolodorf

Les résultats de prédétermination des débits de pointes de diverses récurrences sont données ci-après (tableau 4.8).

Tableau 4.8

Maximums crues de la LOKOUNDJE à LOLODORF	Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	-	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	117	125	153	179	204	239	266
$l/s.km^2$	102	109	133	156	177	208	231

L'étude de corrélations entre les débits caractéristiques de crue aboutit à des relations assez lâches qui s'expliquent par la taille du bassin favorisant l'occurrence d'événements de crues indépendantes les unes des autres.

Les équations des droites de régression sont les suivantes :

- pour le débit dépassé pendant 10 jours :

$$DCC = 0{,}54\ Dmax + 23{,}2 \quad r = 0{,}739 ;$$

- pour le débit dépassé pendant 30 jours :

$$DC_{11} = 0{,}37\ Dmax + 23{,}4 \quad r = 0{,}644.$$

1.1.5 Modules et termes du bilan

L'étude fréquentielle des modules met en évidence une dissymétrie positive assez marquée pour laquelle un ajustement suivant une loi de Galton paraît le mieux approprié (fig. 4.3).

Les caractéristiques de la distribution des modules de récurrences données en années sèches et humides, sont indiquées dans le tableau 4.9 en m^3/s, $l/s.km^2$ et lames d'eau écoulées (He en mm).

Tableau 4.9

Modules de la LOKOUNDJE à LOLODORF	Années sèches			Médiane	Moyenne	Années humides		
Périodes de retour (ans)	100	50	10	2	-	10	50	100
m^3/s	16.3	17.2	20.2	27.2	28.2	37.5	46.0	49.5
$l/s.km^2$	14.2	15.0	17.6	23.7	24.5	32.6	40	43
He mm	448	473	555	747	773	1028	1261	1356

Le coefficient K3 est égal à 1,85.

Avec une hauteur de précipitations moyennes annuelles de 1 880 mm, le débit d'écoulement

représentant l'évapotranspiration réelle serait de 1 107 mm, valeur qui ne couvre pas complètement les besoins de l'évapotranspiration potentielle estimée à environ 1 180 mm pour la région. Le coefficient d'écoulement est de 41 %.

1.2. La Kienke et la Lobe à Kribi

1.2.1. Généralités

Ces deux petits fleuves se jettent dans l'Océan à quelques kilomètres de distance, la Kienke au nord par une succession de rapides dans le petit port de Kribi, la seconde par des chutes directement dans la mer.

Leurs bassins versants sont entièrement occupés par la forêt équatoriale dense encore peu exploitée, peu habitée. La récente publication de cartes en courbes de niveau a permis de préciser les limites des bassins versants jusqu'alors estimées à partir du chevelu hydrologique principal et des quelques reliefs, assimilés un peu vite aux limites de bassins.

C'est ainsi que le bassin versant de la Kienke a une superficie de 1 435 km² (contre 940 km² estimés auparavant).

Le bassin de la Lobe couvre 2 305 km² de superficie (contre 1 940 km² précédemment estimés). Le massif des Mamelles, en particulier, fait intégralement partie du bassin de la Lobe.

La branche majeure des deux fleuves a la même longueur (130 km), mais tandis que la Kienke a un bassin allongé au sud de la Lokoundje aval, la Lobe a un bassin de forme compacte ; son affluent principal est la Niete.

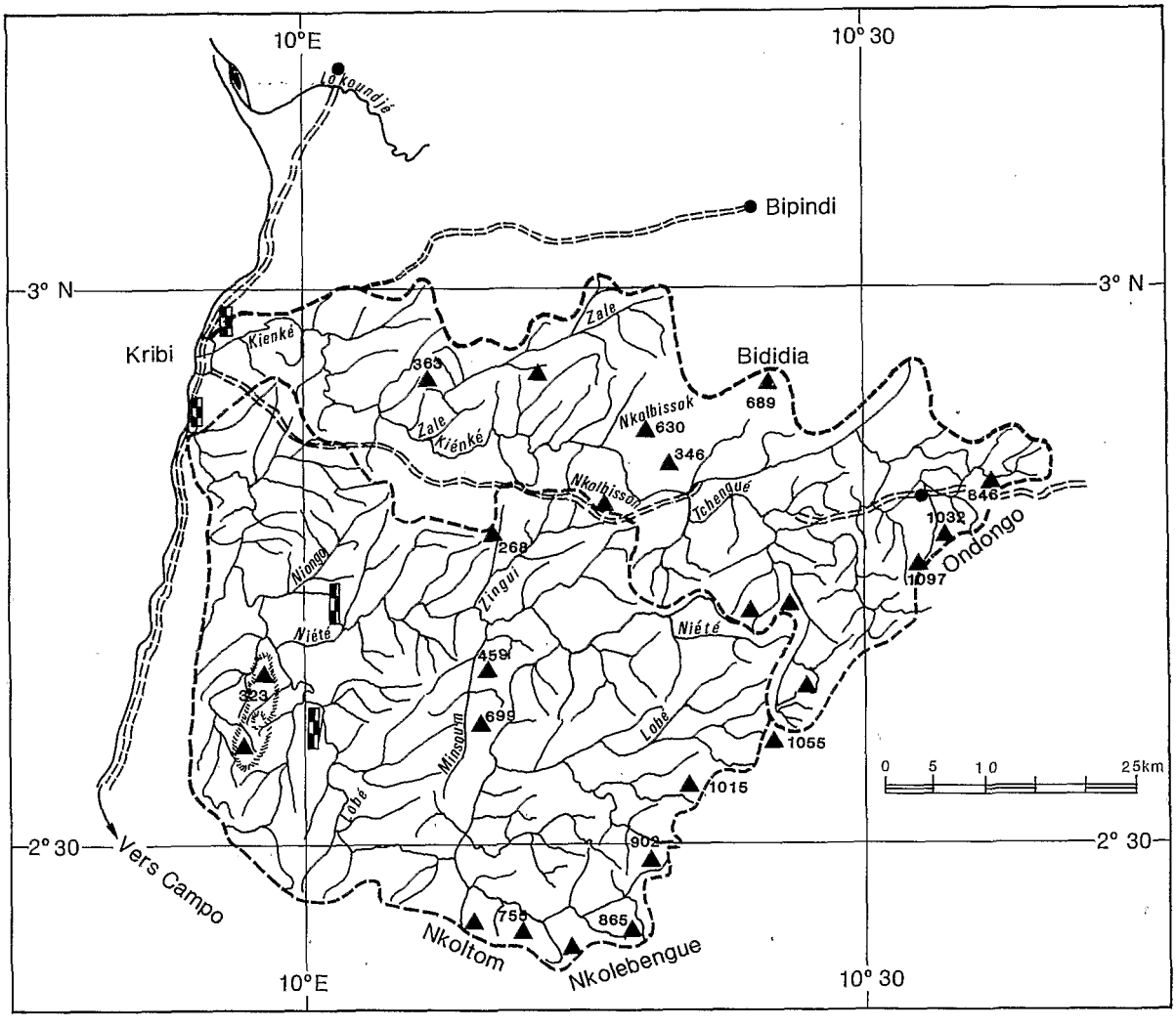


Fig. 4.4. – Bassins versants de la Kienke et de la Lobe à Kribi.

Le substratum géologique est constitué par les gneiss et embréchites du socle précambrien.

Le relief peu prononcé sur la majeure partie des bassins avec de faibles pentes devient bien marqué, à l'amont et à l'est avec notamment des sommets dépassant 1 000 m (fig. 4.4).

Les caractéristiques de forme sont les suivantes :

	S (km²)	Périmètre (km)	Kc	Rectangle équivalent : L (km)	l (km)
Kienke	1 435	190	1.40	76	19
Lobe	2 305	195	1.14	58	40

Les profils en long donnés dans la figure 4.5 présentent des pentes moyennes (60 % médians) de 2,5 m/km pour la Kienke et de 2,1 m/km pour la Lobe.

1.2.2. Les données de base

La pluviométrie reçue par les bassins versants est mal connue par suite de l'absence de postes pluviométriques sur les bassins autres que Kribi.

Les deux bassins s'inscrivent cependant dans un quadrilatère Kribi, Campo, Nyabessan, Lolodorf qui nous a permis d'esquisser un réseau de courbes isohyètes en considérant les marges montagneuses au vent à l'est des bassins. A partir de ces courbes isohyètes, nous en avons déduit la hauteur pluviométrique moyenne interannuelle reçue par les bassins. Elle est de 2 425 mm dans les deux cas. Cette détermination doit cependant être considérée avec réserves du fait de la position respective des bassins : celui de la Kienke ne présente qu'une petite pointe dans la zone littorale alors que pour la Lobe la proportion de bassins dans cette zone littorale est beaucoup plus grande. La hauteur de précipitations annuelles moyennes reçue par la Lobe pourrait être plus élevée que sur la Kienke. Ceci pourrait expliquer l'anomalie qui sera soulignée plus loin entre les débits spécifiques de ces deux rivières.

Les données hydrologiques ont été résumées dans les tableaux 4.10 à 4.13 donnant les débits moyens mensuels et les débits caractéristiques de la période d'observation.

Nous indiquons aussi les valeurs correspondantes de la médiane observée, de l'écart-type, de la moyenne et des quartiles supérieurs et inférieurs observés (figures 4.6 a et 7 a).

Pour la Kienke, sur 17 années d'observation, le module moyen est de 49,2 m³/s, soit 34,3 l/s.km² ; l'étiage médian observé est de 7,8 m³/s, soit 5,4 l/s.km² ; l'étiage minimum est de 4,6 m³/s, soit 3,2 l/s.km².

Le maximum de crue médian atteint 177 m³/s, soit 123 l/s.km², et le maximum observé est de 228 m³/s, soit 159 l/s.km².

Pour la Lobe à Kribi, sur 23 années d'observations, on a un module interannuel de 102 m³/s, soit 44,3 l/s.km². L'étiage médian observé est de 8,35 m³/s, soit 3,62 l/s.km², et le minimum est de 3,5 m³/s, soit 1,52 l/s.km². Le maximum de crue médian est de 390 m³/s, soit 169 l/s.km² ; le maximum observé ayant atteint 564 m³/s, soit 245 l/s.km².

L'examen des variations des débits moyens mensuels montre que le débit mensuel le plus faible (février) représente 21 % du module de la Lobe, 32 % du module de la Kienke, le débit mensuel le plus fort (octobre) représentant 278 % et 300 % des modules respectifs.

Les figures 4.6 b et 7 b donnent des exemples d'hydrogrammes annuels.

Le caractère équatorial du régime tend vers l'observation de deux saisons sèches d'amplitude comparable : le rapport des débits mensuels les plus faibles de grande et petite saison sèche (février et août) est de 0,83 pour la Lobe et de 0,73 pour la Kienke.

Le rapport des débits mensuels les plus forts de grande et petite saison des pluies montre un caractère équatorial moins prononcé pour les périodes de hautes-eaux : 1,86 pour la Lobe, 1,93 pour la Kienke.

1.2.3. Les basses-eaux

Le tarissement

Il est observé au cours de deux saisons sèches mais toujours fortement perturbé par l'écoulement d'averses relativement fréquentes pendant les mois de plus faibles précipitations.

• Pour la Kienke, il arrive souvent que la période de basses-eaux ne mette pas en évidence de période de tarissement exploitable.

La détermination du coefficient de tarissement en grande saison sèche et en petite saison sèche aboutit à des valeurs moyennes respectives de 0,0325 et 0,0335 (soit $\alpha = 0{,}033$).

Un tarissement plus lent est parfois mis en évidence lorsque le débit tombe à 10-12 m³/s, son coefficient est de l'ordre de 0,01 à 0,02.

• Pour la Lobe, le tarissement est plus régulièrement observé que sur la Kienke ; la détermination de la loi de tarissement reste cependant souvent aléatoire. Elle aboutit à un coefficient de tarissement moyen en grande saison sèche de 0,036, en petite saison sèche de 0,035, soit une valeur $\alpha = 0{,}035$ comparable à celle de la Kienke.

Ici aussi un tarissement plus lent peut apparaître lorsque les débits tombent à 15-25 m³/s ; son coefficient est de l'ordre de 0,015. Il y a donc une grande similitude dans la nature des nappes des deux bassins dont la vidange alimente les débits d'étiage.

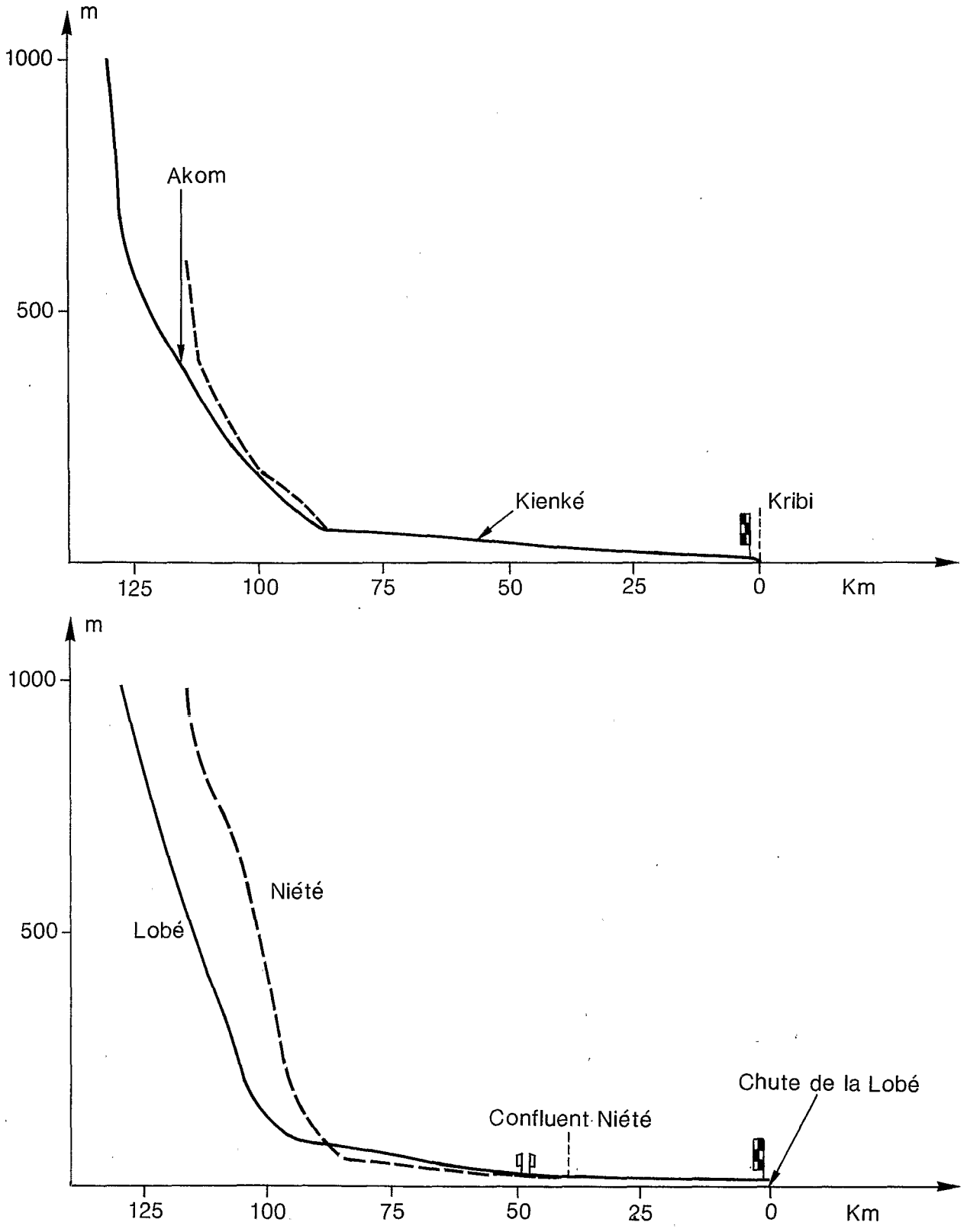


Fig. 4.5. – Profils en long de la Kienke et de la Lobe.

Tableau 4.10. – Kienke à Kribi.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1955-56	-	-	78.3	30.4	14.2	58.7	64.8	76.6	24.1	45.7	41.5	49.7	*47.8*
56-57	62.7	59.7	76.1	29.3	26.5	72.3	97.1	41.0	41.2	42.1	41.4	54.1	53.6
57-58	49.6	46.9	46.7	45.5	31.4	61.4	118	116	65.7	21.8	11.6	15.3	52.6
58-59	45.2	49.3	18.2	10.7	7.6	28.7	98.8	71.6	44.2	24.3	13.2	8.9	35.1
59-60	43.5	47.5	11.8	29.2	23.8	88.9	62.7	51.7	15.4	6.2	8.3	6.8	32.9
60-61	8.8	39.5	57.2	28.9	13.5	74.5	114	71.3	17.2	-	-	-	*47.2*
61-62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62-63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63-64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65-66	30.3	74.1	79.2	24.7	22.0	68.5	157	625	34.4	13.9	11.3	11.2	49.3
66-67	39.8	76.4	117	51.9	26.3	56.9	131	140	51.8	16.3	10.4	9.1	60.6
67-68	11.5	43.7	53.8	26.9	18.0	81.0	136	96.8	36.4	21.8	12.2	22.4	46.7
68-69	39.0	55.2	25.6	10.1	8.4	25.3	85.9	75.7	36.0	13.5	14.4	41.8	36.0
69-70	82.6	82.2	57.0	21.9	20.4	119	116	140	38.9	16.3	11.6	17.2	60.0
70-71	55.7	65.4	50.0	17.4	35.9	129	148	107	33.1	17.0	9.6	13.6	56.9
71-72	26.3	53.0	62.4	28.3	25.1	78.2	163	85.7	34.9	15.4	9.9	16.0	49.9
72-73	27.8	53.0	47.1	12.1	10.5	62.4	105	109	33.7	17.8	9.4	16.5	42.1
73-74	45.1	75.1	63.3	38.4	35.0	78.6	129	60.5	29.6	12.5	14.1	14.5	49.8
74-75	25.9	72.6	76.7	24.4	14.7	87.9	148	108	46.7	15.5	18.2	18.6	55.0
75-76	34.1	61.1	48.0	35.4	16.2	73.5	130	110	50.1	26.5	20.7	35.0	53.5
76-77	43.8	50.8	82.2	31.7	38.7	71.6	172	73.6	40.3	24.6	11.2	11.1	54.3
MED.	39.8	55.2	57.1	28.6	21.2	72.9	123	81.1	36.2	17.0	11.6	16.0	49.9
ET.	18.0	13.0	25.3	11.1	9.62	25.1	31.4	28.6	12.1	10.1	10.2	14.6	8.34
MOYE.	39.5	59.2	58.4	27.6	21.6	73.1	120.9	88.7	37.4	20.7	15.8	21.3	49.2
Q1	47.4	73.3	76.7	31.7	26.5	81.0	148	109	44.2	24.4	16.3	28.7	54.0
Q3	27.0	48.5	47.1	21.9	14.2	61.4	98.8	71.3	33.1	14.7	10.0	11.1	47.0

Tableau 4.11. – Kienke à Kribi.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1955-56	29/8	9.0	11.4	15.5	29.3	47.0	51.3	91.6	123	144	04/11
56-57	31/7	12.2	15.9	21.7	34.6	44.8	59.9	110	125	142	30/04
57-58	05/3	7.8	8.9	11.2	23.7	43.4	58.5	124	144	161	06/11
58-59	05/8	6.8	7.3	7.6	9.7	21.7	52.0	77	104	144	23/10
59-60	03/2	4.6	5.6	6.3	7.6	26.5	49.1	74.7	110	137	21/09
60-61											
61-62											
62-63			RESUL-	TATS		DOU-	TEUX				
63-64											
64-65											
65-66	29/1	7.6	11.7	15.0	19.7	40.5	66.2	128	189	228	08/10
66-67	25/1	7.6	8.4	8.9	17.0	40.5	92.4	153	173	192	21/10
67-68	03/3	10.2	10.9	13.1	14.5	30.8	60.6	130	155	179	11/10
68-69	20/7	7.3	7.9	8.5	11.7	26.5	50.6	74.7	102	167	27/10
69-70	19/2	9.2	10.2	11.7	28.6	47.7	100	139	189	211	28/10
70-71	13/3	8.4	9.7	11.2	16.4	41.2	71.8	149	190	217	30/09
71-72	17/3	7.9	8.7	10.2	16.4	32.2	60.6	149	173	209	01/10
72 73	23/2	7.6	8.9	9.7	11.7	26.5	57.8	112	145	153	07/11
73-74	19/2	8.2	9.2	10.4	24.4	60.6	62.7	124	157	185	05/10
74-75	03/3	7.6	9.7	11.2	15.9	39	80.8	145	161	177	03/10
75-76	21/8	11.7	13.1	16.4	23	40.5	68.3	128	153	169	05/10
76-77	24/2	5.4	8.5	10.4	24.4	41.2	66.2	142	185	221	24/10
MED.		7.80	9.20	11.2	17.6	40.5	60.6	128	155	177	
ET.		1.92	2.37	3.74	7.53	66.0	14.3	26.7	30.1	29.7	
Q1		9.10	11.1	14.0	24.4	45.9	70.0	143	179	210	
Q3		7.45	8.45	9.30	13.1	29.3	54.9	101	124	148	

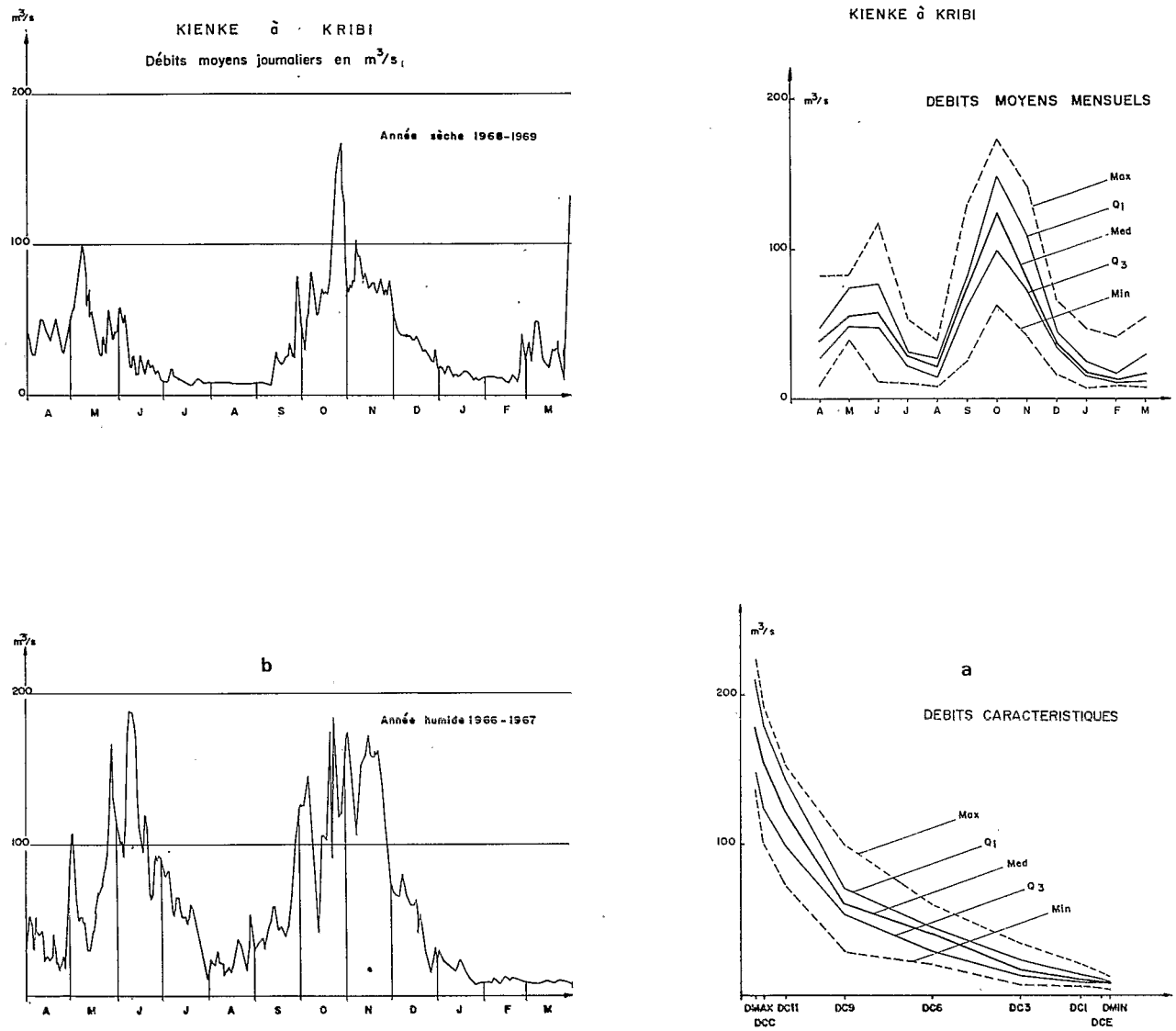


Fig. 4.6. – Débits de la Kienke à Kribi.

Tableau 4.12. – Lobe à Kribi.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1953-54		206	130	24.8	9.7	40.6	195	217	41.9	13.1	9.4	33.1	*83.7*
54-55	98.3	166	122	27.2	9.7	63.9	253	212	74.2	37.1	21.1	39.0	93.6
55-56	86.0	136	146	34.1	11.3	137	289	217	79.0	27.4	17.7	88.6	106
56-57	208	283	147	51.5	20.8	72.3	263	259	-	37.8	15.2	54.7	119
57-58	60.6	121	90.4	29.9	*14.9*	105	358	298	118	30.5	16.0	36.3	107
58-59	99.8	121	40.2	16.2	10.4	51.7	219	184	115	49.9	27.6	31.0	80.5
59-60	77.8	165	34.3	16.0	46.5	135	242	282	90.1	38.4	22.9	41.3	99.3
60-61	121	162	157	43.2	50.4	224	388	236	112	51.4	20.6	15.2	132
61-62	105	105	59.2	29.1	9.3	135	301	205	80.9	18.2	10.9	12.4	89.4
62-63	78.0	157	89.6	13.4	9.3	114	264	286	121	36.4	20.7	63.9	104
63-64	119	161	195	99.8	28.6	78.3	187	224	97.1	41.4	28.8	86.2	108
64-65	111	154	122	34.6	22.9	159	295	201	94.1	65.5	46.6	71.5	115
65-66	70.8	128	156	30.9	31.2	119	311	148	58.1	23.2	24.4	26.1	93.9
66-67	101	187	158	70.0	30.2	91.0	301	284	80.9	30.7	18.5	17.8	114
67-68	34.0	138	143	46.5	21.0	165	364	227	80.4	36.0	17.1	62.5	111
68-69	92.0	148	62.4	18.0	10.2	31.7	163	183	93.9	26.3	20.5	126	81
69-70	175	153	84.0	24.3	22.4	127	248	235	74.0	23.9	12.8	35.1	101
70-71	134	164	98.2	26.1	61.9	210	371	230	51.0	20.7	15.9	34.5	118
71-72	54.6	93.0	141	46.8	31.2	153	315	163	90.8	23.4	17.0	43.0	97.7
72-73	70.0	119	116	25.3	14.8	85.2	215	212	63.8	28.9	20.6	37.9	84.0
73-74	110	169	110	60.2	56.4	192	304	161	81.5	20.7	15.0	20.6	108
74-75	60.2	112	123	30.0	14.9	137	275	189	52.2	15.3	31.3	36.8	89.7
75-76	80.9	182	121	47.3	16.7	122	324	247	74.5	27.3	33.7	61.4	111
76-77	101	126	151	53	61	115	363	288	64.4	36.8	24.5	-	126
MED.	98.3	153	122	30.4	20.9	120	292	220	80.9	29.7	20.5	36.8	105
ET.	38.3	39.1	40.3	19.8	17.3	50.2	61.4	42.6	21.7	12.2	8.15	25.9	13.6
MOYE.	97.7	152.3	116	37.4	25.6	119	284	224	82.1	31.7	21.2	44.5	102.2
Q1	111	165	146	47.0	31.2	145	319	253	94.1	37.4	24.4	61.4	109
Q3	70.8	123	90.0	25.0	10.8	81.7	245	195	64.4	23.2	15.9	31.6	94.0

Tableau 4.13. – Lobe à Kribi.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1953-54	05/2	*3.5*	6.0	8.5	12.6	39.7	*152*	243	293	323	21/11
54-55	20/8	6.7	8.0	10	24.2	50.8	152	243	267	323	08/10
55-56	29/8	8.2	9.8	12	25.4	71.2	152	277	317	338	13/10
56-57	25/2	11.0	12.6	17.5	30.7	*114*	*174*	267	323	398	29/10
57-58	17/8	10.6	12.2	*15.7*	*29*	*54.2*	130	338	428	461	28/10
58-59	20/8	8.5	9.8	11	20.8	48.5	122	215	257	277	17/11
59-60	05/8	11	12.6	13.9	26	55.4	163	255	329	413	06/11
60-61	10/3	10.6	11.8	14.8	37.5	100	183	338	428	491	18/10
61-62	27/8	7.2	8.5	9.4	12.2	46.3	139	267	308	386	29/10
62-63	31/7	7.2	8.5	10	20.2	67	165	277	335	389	05/11
63-64	05/3	8	11	15.7	39.7	84.2	174	234	248	288	18/05
64-65	18/8	12.8	14.3	23	44.1	91	165	270	305	389	18/10
65-66	01/3	13	17.5	19.7	23	48.5	132	232	398	467	04/10
66-67	06/3	11	12.8	15.7	29	75.7	163	335	371	413	21/10
67-68	24/2	12.8	14.8	16.6	25.4	54.2	171	341	386	428	25/10
68-69	24/8	8	8.7	10	16.1	54.1	134	191	229	262	25/10
69-70	05/3	6.4	8.2	10.4	20	63	151	253	344	380	03/11
70-71	10/2	7.8	9.1	12	28	63	177	363	391	418	25/10
71-72	17/2	10	11.6	15.2	24	63	124	297	336	391	06/10
72-73	24/2	7.8	9.6	11.6	19.4	57	114	226	286	314	06/11
73-74	25/2	8.2	9.1	12	23.2	85.8	151	266	363	404	05/10
74-75	04/9	8.2	9.6	10.6	21.6	60.2	114	253	322	349	13/10
75-76	26/8	11.6	14.0	18.8	33.6	67.1	146	286	358	402	08/10
76-77	17/3	*10*	15.2	23.2	42.6	79.9	133	349	460	564	23/10
MED.		8.35	10.4	12.9	24.81	63.0	151	267	332	390	
ET.		2.34	2.79	4.18	8.54	18.3	20.5	46.6	59.4	70.3	
Q1		11.0	12.7	16.1	29.8	77.8	165	316	378	415	
Q3		7.80	8.90	10.5	20.5	54.1	132	243	299	330	

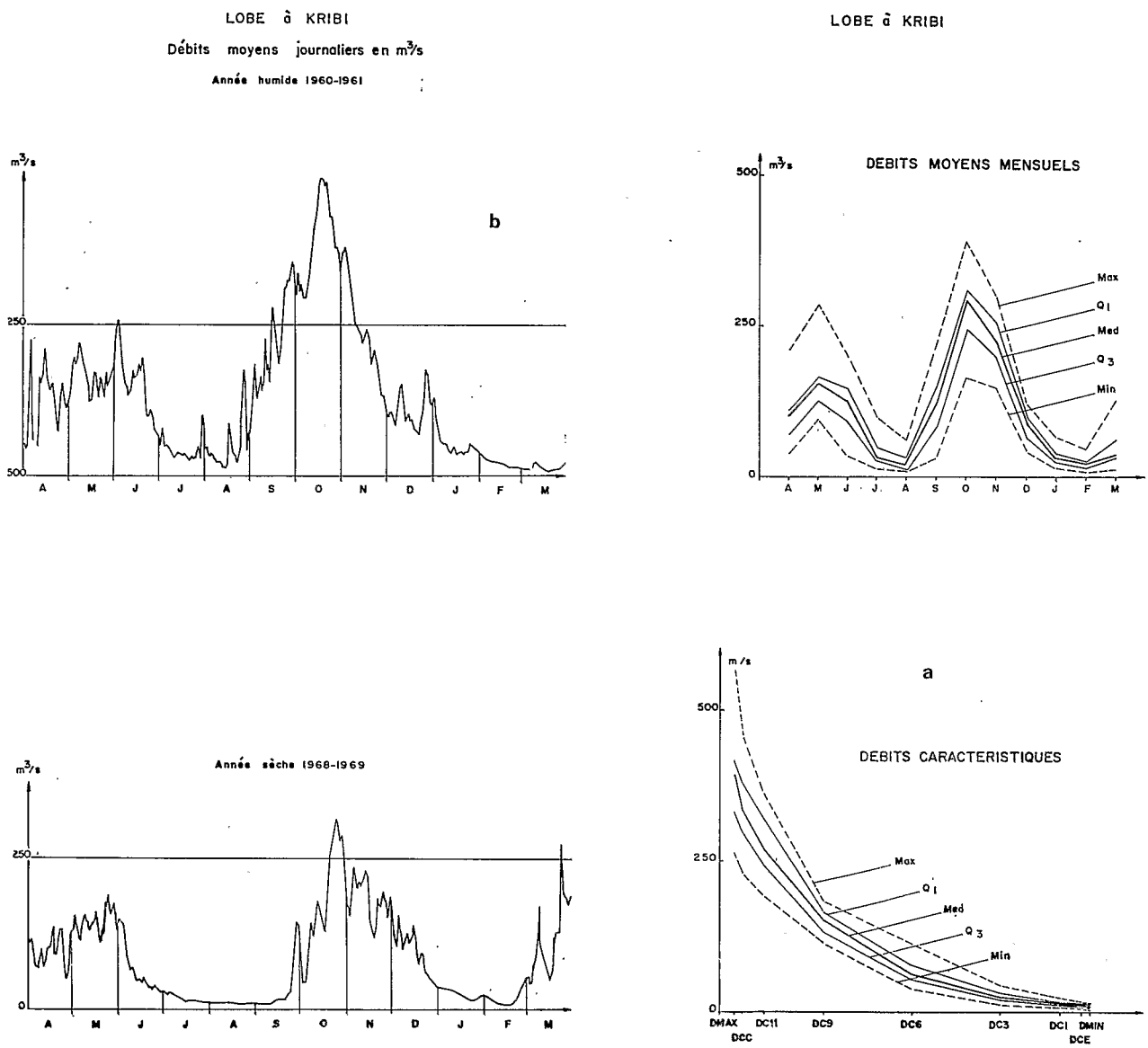


Fig. 4.7. – Débits de la Lobe à Kribi.

Les étiages absolus

Leur date d'apparition

Ceux-ci n'apparaissent plus que dans 55 % des cas, pendant la grande saison sèche sur la Lobe. L'échantillon de la Kienke, pour lequel les années 1960-1965 n'ont pas été retenues, est tronqué et n'est pas significatif.

Nous avons reporté ci-après, décades par décades, le décompte des dates d'apparition des étiages absolus.

Tableau 4.14.

Saison	Grande saison sèche				Petite saison sèche			
Mois	Janv	Février	Mars	Total	Juillet	Août	Sept	Total
n° décade	3	1 2 3	1 2		1 2 3	1 2 3	1	
Lobe (24 ans)	0	2 1 4	5 1	13	0 1	1 1 4	1	11
Kienke (17 ans)	2	1 2 2	3 2	12	1 1	1 1 0	2	(5)'

En grande saison sèche, l'étiage absolu apparaît le plus souvent pendant la dernière décade de février ou la 1re décade de mars, avec pour date médiane le 27 février pour la Lobe, le 24 février pour la Kienke. En petite saison sèche, l'étiage absolu apparaît le plus souvent pendant les deux dernières décades du mois d'août, avec pour date médiane le 22 août.

Leur étude fréquentielle

La comparaison d'ajustements de diverses distributions statistiques à l'échantillon de 17 valeurs de la Kienke nous a permis de retenir la loi de Galton. La dissymétrie positive est assez peu prononcée. Les caractéristiques de l'ajustement sont données ci-après (voir figure. 4.8) :

Paramètre d'échelle : 14,4 Coef. de variation : 0,228
Paramètre de position : — 6,33 Coef. d'asymétrie : 0,387
Paramètre de forme : 0,128 Coef. d'aplatissement : 0,268
Moyenne : 8,18 m³/s Médiane : 8,06 m³/s Mode : 7,83 m³/s
Variance : 3,471

Précisons que l'échantillon présente une dispersion assez marquée. La prédétermination des étiages absolus de la Kienke à Kribi pour diverses récurrences est indiquée ci-après en m³/s et l/s.km² (tableau 4.15).

Tableau 4.15.

Etiages de la Kienke à Kribi	Moyenne	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	-	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	8.18	8.06	6.60	5.89	5.33	4.74
$l/s.km^2$	5.70	5.62	4.60	4.10	3.71	3.30

L'étiage le plus faible observé est de 4,6 m³/s.

L'échantillon de la Lobe s'ajuste suivant une loi définie par la moyenne : 9,17 m³/s et un écart-type de 2,29 m³/s. Le coefficient de variation est de 0,250.

La prédétermination des étiages absolus de la Lobe au bac de la route Kribi-Campo donne pour diverses récurrences les résultats ci-dessous (tableau 4.16 et figure 4.8) :

Tableau 4.16.

Etiages de la Lobe à Kribi	Moyenne	Années sèches			
Périodes de retour	-	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	8.17	7.24	6.24	5.40	4.47
$l/s.km^2$	3.98	3.14	2.71	2.34	1.94

L'étiage le plus faible observé est de 3,5 m³/s.

La comparaison des deux séries de résultats appelle quelques remarques critiques sur la validité des observations et des mesures effectuées sur les deux fleuves. En effet, il paraît tout à fait anormal de trouver sur la Kienke un étiage moyen de 40 % supérieur à celui de la Lobe. Rien dans la morphologie des bassins ne paraît justifier une telle différence. Celle-ci tiendrait en fait à l'imprécision du tarage de basses-eaux. Sur la Lobe par exemple, les vitesses du courant sont extrêmement faibles en basses-eaux et ont pu être considérées comme nulles par endroits avec les moulinets employés, d'où sous-estimation des débits. Sur la Kienke, l'absence de sections régulières peut être également à l'origine d'erreurs systématiques. Les débits de basses-eaux pourraient être sous-estimés pour la Lobe et surestimés sur la Kienke.

Compte tenu de ces remarques, nous avons admis arbitrairement que les débits spécifiques d'étiage de diverses récurrences étaient les mêmes sur les deux fleuves et choisi les valeurs moyennes de celles précédemment déterminées sur la Kienke et la Lobe. D'où l'on obtient les débits d'étiage en m³/s (1) (tableau 4.17).

Tableau 4.17.

Etiages absolus	Moyenne	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	-	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
$l/s.km^2$	4.8	4.75	3.9	3.4	3.0	2.6
Kienke (m^3/s)	6.89	6.82	5.60	4.88	4.30	3.73
Lobe (m^3/s)	11.1	10.9	8.99	7.84	6.91	5.99

L'étude de corrélation entre les débits caractéristiques de la Lobe aboutit aux résultats suivants :

L'équation de la droite de régression s'écrit :

(1) Cette analyse demande à être confirmée par des mesures de débit précises au cours de campagnes complémentaires.

– pour le débit d'étiage non dépassé pendant 10 jours :

$$DCE = 1{,}11\ Dmin + 0{,}88\ r = 0{,}932\ ;$$

– pour le débit d'étiage non dépassé pendant 1 mois :

$$DC_1 = 1{,}45\ Dmin + 0{,}72\ r = 0{,}814.$$

Les barèmes hauteurs-débits correspondants deviendraient en basses-eaux :

Kienke : H = 160 Q = 2,5 H = 170 Q = 3,4 H = 180 Q = 4,3
H = 190 Q = 5,3 H = 200 Q = 6,3 H = 210 Q = 7,7
H = 220 Q = 11,0

Lobe : H = 0,30 Q = 3,2 H = 0,40 Q = 4,2 H = 0,50 Q = 5,6
H = 0,60 Q = 7,2 H = 0,70 Q = 9,6 H = 0,80 Q = 11,8
H = 0,90 Q = 14,6 H = 100 Q = 20,0

(Barèmes à comparer avec ceux donnés en annexe.)

1.2.4. Les crues

Le maximum annuel de crue est observé dans 95 % des cas pendant la « grande saison des pluies », en octobre-novembre.

Le maximum secondaire de la « petite saison des pluies » est, le plus souvent, nettement inférieur. S'il devient maximum annuel (5 % des cas), il correspond alors aux valeurs les plus faibles de l'échantillon de maximums annuels (de 200 à 250 m³/s pour la Lobe de l'ordre de 100 m³/s pour la Kienke). Ce maximum secondaire peut s'observer d'avril à juin. Le maximum annuel de 142 m³/s observé sur la Kienke le 30 avril 1956 correspond au 2e débit le plus faible de l'échantillon. Le maximum annuel de 288 m³/s observé le 18 mai 1963 sur la Lobe occupe le 3e rang des débits les plus faibles de l'échantillon. L'inégale répartition des précipitations des mois de petite ou grande saison des pluies – plus marquée, sous ces latitudes, vers le littoral – explique que le maximum annuel apparaisse dans la majorité des cas pendant la grande saison des pluies. Le décompte par décades des **dates d'apparition** du **maximum annuel de grande saison des pluies** est donné ci-dessous.

Tableau 4.18.

Mois	Septembre			Octobre			Novembre		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Kienke (16/17)			2	5	1	5	3	0	0
Lobe (23/24)			0	5	4	8	4	1	1

La date médiane de l'ajustement à la distribution se situe le 24 octobre pour la Lobe, le 17 octobre pour la Kienke.

L'étude fréquentielle des débits maximums de la Kienke et de la Lobe montre (cf. fig. 4.8) que les ajustements suivant des lois de Galton sont les plus satisfaisants. Les caracéristiques de ces distributions sont résumées dans le tableau 4.19 :

Tableau 4.19.

	Kienke	Lobe
Paramètre d'échelle	93.6	577.4
" de position	80.4	-195.2
" de forme	0.304	0.118
Moyenne	178.4	386.2
Médiane	174.0	382.1
Mode	165.7	374.1
Coefficient de variation	0.171	0.178
" d'asymétrie	0.962	0.357
" d'aplatissement	1.690	0.227

L'étude de prédétermination des crues de diverses récurrences aboutit aux résultats suivants (tableau 4.20) :

Tableau 4.20.

Crues maximums	Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	–	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Kienke m^3/s	174	178	201	218	235	255	270
$l/s.km^2$	121	124	140	152	164	178	188
Lobe m^3/s	382	386	442	476	506	540	565
$l/s.km^2$	166	167	192	207	220	234	245

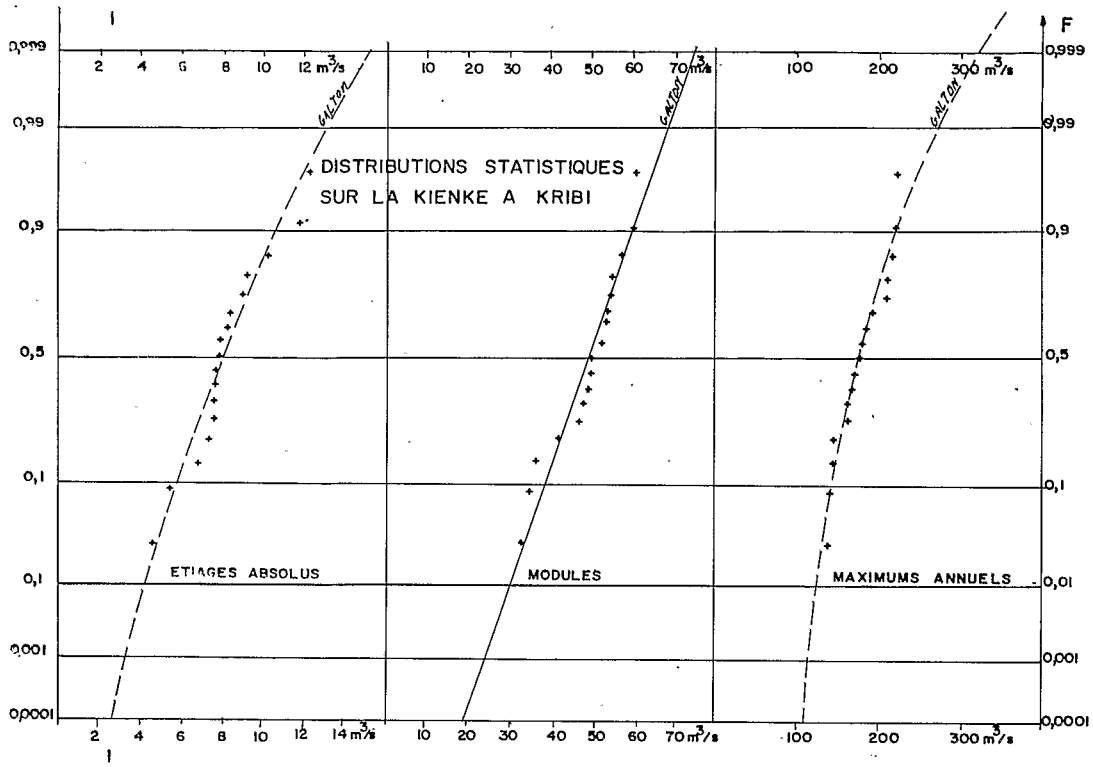
Les maximums observés sont, rappelons-le, de 223 m³/s sur la Kienke et de 564 m³/s sur la Lobe.

Les valeurs spécifiques de la Lobe sont de 30 à 35 % supérieures à celles de la Kienke. Il n'est pas impossible là encore que le tarage des stations doive être incriminé. L'extrapolation de la courbe de la Kienke pourrait aboutir à des débits sous-estimés. La courbe de la Lobe paraît, quant à elle, traduire d'assez près la relation hauteurs-débits des hautes-eaux.

Mais les plus forts débits spécifiques de pointe de la Lobe pourraient aussi s'expliquer par les différentes formes des bassins. Le bassin de la Lobe, de forme plus compacte, favorise la concentration des pointes de crues, tandis que le bassin allongé de la Kienke entraîne un étalement des crues.

L'étude de corrélations entre débits caractéristiques de crue de la Lobe aboutit aux équations des droites de régression suivantes :
on a : pour le débit de crue dépassé pendant 10 jours :

$$DCC = 0{,}80\ D\ max + 26{,}1,\ avec\ r = 0{,}951\ ;$$



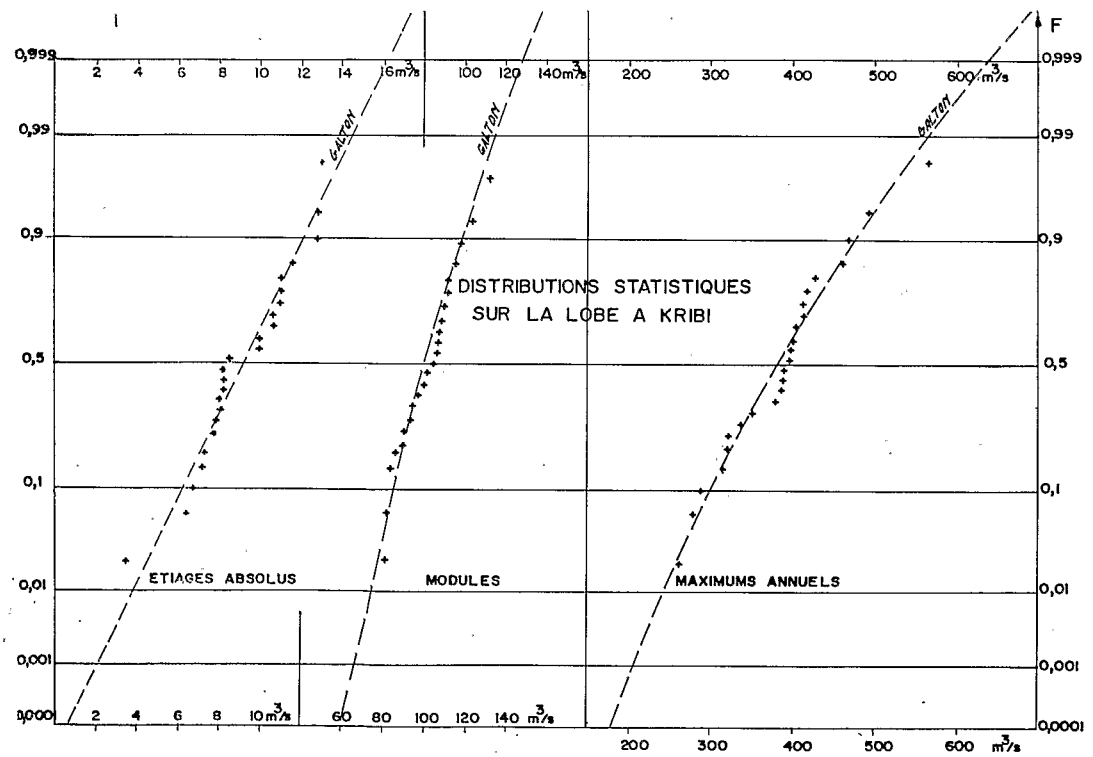


Fig. 4.8. – Études fréquentielles de la Kienke et de la Lobe.

mais, pour le débit de crue dépassé pendant 30 jours, la relation :

$$DC_{11} = 0{,}5\ D\ max + 81{,}2, \text{ avec } r = 0{,}756$$

n'est plus significative.

1.2.5. Modules et termes du bilan

L'étude fréquentielle des modules nous a conduit à ajuster l'échantillon des débits de la Kienke suivant une loi normale et l'échantillon des débits de la Lobe suivant une distribution de Galton.

- Pour la Kienke, le module interannuel est de 49,2 m³/s et l'écart-type est de 8,09 m³/s. Le coefficient de variation est de 0,165. La prédétermination des modules de diverses récurrences en années sèches ou humides donne les résultats suivants (tableau 4.21 et figure 4.8) :

Tableau 4.21.

Modules de la Kienke à Kribi	Années sèches				Moyenne	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	50	20	10	-	10	20	50	100
m^3/s	30.4	32.6	35.9	38.9	49.2	59.6	62.5	65.8	68.0
$l/s.km^2$	21.2	22.7	25.0	27.0	34.3	41.5	43.6	45.9	47.4

Les modules extrêmes sont de 32,9 et 60,6 m³/s.

- Pour la Lobe, les caractéristiques de la distribution de Galton sont les suivantes (fig. 4.8) :

Paramètre d'échelle : 142,3 Coef. de variation : 0,130
Paramètre de position : —40,73 Coef. d'asymétrie : 0,280
Paramètre de forme : 0,093 Coef. d'aplatissement : 0,140
Moyenne : 102,2 Médiane : 101,6 Mode : 100,4

La dissymétrie positive de l'échantillon est assez peu marquée. On pourrait quasiment retenir pour la Kienke et la Lobé la normalité des distributions des modules, normalité qui est logique lorsqu'il s'agit de bassins recevant nettement plus de précipitations que l'ETP, l'hypernormalité n'apparaissant en principe de manière plus évidente que lorsque la différence entre P et ETP diminue. Les résultats des calculs de prédétermination sont indiqués dans le tableau 4.22.

Tableau 4.22.

Modules de la Lobe à Kribi	Années sèches				Médiane	Moyenne	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	50	20	10	2	-	10	20	50	100
m^3/s	73.9	76.8	81.4	85.6	101.6	102.2	120	125	132	136
$l/s.km^2$	32.1	33.3	35.3	37.1	44.1	44.3	52.1	54.2	57.3	59.0

Les modules extrêmes observés sont de 80,5 et 132 m³/s.

La comparaison des modules spécifiques interannuels des deux fleuves montre que la valeur moyenne de la Kienké est de 23 % inférieure à celle de la Lobe. L'incidence de tarages mal définis en très hautes et basses-eaux est faible sur le calcul de débits moyens annuels ; faut-il incriminer la qualité des lectures effectuées sur la Kienké, lectures qui seraient systématiquement sous-estimées ? Faut-il supposer que la restitution cartographique récente de la région pourrait être entachée d'erreurs ? Il paraît plus vraisemblable d'envisager une surestimation des précipitations sur la Kienke. En année moyenne, la lame écoulée He serait de :

- 1 397 mm pour la Lobe ;
- 1 082 mm pour la Kienke,

avec une hauteur de précipitations interannuelle de 2 425 mm ; le déficit d'écoulement interannuel est de **1 025 mm sur la Lobe** et 1 345 mm pour la Kienke, valeur bien supérieure à celle de l'évapotranspiration potentielle de la région, qui peut être ramenée à une valeur plus modeste en diminuant la hauteur interannuelle de pluie reçue par le B.V.

De plus, l'évapotranspiration potentielle, égale à 1 200 mm d'après Turc, est probablement surestimée car il est difficile d'imaginer, pour qui connaît la région, que les besoins de l'ETP ne puissent être satisfaits.

1.2.6. Conclusions

L'analyse des données recueillies sur la Lobe et la Kienke met en évidence de sérieuses anomalies dans la détermination des caractéristiques hydrologiques de ces fleuves et en particulier de la Kienke, anomalies imputables à la qualité des observations et à la qualité des mesures pour les valeurs extrêmes, et probablement à une surestimation des précipitations annuelles sur la Kienke pour le bilan.

Il n'est pas superflu d'ajouter que ces anomalies ne sont apparues qu'à la lumière d'une nouvelle délimitation des bassins versants obtenue à partir des travaux cartographiques les plus récents.

En effet, à l'exception des étiages absolus, les débits spécifiques calculés d'après les superficies présumées des bassins versants montraient un ensemble cohérent, traduisant la similitude des régimes hydrologiques des deux fleuves.

Dans ces conditions, on conçoit que de nouvelles observations et mesures doivent être effectuées sur ces fleuves avant reprise d'une analyse plus précise.

Le régime hydrologique de la Lobe paraît toutefois défini avec une bonne approximation par les caractéristiques suivantes :

Module interannuel	:	100	m³/s	44	l/s.km²
Module décennal	:	85	m³/s	37	l/s.km²
Module décennal humide	:	120	m³/s	52	l/s.km²
Étiage moyen	:	11	m³/s	4,8	l/s.km²
Étiage décennal sec	:	7,8	m³/s	3,4	l/s.km²
Crue moyenne	:	386	m³/s	167	l/s.km²
Crue décennale humide	:	476	m³/s	207	l/s.km²

Hauteur de précipitations interannuelle : 2 425 mm
Évapotranspiration réelle : 1 025 mm
Lame écoulée interannuelle : 1 400 mm
Coefficient d'écoulement : 58 %

1.3. Le Ntem

1.3.1. Généralités

Le Ntem draine un bassin versant de 31 000 km² partagé entre 3 pays : le Cameroun, le Gabon et la Guinée Équatoriale. Le Ntem lui-même prend sa source au Gabon. Son bassin versant est limité au nord et à l'ouest par les bassins du Nyong, de la Lokoundje, de la Kienke et de la Lobe, au nord-est par le bassin de l'Ayina, affluent de l'Ivindo tributaire de l'Ogoue (dont une petite partie du bassin du Cameroun), au sud-ouest par le bassin du Rio Benito et de la Mbia, en Guinée Équatoriale (fig. 4.9.).

La branche majeure du Ntem a une longueur de 460 km ; sa direction est Est-Ouest. Le haut-bassin, comme celui du Nyong, situé sur le plateau du Centre-Sud, est caractérisé par un écoulement lent des rivières dans de larges zones marécageuses aux altitudes 560-600 m, avec cependant aux limites sud et nord des reliefs pouvant dépasser 1 000 m d'altitude (Mont Tembo au Gabon : 1 200 m).

Les premiers rapides sont observés en amont du confluent Ntem-Kom. Le Kom, principal affluent de rive droite (frontière Cameroun-Gabon), présente à l'amont une physionomie tout à fait comparable à celle du Nyong en amont d'Ayos (limites imprécises des bassins, captures possibles par l'Ayina).

Avant son confluent avec le Kom, le Ntem a reçu les apports de deux rivières importantes du Gabon : la Kié et le Nyé ou Bolo, et le Kom a reçu la Mboua et le Nlobo.

En aval, les zones marécageuses sont encore présentes dans les bas-fonds des petits affluents, alors que le cours du Ntem est entrecoupé de rapides séparant des biefs à très faible pente. Le Ntem reçoit en rive gauche la Kié peu en amont de Ngoazik. La Kié draine les régions frontalières du Gabon et de la Guinée.

A Ngoazik, le Ntem est à 535 m d'altitude. A l'aval de Ngoazik, les principaux tributaires du Ntem sont des affluents de rive droite (Cameroun) : la Mboro conflue au kilomètre 215 ; la Mvila conflue au kilomètre 150 ; cet affluent important est issu de la région d'Ebolowa où il a reçu le Seng. En rive gauche, le Ntem reçoit essentiellement le Rio Guoro (km 210) venu de Guinée Équatoriale. Peu avant le confluent avec la Mvila, le Ntem se ramifie en un chevelu complexe de multiples bras qui divaguent sur une bande large jusqu'à 8 km et longue de 25 km. Cette zone sépare le cours supérieur du Ntem à faible pente du cours inférieur à pente rapide. En traversant cette zone (région de Ma'an), le Ntem passe de 518 m à 405 m d'altitude (pente 4,5/1 000). Il retrouve un lit unique à l'aval de Nyabessan (km 100) où il n'est plus qu'à 384 m d'altitude, et reçoit la Biwoume, affluent orienté NE-SW issu des Monts Kenle (1 020 m) et Bingalawoa (1 059 m). Après avoir franchi les chutes Menve'ele, le Ntem prend lui-même une orientation NE-SW pendant quarante kilomètres de gorges coupées de rapides. La pente est particulièrement forte puisque le Ntem perd 200 m en altitude sur ce bief (pente 5/1 000 m). Après le passage du verrou montagneux, l'hydrographie du Ntem est caractérisée par une dichotomie du cours principal du fleuve et une série de chutes amenant rapidement le fleuve à la cote 100. Les deux bras du Ntem (Ntem et Bongola) isolent une île, l'île Dipikar, qui atteint 16 km dans sa plus grande largeur et 40 km de longueur ; ces deux bras se rejoignent dans l'estuaire appelé aussi Rio Campo, 8 kilomètres avant de se jeter dans l'Océan.

Le profil du Ntem (fig. 4.10) montre une grande analogie avec celui du Nyong ; cette analogie se retrouve dans la morphologie générale des deux bassins, analogie qui se retrouverait aussi dans les régimes hydrologiques si la situation plus équatoriale du Ntem n'avait pas d'incidence sur la répartition saisonnière des précipitations. A Ngoazik, la pente moyenne des 60 % médian du profil est de 0,48 m/km, donc plus marquée que pour le Nyong supérieur. De même, l'analogie n'est plus évidente sur le plan de la géométrie des bassins versants.

Ainsi à Ngoazik, le Ntem a un bassin d'une forte compacité. Ses caractéristiques de forme sont les suivantes :

S (km²)	Périm. (km)	Kc	Rectangle équivalent	
			L (km)	l (km)
18 100	550	1,14	161	112

A Nyabessan, les caractéristiques de forme sont encore très voisines de celles de Ngoazik :

S (km²)	Périm. (km)	Kc	Rectangle équivalent	
			L (km)	l (km)
26 350	670	1,16	210	125

Le bassin du Nyong est beaucoup plus allongé. Cependant, si les bassins du Nyong et du Ntem ont des formes différentes, l'analogie des profils en long conduit à souligner la similitude des potentiels hydro-électriques. Les ressources hydro-électriques,

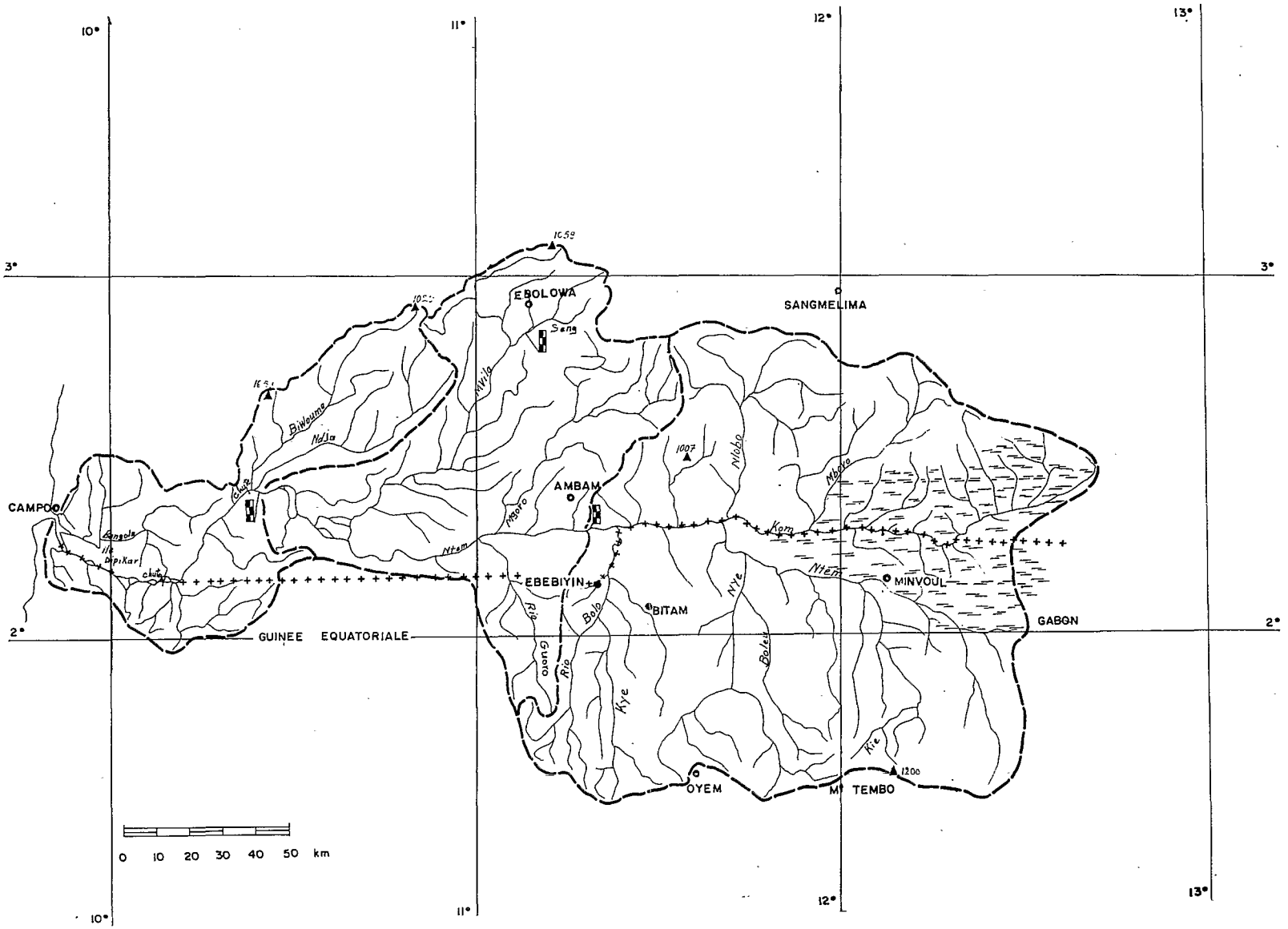


Fig. 4.9. – Bassin du Ntem.

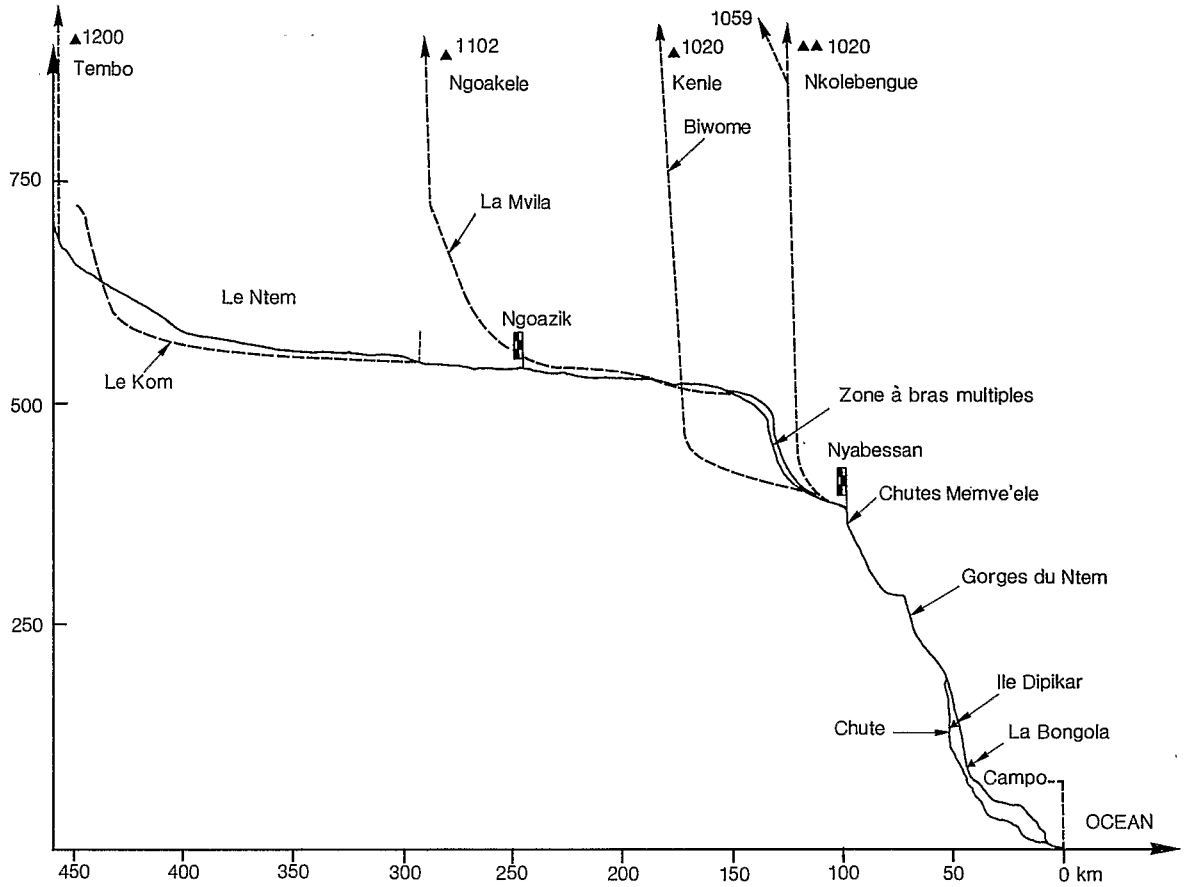


Fig. 4.10. – Profil en long du Ntem et de quelques affluents.

bien connues sur le Nyong, font l'objet depuis quelques années sur le Ntem d'un inventaire précis. L'aménagement des chutes de Menve'ele a retenu en particulier l'attention des projeteurs. Des études en cours permettront notamment de valoriser les observations hydrologiques effectuées à Nyabessan depuis 1957. Cette station contrôle un bassin versant de 26 350 km² et a pour coordonnées 2° 24′ de latitude nord, 10° 24′ de longitude est. Son altitude est de 385 m. Les mêmes préoccupations hydro-électriques ont amené récemment l'ouverture de deux stations sur la Biwoume à Nyabessan (BV de 402 km²) et la Ndjo'o à Nyabessan (BV de 376 km²). Leurs observations sont trop limitées pour être utilisées ici.

Les données hydrologiques du Gabon n'ont pu être exploitées ; elles concernaient le Ntem au bac d'Ebomane, un affluent, la Nyé, au km 30 de la route Bitam-Oyem et deux stations (amont et aval) de la Mvie, affluent de la Nyé à Akok Nzomossi.

En définitive, seule la station du Ntem à Ngoazik permet de connaître le régime hydrologique de ce fleuve. Elle contrôle un bassin versant de 18 100 km² et a pour coordonnées : 2° 18′ de latitude nord et 11° 18′ de longitude est ; son altitude est de 535 m.

Enfin, pour compléter l'inventaire des stations hydrométriques du bassin du Ntem, il faut mentionner la station du Seng à Assosseng qui draine 440 km² de la région d'Ebolowa et a pour coordonnées 2° 50′ de latitude nord, 11° 09′ de longitude est et une altitude de 570 m.

1.3.2. Données de base

Déterminées à partir des courbes isohyètes interannuelles, les hauteurs de précipitations annuelles moyennes sont respectivement de 1 640 mm pour le Ntem à Ngoazik et de 1 675 mm pour le Ntem à Nyabessan. L'ensemble du bassin du Ntem recevrait une lame d'eau de 1 695 mm. Le petit bassin du Seng reçoit une lame d'eau de 1 750 mm environ.

Sur le plan des débits, les données de base ont été résumées dans les tableaux 4.23 et 4.24 pour le Ntem à Ngoazik et les tableaux 4.25 et 4.26 pour le Seng à Assosseng.

Les figures 4.11 et 12a résument l'essentiel de cette information concernant les débits caractéristiques et les débits mensuels.

Tableau 4.23. – Ntem à Ngoazik.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1953-54				95.1	40.2	139	321	523	152	61.2	122	141	-
54-55	190	294	256	121	31.7	133	442	505	209	77.5	66.3	173	208
55-56	359	264	287	131	76.0	248	342	521	218	177	72.6	250	245
56-57	402	506	481	181	71.1	178	577	670	424	207	97.3	111	325
57-58	213	315	347	197	77.0	188	709	584	419	134	82.6	67.3	278
58-59	129	241	146	31.9	15.9	59.2	409	347	197	87.7	85.2	56.8	151
59-60	120	345	209	99.8	67.0	294	737	687	471	304	213	127	306
60-61	266	311	350	170	138	479	664	826	382	207	218	144	346
61-62	255	163	214	100	102	127	430	529	253	72.3	65.1	196	209
62-63	519	520	384	165	80.7	168	563	523	418	152	137	432	338
63-64	270	418	254	323	169	419	738	503	294	159	112	161	318
64-65	415	439	*270*	*143*	74.2	175	594	790	*792*	199	163	279	*324*
65-66	363	335	340	165	123	281	704	639	302	124	116	125	301
66-67	420	624	717	534	247	360	564	674	363	137	108	90.1	405
67-68	122	173	407	186	72.0	219	784	729	377	155	146	186	305
68-69	273	579	419	157	88.0	254	533	546	640	108	180	410	355
69-70	514	336	275	157	121	301	654	581	280	106	85.0	176	307
70-71	195	233	440	199	117	264	659	957	262	132	67.0	105	303
71-72	232	168	131	890	80.9	225	558	556	242	71.4	71.3	108	211
72-73	290	230	206	88.3	76.8	205	597	639	202	143	97.7	115	241
73-74	204	292	384	148	111	182	411	412	177	79.4	84.3	114	217
74-75	188	434	303	111	125	228	506	572	268	84.2	115	115	254
75-76	334	259	172	156	54.0	84.2	430	646	385	120	115	136	241
76-77	260	278	355	173	79.7	135	583	583	336	233	112	84.1	268
MED.	260	311	287	156	78.3	212	570	583	298	135	109	131	288.5
ET.	109	125	135	96.4	48.0	101	130	133	112	59.9	43.5	95.2	62.1
MOYE.	267	342	307	163	92.4	224	563	610	318	142	114	163	276
Q1	359	434	384	177	119	272	661	677	383	187	129	181	321
Q3	190	259	209	105	69.5	153	436	523	230	35.9	83.4	109	229

Tableau 4.24. – Ntem à Ngoazik.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1953-54	27/8	29.5	33.1	42.8	-	-	-	478	523	616	19/11
54-55	27/8	23.0	24.0	47.6	74.0	163	299	455	560	665	05/11
55-56	03/9	50.0	61.2	70.2	115	242	325	448	597	635	11/11
56-57	28/2	51.6	57.6	69.3	118	299	496	642	695	729	13/11
57-58	02/3	47.6	58	63	96.3	208	414	624	784	877	17/10
58-59	12/9	14.4	14.8	15.6	45.5	102	205	368	523	627	22/10
59-60	13/8	33.1	40.4	88.5	111	173	382	769	861	896	01/12
60-61	14/7	82.0	108	121	171	273	463	784	920	978	14/11
61-62	27/8	33.1	35.2	50	78	171	292	534	612	646	10/11
62-63	24/8	55.8	68.4	100	141	251	496	612	650	672	14/10
63-64	11/2	108	111	114	152	283	410	654	758	830	18/10
64-65	31/8	48.8	65.7	107	150	261	410	605	939	1034	06/11
65-66	03/9	78.0	85.9	95	128	236	421	683	758	799	11/10
66-67	28/3	65.7	98.9	163	429	616	725	766	834	882	25/06
67-68	24/8	55.8	62.1	76	128	196	429	773	908	1006	31/10
68-69	27/8	48.4	63	85.9	152	396	545	665	695	717	14/05
69-70	17/2	53.2	66.6	91.1	130	219	429	717	747	815	06/11
70-71	10/2	49.2	58.7	78	114	139	371	799	1074	1318	11/11
71-72	21/2	35.2	48.4	58.5	72	145	248	597	740	807	28/10
72-73	21/8	50.0	63	72	104	161	305	654	758	799	24/10
73-74	27/1	63.0	67.5	74	97.6	176	302	425	538	593	05/11
74-75	22/1	64.8	70.2	78	105	183	398	560	654	702	06/11
75-76	03/9	26.0	28.5	46	112	181	*899*	597	695	710	20/11
76-77	16/8	55.8	57.6	72	105	242	389	597	657	710	24/11
MED.		50.0	61.6	75.0	114	208	389	618	717	764	
ET.		20.5	23.4	24.8	31.2	76.1	97.3	119	141	167	
Q1		59.4	67.9	93.0	141	261	429	700	775	855	
Q3		34.1	44.4	60.7	97.6	173	302	547	631	668	

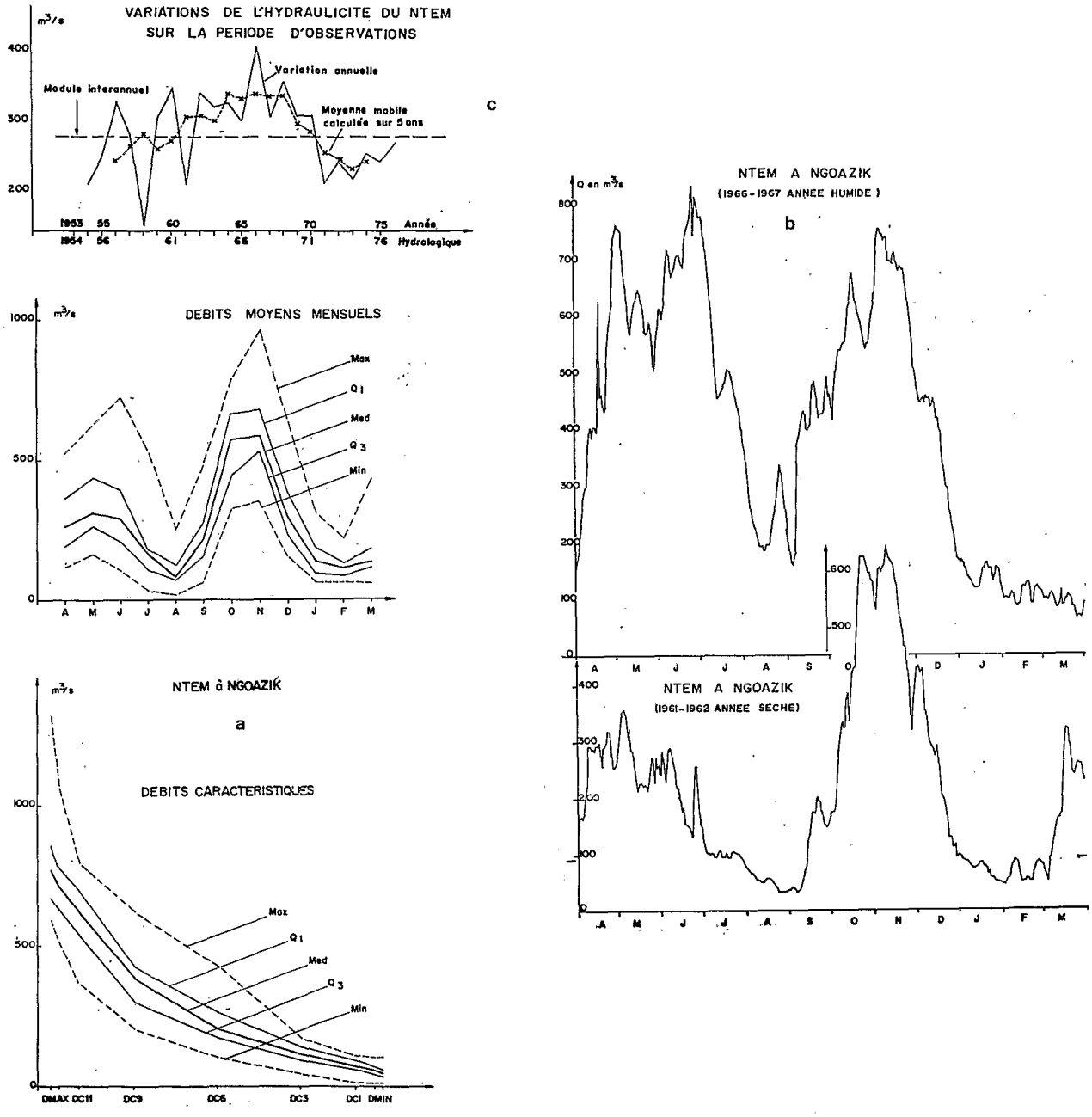


Fig. 4.11. – Débits du Ntem à Ngoazik.

Tableau 4.25. – Seng à Assosseng.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1955-56	2.83	4.75	8.27	3.49	2.40	6.21	20.7	19.2	5.60	1.91	3.15	8.80	*7.40*
56-57	12.9	13.7	10.30	8.04	2.00	6.68	24.7	20.6	8.47	1.14	3.65	4.00	9.68
57-58	8.77	8.72	10.94	8.39	3.36	6.81	17.0	19.6	8.63	2.36	1.64	2.21	8.29
58-59	6.07	9.41	2.25	-	-	-	12.0	10.4	6.91	2.57	1.21	1.18	
59-60	4.79	9.43	5.09	2.41	2.91	11.1	19.8	17.2	6.25	1.93	1.60	6.75	7.44
60-61	9.47	9.61	8.32	2.78	1.57	7.97	20.5	21.3	11.2	9.38	3.43	2.79	9.04
61-62	6.71	6.82	6.39	2.23	0.54	7.46	16.7	20.5	6.79	1.72	1.33	7.86	7.09
62-63	13.7	10.9	9.94	5.49	2.43	6.72	9.15	13.0	6.13	2.19	2.19	5.40	7.27
63-64	6.27	6.36	11.62	13.20	3.67	6.04	11.6	11.6	4.5	1.90	1.34	2.99	6.81
64-65	9.59	9.90	8.22	2.53	7.01	3.03	17.2	16.7	5.7	2.56	3.28	7.25	*6.02*
65-66	6.28	13.2	13.9	5.01	5.43	8.85	17.6	10.0	3.21	1.31	1.20	1.64	7.33
66-67	7.63	13.9	18.6	11.07	5.03	7.80	17.4	25.7	8.89	4.49	1.91	2.01	10.4
67-68	3.50	12.3	16.5	4.98	2.12	21.2	20.5	15.5	8.68	3.02	2.18	3.13	8.48
68-69	5.73	8.42	9.41	-	1.24	6.30	12.4	-	8.59	2.91	1.94	11.49	-
69-70	8.38	9.66	8.23	6.55	6.10	19.6	15.7	20.6	5.35	2.42	2.89	10.41	9.66
70-71	13.1	13.28	11.6	4.94	6.98	12.7	22.0	21.2	6.26	2.67	1.60	3.30	9.84
71-72	3.28	3.44	5.21	3.62	1.31	7.38	27.1	12.0	5.07	1.16	0.68	5.61	6.32
72-73	4.80	6.57	7.05	1.40	1.19	9.12	22.4	17.9	4.37	2.00	0.61	3.23	6.74
73-74	5.68	8.78	14.0	6.09	4.33	6.35	11.7	4.94	1.82	1.02	1.31	2.17	5.69
74-75	4.66	8.43	4.86	0.66	1.79	9.60	14.0	15.8	3.38	0.81	2.34	1.90	5.72
75-76	7.41	5.60	7.18	8.39	0.73	3.40	15.4	25.5	6.36	2.10	2.10	3.64	7.00
76-77	7.80	6.00	10.0	4.00	0.80	2.30	16.2	22.8	11.40	8.45	1.60	1.50	7.74
MED.	6.27	9.09	8.86	4.99	2.43	7.46	17.3	17.9	6.26	2.14	1.77	3.26	7.37
ET.	8.14	2.98	3.92	8.40	2.27	5.45	3.12	4.63	2.40	2.16	0.86	3.02	1.41
MOYE.	7.02	9.05	9.45	7.06	3.35	9.39	17.35	17.24	6.44	2.73	1.96	4.51	7.70
Q1	8.38	10.9	11.6	8.22	5.23	10.3	20.7	20.9	8.47	2.67	2.34	6.75	8.76
Q3	4.79	6.57	7.05	2.65	1.44	6.32	14.00	12.50	5.07	1.72	1.33	2.17	6.77

Tableau 4.26. – Seng à Assosseng.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1955-56	01/2	0.73	*0.92*	*0.98*	3.56	*6.20*	*8.18*	*20*	*29.7*	*30.9*	08/11
56-57	12/3	0.92	0.92	1.04	2.40	7.64	14.60	23.0	31.4	32.1	22/10
57-58	01/3	*0.92*	0.92	1.08	2.64	4.05	12.90	20.0	22.1	30.5	07/11
58-59	11/3	0.35	0.57	0.75	0.92	2.40	6.02	12.3	19.4	28.0	21/11
59-60	03/3	0.57	0.73	0.90	2.46	4.26	15.50	19.0	22.6	29.7	06/09
60-61	24/8	0.90	1.10	1.39	2.88	5.21	13.20	21.9	29.5	30.9	05/11
61-62	31/8	0.14	0.42	0.73	1.95	4.05	10.35	20.6	25.1	30.9	
62-63	14/2	0.64	1.21	1.59	2.70	5.75	10.62	15.3	18.8	24.4	22/04
63-64	18/2	0.75	0.87	1.10	2.82	5.03	8.90	16.4	20.6	30.9	02/07
64-65	27/8	0.50	0.59	1.04	3.21	5.48	10.44	17.5	25.3	43.2	04/11
65-66	04/3	0.48	0.67	0.87	2.58	4.40	10.71	17.6	24.7	29.7	31/05
66-67	08/3	0.64	0.84	1.59	3.91	7.64	14.30	26.1	29.4	36.9	29/10
67-68	04/2	0.75	0.90	1.27	2.70	4.67	13.00	21.8	26.2	37.9	02/11
68-69	27/8	*0.57*	*0.78*	*1.38*							
69-70	16/2	0.59	1.15	2.13	3.56	7.64	13.60	22.2	27.8	33.4	06/11
70-71	12/3	0.75	1.10	1.95	3.49	7.82	15.20	21.6	28.9	35.7	04/11
71-72	16/2	0.38	0.53	0.90	1.38	3.33	7.37	23.1	28.4	31.9	06/10
72-73	07/2	0.38	0.55	0.70	1.27	3.84	7.91	22.0	26.6	29.5	07/11
73-74	09/1	0.29	0.48	0.73	1.95	3.84	7.46	15.0	18.0	24.4	19/06
74-75	12/8	0.10	0.38	0.50	1.10	3.42	7.55	16.1	21.0	25.6	10/10
75-76	17/9	0.23	0.35	0.57	1.95	4.58	10.08	18.6	28.5	35.1	15/11
76-77	10/3	0.40	0.55	0.78	1.86	5.21	11.25	17.7	28.6	31.5	18/11
MED.		0.57	0.75	1.01	2.58	4.67	10.6	20.0	26.2	30.9	
ET.		0.24	0.26	0.43	0.85	1.56	2.89	3.33	4.07	4.5	
Q1		0.75	0.92	1.35	3.05	5.97	13.4	12.9	28.7	33.4	
Q3		0.38	0.55	0.75	1.90	3.94	8.05	16.9	21.5	29.6	

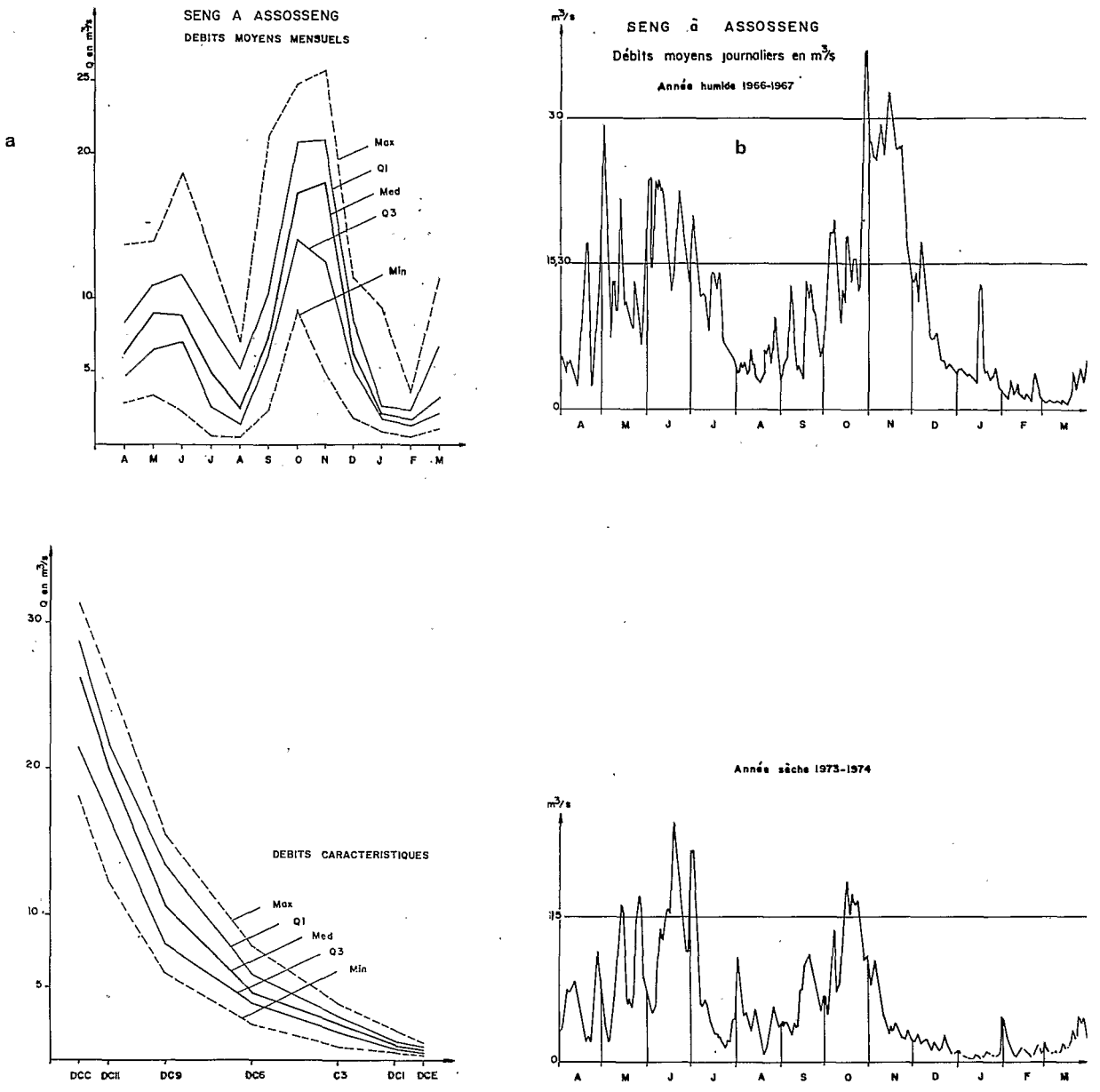


Fig. 4.12. – Débits du Seng à Assosseng.

Enfin les figures 4.11 et 12b proposent deux exemples d'hydrogrammes annuels, correspondant à des années de faible et forte hydraulicité.

• **Pour le Ntem à Ngoazik**

- le module moyen est de 276 m³/s, soit 15,2 l/s.km² ;
- l'étiage médian observé est de 50 m³/s, soit 2,76 l/s.km² ; l'étiage le plus bas observé étant de 14,4 m³/s, soit 0,80 l/s.km² ;
- le maximum annuel médian est de 764 m³/s, soit 42,2 l/s.km² ; le maximum le plus fort observé étant de 1 318 m³/s, soit 72,8 l/s.km².

On notera la faible valeur du débit spécifique par rapport à celui de la Lobe ; ceci est en rapport avec les régimes pluviométriques.

Le caractère équatorial du régime est particulièrement prononcé avec, ce qui peut surprendre puisque le Ntem est encore au nord de l'équateur, le débit mensuel le plus faible observé en août et un rapport des débits mensuels les plus faibles des saisons sèches, Q août/Q février = 0,81.

Le débit mensuel le plus élevé est observé en novembre. Il est nettement supérieur au débit mensuel le plus élevé de la première saison des pluies de l'année (mai). Le rapport Q novembre/Q mai = 1,78.

Les périodes de hautes-eaux traduisent bien le caractère équatorial nord du régime du Ntem.

Le débit mensuel le plus faible (août) représente 33 % du module. Le débit mensuel le plus fort représente 221 % du module.

• **Pour le Seng à Assosseng**

- le module moyen est de 7,70 m³/s, soit 17,5 l/s.km² ;
- l'étiage médian observé est de 0,57 m³/s, soit 1,30 l/s.km², l'étiage médian le plus fort observé étant de 0,100 m³/s, soit 0,23 l/s.km² ;
- le maximum annuel médian est de 30,9 m³/s, soit 70,2 l/s.km², le maximum le plus fort observé étant de 37,9 m³/s, soit 86,0 l/s.km².

Le rapport des deux débits mensuels les plus faibles des deux saisons sèches Q février/Q août est de 0,73.

Celui des deux débits mensuels les plus élevés des deux saisons de hautes-eaux, Q novembre/Q mai, est de 1,97.

La tendance équatoriale est moins prononcée que sur le Ntem.

Les rapports :
Q février/Module = 0,23 ;
Q novembre/Module = 2,32
ont des valeurs traduisant une amplitude des varitions mensuelles un peu plus élevée que sur le Ntem.

1.3.3. Les basses-eaux

Le tarissement

Si les périodes de basses-eaux du Ntem présentent bien une décroissance parfois régulière des débits, celle-ci s'apparente davantage à une phase de décrue qu'à une période de réel tarissement. Cela tient à l'origine diverse des affluents (Nord et Sud). Cependant pour les deux saisons sèches, on a pu mettre en évidence certaines années des phases de tarissement dont le coefficient varie de 0,025 à 0,035.

Sur le Seng, les périodes de tarissement sont aussi très souvent perturbées ; le coefficient de tarissement observé sur les deux saisons sèches traduit un tarissement rapide de la rivière ; il varie de 0,03 à 0,045.

Les étiages absolus

Sur le Ntem à Ngoazik, ceux-ci apparaissent 15 fois sur 24 pendant la « petite saison sèche » (63 % des cas) et pour le Seng, plus au nord, 6 fois sur 23 (27 % des cas). A Nyabessan, l'étiage absolu survient 2 fois sur 3 en « petite saison sèche ».

Les dates d'apparition de l'étiage absolu ont été décomptées par décades dans le tableau 4.27.

A Ngoazik, l'étiage absolu apparaît le plus souvent dans la 3e décade du mois d'août.

Tableau 4.27

Saison	Grande saison sèche									Total	Petite saison sèche									Total
Mois	Janv			Févr			Mars				Juil			Août			Sept			
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3	1	2		
Ntem à Ngoazik (24 ans)			2	1	2	2	1		1	9	1	0	0	2	0	8	3	1		15
Ntem à Nyabessan (18 ans)					3	2	1			6				4	4	3	1			12
Seng à Assosseng (23 ans)	1	0	0	3	6	0	5	2		17	0			1	4			1		6

Lorsqu'il est observé pendant la grande saison sèche, l'occurence de son apparition est plus grande pendant la 2e décade de février. Dans le même temps, on note un éventail plus large de l'éventualité d'apparition de l'étiage absolu qui traduit une certaine interférence des influences australes et boréales du climat équatorial, bien que le bassin de Ntem soit entièrement situé au nord de l'équateur.

Ajoutons que les périodes de basses-eaux succédant à des périodes des hautes-eaux très dissymétriques et les saisons sèches tendant vers une même durée, il paraît normal que l'étiage le plus bas soit le plus souvent consécutif à la période de hautes-eaux de moindre ampleur, et apparaisse donc en août.

L'étude fréquentielle des étiages absolus de Ntem à Ngoazik a abouti à l'ajustement de l'échantillon à une distribution de Galton dont les caractéristiques sont les suivantes (figure 4.13) :

Paramètre d'échelle : 97,3 Coef. de variation : 0,394
Paramètre de position : — 48,4 Coef. d'asymétrie : 0,614
Paramètre de forme : 0,200 Coef. d'aplatissement : 0,677
Moyenne : 50,9 Médiane : 48,9 Mode : 45,1

Les calculs de prédétermination des étiages absolus de récurrence donnée aboutissent aux résultats suivants (tableau 4.28) :

Tableau 4.28.

Etiages du Ntem à Ngoazik	Moyenne	Médiane	Années sèches				
Périodes de retour	–	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	50.9	48.9	33.9	26.9	21.7	16.2	12.8
$l/s.km^2$	2.81	2.70	1.87	1.49	1.20	0.90	0.71

L'étiage le plus bas observé est de 14,4 m³/s.

Pour l'échantillon d'étiages du Seng, l'ajustement d'une loi de Goodrich s'écartant peu de la loi normale aboutit aux calculs de prédétermination suivants (tableau 4.29) :

Tableau 4.29.

Etiages du Seng à Assosseng	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	0.547	0.345	0.243	0.163	0.082
$l/s.km^2$	1.24	0.78	0.55	0.37	0.19

Si les étiages spécifiques du Ntem se situent bien dans la gamme de ceux déterminés pour le Nyong, on notera que ceux du Seng sont particulièrement faibles.

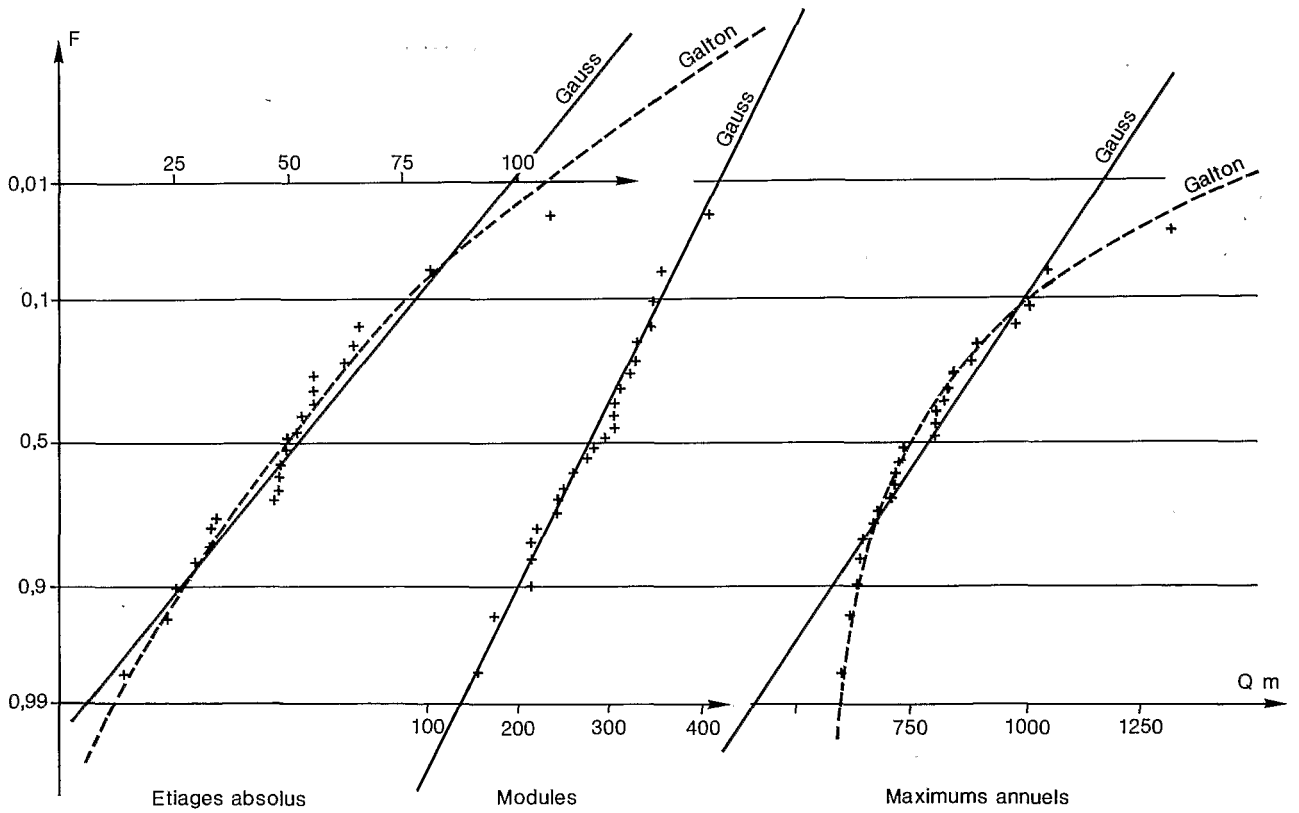


Fig. 4.13. – Étude fréquentielle des modules et des débits extrêmes du Ntem à Ngoazik.

L'étude de corrélations entre les débits d'étiages est résumée ci-dessous :

Pour le Ntem :DCE = 1,13 Dmin + 2,9 r = 0,952
DC_1 = 1,07 Dmin + 23,6 r = 0,730
pour le Seng :DCE = 0,91 Dmin + 0,26 r = 0,845
DC_1 = 1,06 Dmin + 0,51 r = 0,597

La liaison entre les débits caractéristiques, très lâche pour le débit caractéristique d'étiage de 30 jours (DC_1) sur le Ntem, est franchement mauvaise pour le Seng.

1.3.4. Les crues

Le régime des crues du Ntem montre que 22 fois sur 24 (92 % des cas) le maximum annuel survient pendant la grande saison des pluies, c'est-à-dire en octobre-novembre.

Un maximum annuel de 882 m³/s a été observé le 25 juin 1966, et un autre de 717 m³/s a été observé le 14 mai 1968.

Le décompte par décades du maximum annuel survenu en grande saison sèche est indiqué dans le tableau 4.30.

Tableau 4.29.

Mois	Octobre			Novembre			Décembre			Total
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Ntem à Ngoazik		4	4	6	6	1	1			22/24
Ntem à Nyabessan		2	4	10	2		0			19/20

La date médiane se situe le 5 novembre à Ngoazik et la crue annuelle apparaît dans 60 % des cas entre le 26 octobre et le 17 novembre. A Nyabessan, plus de la moitié des maximums apparaissent entre le 1er et le 10 novembre.

Sur le Seng, la petite taille du bassin (440 km²) explique que l'apparition du maximum annuel soit plus aléatoire, compte tenu de ce que les crues sont consécutives à de brefs épisodes pluvieux qui peuvent s'observer en dehors du maximum de la saison des pluies. Le maximum annuel est toutefois le plus souvent observé en octobre-novembre, 9 fois pendant la 1er décade de novembre, 1 fois en septembre. On l'observe aussi 1 fois en avril, en mai, en juin et en juillet.

L'étude fréquentielle des maximums annuels du Ntem aboutit à un bon ajustement de l'échantillon suivant les lois de distribution de Galton et de Frechet.

Pour la distribution de Galton, on a les caractéristiques suivantes :

Paramètre d'échelle : 203,8 Coef. de variation : 0,233
Paramètre de position : 542,1 Coef. d'asymétrie : 2,588
Paramètre de forme : 0,655 Coef. d'aplatissement : 13,89
Moyenne : 794,7 Médiane : 746,0 Mode : 674,8.

Les calculs de prédétermination des crues donnent les résultats suivants (tableau 4.31) :

Tableau 4.31.

Maximums crues du Ntem à Ngoazik	Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	–	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	746	795	896	1014	1140	1325	1478
$l/s.km^2$	41.2	43.9	49.5	56.0	63.0	73.2	81.7

La crue maximale observée à atteint 1 318 m³/s.

Le rapport crue centennale/crue décennale, $K_{c/d}$ = 1,46, est élevé en comparaison de celui du Nyong et traduit une plus forte irrégularité interannuelle.

Les récentes mesures exécutées à Nyabessan (1980), qui n'ont pu être utilisées ici, permettent toutefois d'estimer à environ 2 500 m³/s le plus fort débit du Ntem à Nyabessan (pour H = 498 cm), ce qui correspondrait à un débit spécifique de crue de 95 l/s.km², quand le maximum observé à Ngoazik n'est que de 72,8 l/s.km². Ainsi, comme sur le Nyong, le débit spécifique de crue augmenterait lorsque la superficie du bassin augmente. Ce phénomène a été interprété comme résultant d'un gain important en précipitations et de conditions de ruissellement plus favorables (relief et pentes) sur le bassin aval. C'est bien ce que l'on observe aussi pour le Ntem.

Sur le Seng, le meilleur ajustement est obtenue par la loi de Galton (faible dissymétrie positive) dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 22,37 Coef. de variation : 0,138
Paramètre de position : 8,80 Coef. d'assymétrie : 0,382
Paramètre de forme : 0,190 Coef. d'aplatissement : 0,608
Moyenne : 31,18 Médiane : 31,01 Mode : 30,38

Les résultats de l'étude de prédétermination sont indiqués dans le tableau 4.32.

Tableau 4.32.

Maximums crues du Seng à Assosseng	Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	–	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	31.0	31.2	35.0	37.0	39.4	41.8	34.6
$l/s.km^2$	70.4	70.7	79.6	84.1	89.6	95.0	99.1

Le maximum observé est de 37.9 m³/s.

L'étude des corrélations entre débits caractéristiques de crue de Ntem aboutit aux relations suivantes :

$$DCC = 0{,}82\ Dmax + 76{,}1, \text{ avec } r = 0{,}968$$
$$DC_{11} = 0{,}55\ Dmax + 179, \text{ avec } r = 0{,}767.$$

Tableau 4.33.

Modules du Ntem à Ngoazik	Années sèches					Moyenne	Années humides				
Périodes de retour (ans)	100	50	20	10	5	2	327	10	20	50	100
m^3/s	134	151	176	198	225	276	327	354	376	401	417
$l/s.km^2$	7.4	8.3	9.7	10.9	12.4	15.3	18.1	19.6	20.8	22.2	23.0
He mm	233	262	306	344	391	482	571	618	656	700	725

1.3.5. Modules et termes du bilan

L'étude fréquentielle des modules du Ntem à Ngoazik aboutit à des ajustements pratiquement de même qualité suivant les distributions normale ou de Goodrich, Galton et Pearson III. La loi normale a donc été retenue ; elle est caractérisée par la moyenne 276 m^3/s et l'écart-type 60,8 m^3/s ; le coefficient de variation est 0,220.

L'étude de prédétermination des modules du Ntem aboutit aux résultats suivants (tableau 4.33) :

Les modules extrêmes observés sont de 151 et de 405 m^3/s.

L'irrégularité interannuelle, traduite par K3, rapport des modules décennaux humide et sec (K3 = 1,79), est plus élevée que sur le Nyong.

L'étude des modules du Seng aboutit à un ajustement de l'échantillon suivant une loi de Galton dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 3,932 Coef. de variation : 0,188
Paramètre de position : 3,539 Coef. d'asymétrie : 1,084
Paramètre de forme : 0,337 Coef. d'aplatissement : 2,158
Moyenne : 7,70 Médiane : 7,47 Mode : 7,05.

Le tableau 4.34 résume les calculs de prédétermination des modules.

L'étude des termes du bilan montre pour le Ntem un déficit d'écoulement interannuel de 1640 — 482 = 1 158 mm, valeur assez élevée qui implique que l'évapotranspiration potentielle est satisfaite sur le bassin du Ntem. On notera que la formule de Turc donnant pour Bitam une ETP de 1 087 mm aboutit à une ETP estimée du bassin du Ntem, légèrement inférieure aux 1 158 mm déterminés dans le calcul du bilan hydrologique. L'estimation de la hauteur de précipitation a pu être légèrement surestimée, mais la formule de Turc, elle-même, ne donnerait des résultats qu'à 50 ou 80 mm près. Le coefficient d'écoulement Ke est de 29 %.

Le bilan du Seng présente un déficit d'écoulement de 1 750 —552 = 1 198 mm, soit 1 200 mm, valeur de l'ETP correspondant à ce que l'on a déterminé sur le bassin du Nyong. Ke = 32 %.

Les variations des modules du Ntem sur la période d'observation montrent une physionomie tout à fait comparable à celle du Nyong (voir fig. 4.11c). La fig. 4.13 résume l'étude statistique effectuée sur le Ntem.

1.4. Conclusions

Le tableau 4.35, ci-après, regroupe les valeurs significatives des régimes hydrologiques des fleuves et rivières drainant les régions au sud du Nyon, qui ont été étudiés ici, et qui sont caractérisés par l'influence du climat équatorial à 4 saisons.

Tableau 4.34. – Modules du Seng à Assosseng.

	Années sèches					Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour (ans)	100	50	20	10	5	2	-	5	10	20	50	100
m^3/s	5.33	5.50	5.80	6.09	6.50	7.47	7.70	8.76	9.60	10.4	11.4	12.2
$l/s.km^2$	12.1	12.5	13.2	13.8	14.8	17.0	17.5	19.9	21.8	23.6	25.9	27.7
He mm	382	394	416	435	467	536	552	628	687	744	817	874

Tableau 4.35.

Cours d'eau Stations	Lokoundje Lolodorf	Kienke Kribi	Lobe Kribi	Ntem Ngoazik	Seng Assosseng
S km^2	1150	1435	2305	18100	440
Pm	1880	(2425)	2425	1640	1750
He mm	773	(1082)	1397	482	552
De = Er	1107	(1345)	1025	1158	1198
Débits spécifiques :					
Module moyen	24.5	34.3	44	15.3	17.5
Décennal sec	17.6	27.0	37	10.9	13.8
Décennal humide	32.6	41.5	52	19.6	21.8
Etiage moyen	3.04	4.8	4.8	2.81	1.24
Etiage décennal sec	2.22	3.4	3.4	1.49	0.55
Crue moyenne	109	124	167	43.9	70.7
Crue décennale humide	156	152	207	56.0	84.1

2. FLEUVES CÔTIERS A L'OUEST DE LA SANAGA

Ces fleuves peuvent se classer en plusieurs catégories :

1 – Tributaires de l'estuaire du Cameroun (ou du Wouri) ;
2 – Torrents issus du Mont-Cameroun ;
3 – Tributaires de la mangrove ouest de Rio del Rey ;
4 – Bassin de la Cross River qui se jette dans le golfe de Biafra à Calabar au Nigéria (fleuve côtier du Cameroun *sensu lato*).

Les régions drainées reçoivent généralement plus de 2 000 mm de précipitations annuelles, et souvent bien davantage, en une seule saison des pluies qui va de mars à novembre.

L'hydrogramme annuel est marqué par une seule période des basses-eaux et une seule saison de hautes-eaux.

Le climat équatorial côtier nord est donc très différent du climat équatorial du Nyong et les fleuves du Sud-Cameroun et ne doit en fait son appellation qu'à la latitude des bassins et à l'abondance des précipitations reçues.

Excepté pour le Wouri et le Mungo, l'information qui va être analysée ici reste très embryonnaire.

Cependant elle va permettre de dégager les caractéristiques des régions hydrologiques de ces régions de forêt au relief généralement bien accusé, aux précipitations très abondantes et au *substratum* souvent volcanique.

2.1. Les tributaires du Wouri

2.1.1. Le bassin du Wouri

2.1.1.1. Généralités

Le bassin du Wouri à Douala (11 700 km²) comprend un bief maritime important envahi par les marées qui se font encore sentir au-delà de Nono (confluent de la Dibombe). Sa partie « continentale » est drainée par deux affluents principaux :

- le Nkam, provenant des montagnes de la partie Nord-Ouest du bassin (Bamboutos, Manengouba) et du plateau bamiléké, constituant la branche majeure du réseau ;
- la Makombe, provenant des régions de Bangangte, Ndikinimeki et Ngambe.

Au confluent de ces deux rivières, le cours d'eau prend le nom de Wouri.

A Nono, en aval de Yabassi, le Wouri reçoit en rive droite un affluent important, la Dibombe, qui draine le flanc sud du Manengouba, les Monts Koupe de Loum et la région de Mbanga (fig. 4.14).

Les mesures hydrologiques concernent le bassin du Wouri à Yabassi dont la superficie est de 8 250 km² et le haut-bassin du Nkam à Melong dont la superficie est de 2 275 km².

La géométrie des bassins contrôlés à ces deux stations est résumée ci-dessous :

	S (km²)	Péri. (km)	Kc	Rectangle équivalent	
				L (km)	l (km)
Wouri à Yabassi	8 250	400	1,23	142	58
Nkam à Melong	2 275	205	1,20	69	33

L'ypsométrie du bassin du Wouri à Yabassi montre que 25 % de sa superficie se situe au-dessus de 700 m, 50 % au-dessus de 500 m et seulement 1/3 de sa superficie en dessous de 200 m.

Le profil hypsométrique (fig. 4.15) montre plusieurs cassures : la première montre le passage des zones montagneuses et du plateau bamiléké à la zone intermédiaire correspondant à l'ensemble du haut-bassin de la Makombe et également à la plaine des Mbos pour le Nkam. Cette zone est interrompue à la cote 700 environ par une seconde cassure qui fait la transition avec les zones de collines situées entre Nkongsamba, Nkondjok et Ndikinimeki. A la cote 200 environ, la plaine côtière du Wouri est atteinte. L'altitude moyenne du bassin versant du Wouri à Yabassi est de 576 m. L'altitude élevée de la partie amont du bassin a une influence nette sur le déficit d'écoulement qui tend à décroître, on le verra plus loin. L'indice global de pente est de 7,6 m/km.

Le réseau hydrographique présente plusieurs particularités. Dans la partie orientale du bassin et principalement pour le bassin de la Makombe, le réseau montre un chevelu extrêmement complexe marqué de brusques changements de direction perpendiculaires. Les directions privilégiées sont orientées SSW-NNE à SW-NE et WNW-ESE à NW-SE correspondant aux lignes de fractures bien connues dans la région, appelées respectivement « ligne du Cameroun » et « ligne de la Bénoué ». Bien que ces accidents tectoniques n'aient pas tous été reconnus sur le terrain (forêt dense), ils semblent confirmés par le réseau hydrographique de la zone de collines entre Nkondjok, Yingui et Ndikinimeki.

Dans la partie nord-ouest du bassin, le tracé du réseau présente l'aspect bien connu de longues lanières au flanc des appareils volcaniques importants comme le Manengouba ou les Bamboutos (voir carte de la fig. 4.14).

Les profils longitudinaux du Wouri-Nkam et de ses principaux affluents sont donnés dans la figure 4.15. La pente moyenne du Wouri-Nkam, obtenue après élimination des 20 % aval et amont du profil, est de 5,7 m/km.

La majeure partie du bassin du Wouri à Yabassi a une couverture géologique constituée par les formations du socle essentiellement représentées par des gneiss-embrechites à biotite et secondairement par des anatexites, des granites syntectoniques non circonscrits. Ces derniers s'orientent sur un axe d'anticlinorium orienté SW-NE affleurant à l'est de Loum et dans le massif du Batie entre Bafang et Bandjoun.

Les recouvrements volcaniques sont importants au nord et à l'ouest du bassin. Ils sont surtout constitués de basaltes aphyriques de la série noire inférieure (début du tertiaire), de quelques trachytes (série blanche moyenne) et de basaltes de la série noire supérieure (quaternaire) de Mbanga à Melong.

En aval de Yabassi, le bassin du Wouri a une couverture constituée par la série sédimentaire côtière du crétacé inférieur au miopliocène en passant par l'éocène. Enfin, rappelons que l'ensemble de la région a été soumis à une tectonique cassante intense antérieure et contemporaine du volcanisme.

Les sols dérivés de ces roches sont évidemment très variés ; ce sont surtout des sols ferrallitiques rouges dérivés de roches métamorphiques ou de basaltes et des sols bruns dérivés de basaltes dont la grande perméabilité doit être soulignée.

La végétation du bassin du Wouri est essentiellement constituée par une forêt dense sempervirente atlantique de basse et moyenne altitude. Forêt ombrophile, elle est caractérisée par *Lophira alata* dans la zone littorale et de nombreuses espèces de légumineuses en moyenne altitude (voir première partie).

Elle est très dégradée dans la région de Yabassi (palmeraies) et de Mbanga à Nkongsamba (bananeraies et café robusta). Au-dessus de 1 200 m dans le

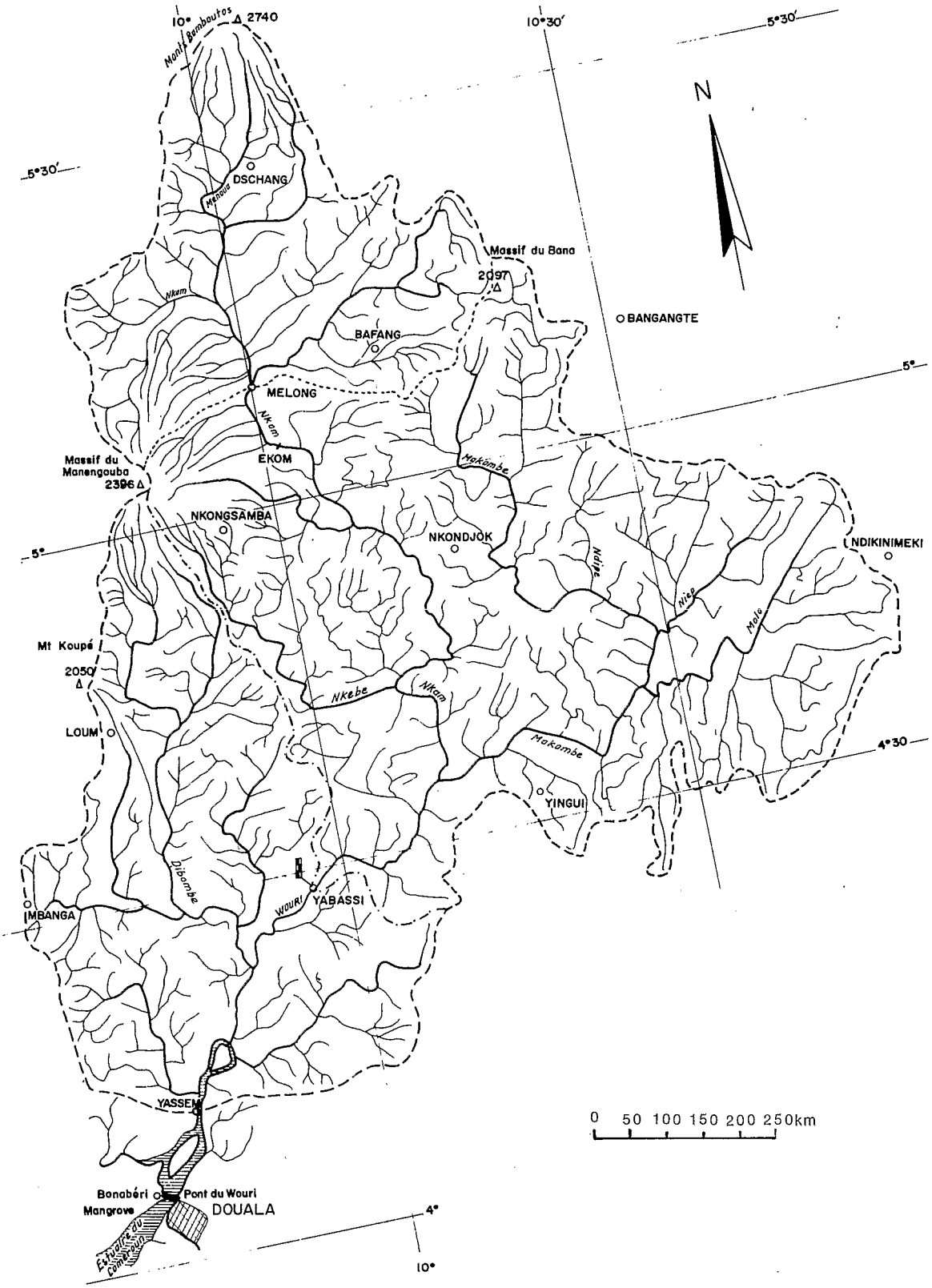


Fig. 4.14. – Réseau hydrographique du bassin versant du Wouri.

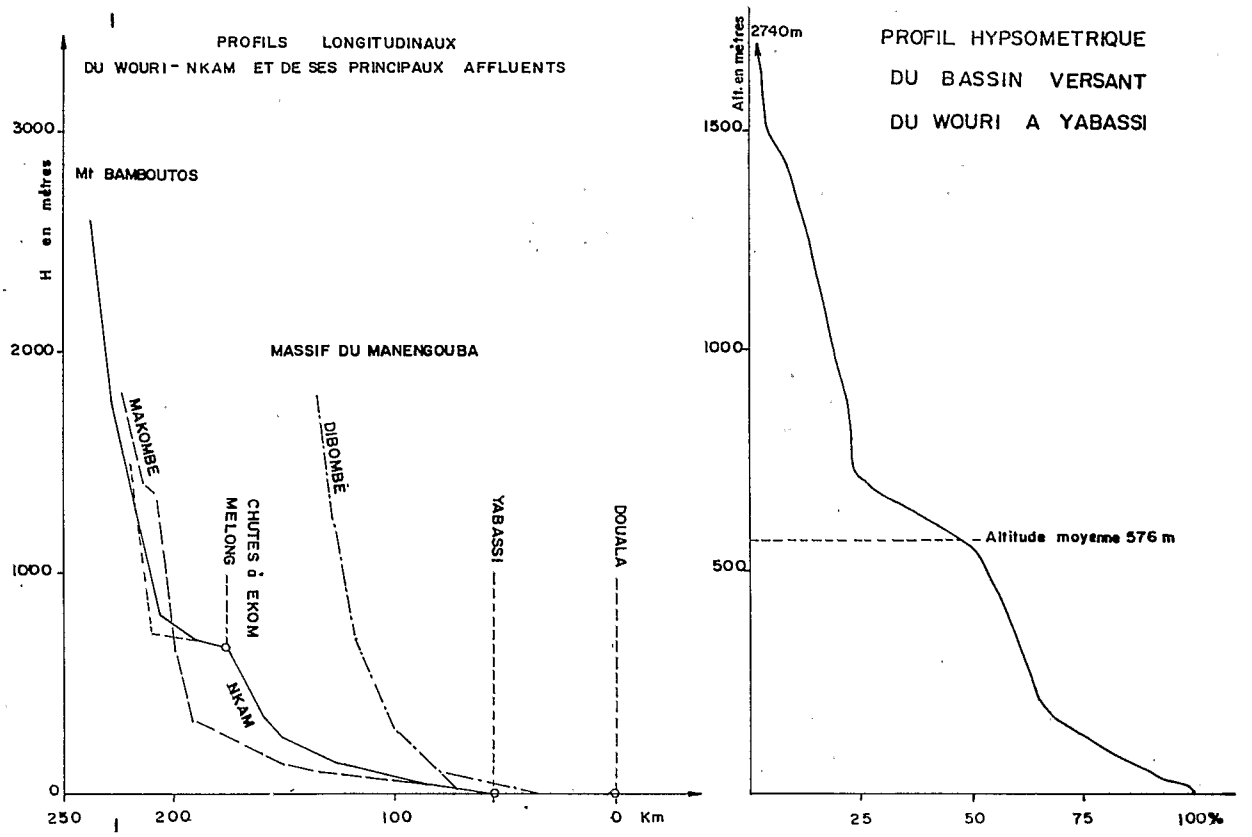


Fig. 4.15. – Relief du bassin et profil en long du Wouri.

nord et l'ouest, on note des forêts clairsemées et des prairies de montagnes ainsi que d'importantes zones de cultures (vivrières et café arabica).

L'étude des paramètres climatologiques, qui a été faite, montre que les différentes observations effectuées à Nkongsamba et à Nkondjok se rapprochent davantage de celles de Douala que de celles de Dschang. La vallée du Wouri et la Plaine côtière favorisent la pénétration profonde des influences maritimes jusqu'aux obstacles orographiques de la dorsale camerounaise, du plateau bamiléké et du plateau du Centre-Sud. La variante montagnarde du climat tropical de transition, ou du climat tropical de l'Ouest, n'intéresse qu'une petite partie du haut-bassin du Nkam au nord de Melong.

La station hydrologique de Yabassi contrôle un bassin versant de 8 250 km². Elle a pour coordonnées géographiques : latitude : 4° 28′ N ; longitude : 9° 58′ E.

Celle de Melong sur le Nkam contrôle la partie septentrionale du bassin du Wouri sur une superficie de 2 275 km². Elle a pour coordonnées géographiques : latitude : 5° 09′ N ; longitude : 10° 00′ E.

D'autres stations permanentes ou temporaires ont été installées. En aval de Melong, la station d'Ekom sur le Nkam contrôle un bassin de 2 440 km². Elle a pour coordonnées : latitude : 5° 04′ N ; longitude : 10° 02′ E. Directement à l'amont des chutes d'Ekom, d'une hauteur de 80 m, cette station se justifiait par les préoccupations des hydrauliciens qui ont projeté l'aménagement hydro-électrique des chutes. Les mesures de débits effectuées ne concernent que les basses-eaux ; les jaugeages de hautes-eaux supposent des risques sans commune mesure avec leur intérêt, le bassin versant à Ekom ne concernant que 165 km² de plus qu'à Melong (7 % du B.V.).

Citons aussi la station de la Ménoua à Dschang, suivie de 1951 à 1965. Elle contrôle un petit bassin de 114 km². Cette station suivie dans le but de préciser les débits d'étiage n'a été étalonnée qu'en basses-eaux. La Mouankeu à Bafang et son affluent le Djanga ont fait l'objet de quelques mesures ponctuelles de 1956 à 1959, liées au débit minimum d'exploitation de l'éventuel aménagement d'une chute d'une hauteur de 20 m. Les étiages de la rivière Baréko ou Moum à Baré (27,6 km²) ont été observés et mesurés en 1976.

Enfin sur la Dibombe à Solle, une station a été installée le 23/1/51 ; elle contrôlait un bassin de 690 km² et son zéro était à 8,632 m sous un repère. Elle a été abandonnée à la fin des années 50, et les relevés n'ont pu être exploités faute d'étalonnage.

Une station installée à Nono par les Voies Navigables pour la navigation a été abandonnée.

Les données exploitables sur le bassin du Wouri se limitent donc aux stations de Melong et de Yabassi.

Sans vouloir nous attarder sur les problèmes d'étalonnage des stations (mentionnés en Annexe), il nous a paru intéressant de signaler ici le détarage persistant de la station du Wouri à Yabassi pour ce qu'il implique. Celui-ci se traduit par une diminution des débits pour une même hauteur d'eau et il est relativement important pour les basses-eaux. On a observé que les profondeurs de la section de mesure ont diminué depuis l'origine de nos observations. Quelques informations complémentaires expliquent ce détarage évolutif chronique. Le Wouri n'est actuellement plus navigable jusqu'à Yabassi, alors que le trafic de marchandises empruntant le fleuve était important en 1950. Ceci est dû à un alluvionnement important en aval de Yabassi. La crue annuelle du Wouri inonde chaque année de vastes zones de débordement qui n'étaient envahies que très exceptionnellement il y a 25 ans.

A un même débit correspond aujourd'hui une cote plus haute. Ceci montre une réduction du lit majeur due justement à l'alluvionnement.

La construction du pont du Wouri à Douala est probablement responsable de ce phénomène. La digue centrale du pont aurait favorisé le dépôt d'alluvions en amont. Ceci aurait entrainé une diminution de la pente du bief aval de Yabassi, qui, si minime qu'elle ait pu être, aurait réduit les vitesses du courant provoquant l'alluvionnement des sédiments dont le dépôt s'effectuait antérieurement dans l'estuaire du Cameroun. A Yabassi, depuis l'origine des mesures, on observe bien une réduction des vitesses moyennes du courant.

2.1.1.2. Données de base

Les précipitations

La hauteur de précipitations reçue en année moyenne sur les bassins du Wouri et du Nkam a été déterminée à partir des cartes isohyètes interannuelles. Elle est de **2 200 mm sur le bassin du Wouri à Yabassi** et de **2 100 mm sur le bassin du Nkam à Melong.**

Le dessin des courbes isohyètes s'appuie sur un nombre de postes pluviométriques réduit. Compte tenu des anomalies possibles du fait du relief, ces valeurs doivent être considérées comme une estimation. Il n'est pas superflu de souligner ici que la pluviométrie annuelle diminue de l'aval vers l'amont, vers le nord et l'est, un peu à l'image de ce qui a été observé d'Ouest en Est sur le bassin du Nyong.

Les données hydrologiques

Nous avons réuni dans le tableau 4.36 les valeurs des débits moyens mensuels et modules de toute la période d'observation du Wouri à Yabassi, avec indication des valeurs médianes, moyennes, quartiles et écart-type. Le tableau 4.37 donne les débits caractéristiques relevés pour chaque année, avec indication des valeurs médianes et des quartiles.

Les graphes de la figure 4.16 retracent les variations de ces débits pour diverses fréquences. Les valeurs journalières des débits pour deux années ont été indiquées à titre d'exemple dans la figure 4.16 : 1969-70 année forte et 1973-74, année exceptionnellement déficitaire. De décembre à juin, les débits sont faibles. La reprise de la pluviométrie en mars n'amène pas d'augmentation importante du débit. L'accroissement des débits augmente rapidement à partir de juin-juillet pour atteindre des maximums en août-septembre et octobre, liés aux maximums de la pluviométrie. Ce temps de latence entre la réponse du fleuve aux précipitations déjà importantes de mars-avril, mai-juin et ces dernières est dû à la reconstitution des réserves des nappes souterraines et du sol épuisées par le tarissement de la saison sèche.

L'examen de ces variations montre par ailleurs des fluctuations extrêmement rapides de la rivière. Du jour au lendemain, on peut observer une augmentation de débit de plus de 1 000 m³/s. Des décrues du même ordre de grandeur, quoique moins rapides, n'excèdent pas deux ou trois jours.

Le module moyen observé est de 311 m³/s, soit 37,7 l/s.km².
L'étiage médian observé est de 49,3 m³/s, soit 6,0 l/s.km².
Le plus faible étiage étant de 22 m³/s, soit 2,67 l/s.km².
La crue médiane observée est de 1 425 m³/s, soit 173 l/s.km².
La crue maximale ayant atteint 1 845 m³/s, soit 224 l/s.km².
Les variations mensuelles des débits moyens sont traduites par les rapports suivants :
- débit moyen mensuel le plus faible (février)/ module = 0,21 ;
- débit moyen mensuel le plus fort (septembre)/ module = 2,61.

Les données hydrologiques du Nkam à Melong ont été indiquées dans les tableaux 4.37 et 38. Les figures 4.17 a et b en illustrent certains aspects.

Le module moyen observé est de 71 m³/s, soit 31,2 l/s.km².
L'étiage médian observé est de 11,4 m³/s, soit 5,0 l/s.km².
L'étiage le plus faible étant de 8,15 m³/s, soit 3,58 l/s.km².

Tableau 4.36. – Wouri à Yabassi.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52	79.5	104	241	318	536	679	780	385	155	90.3	75.5	65.9	293
52-53	90.0	116	193	409	560	821	553	309	146	85.4	85.2	77.2	288
53-54	78.6	111	304	429	513	763	548	279	131	87.7	75.0	74.6	284
54-55	106	152	324	531	485	800	744	355	154	92.9	66.9	101	327
55-56	119	204	259	486	622	737	778	410	178	108	78.2	133	344
56-57	148	148	232	474	575	952	790	391	198	126	83.1	95.6	352
57-58	150	*200*	354	549	705	883	800	401	236	137	73.6	74.4	*380*
58-59	145	178	299	326	495	963	642	323	162	90.9	53.1	65.2	313
59-60	92.6	150	207	408	541	973	689	378	162	104	59.1	60.9	319
60-61	105	177	189	439	829	810	636	377	166	101	62.8	57.4	331
61-62	107	107	272	292	300	325	290	151	104	48.1	44.7	77.9	177
62-63	110	69.0	292	412	703	920	722	417	183	96.1	72.3	61.5	339
63-64	91.9	132	120	366	457	673	549	270	129	78.0	54.9	64.2	249
64-65	131	129	241	490	316	1065	854	455	170	103	79.9	75.6	337
65-66	116	153	216	374	672	935	750	272	114	68.5	49.3	54.6	316
66-67	106	224	275	392	662	726	646	341	136	73.5	53.3	47.8	309
67-68	56.3	73.4	178	408	902	833	794	355	144	88.4	52.5	71.3	331
68-69	73.1	126	296	394	690	826	535	269	138	82.8	65.7	105	301
69-70	132	215	254	526	893	966	775	412	162	85.2	63.0	65.5	381
70-71	87.1	146	200	417	646	706	692	381	138	88.0	67.9	68.0	347
71-72	76.3	85.9	140	495	676	879	764	288	166	104	68.2	81.2	320
72-73	94.8	162	176	199	580	766	541	279	130	94.4	63.3	62.7	263
73-74	95.7	130	154	216	326	494	379	249	95.1	46.1	34.3	37.8	188
74-75	85.6	113	250	334	571	995	719	324	138	70.5	56.4	49.3	310
75-76	79.9	116	102	327	471	704	869	358	171	90.8	93.6	70.7	289
76-77	167	153	201	542	903	900	944	511	218	126	56.8	45.8	406
MED.	100	139	236	408	577	823	720	355	154	90.5	64.5	66.9	317.5
ET.	27.3	41.1	63.9	93.2	167	161	150	75.3	32.1	20.9	13.6	20.3	51.7
MOYE.	105	141	230	406	601	811	684	344	155	91.0	64.9	70.9	311.3
Q1	119	162	275	486	690	935	780	391	170	103	75.0	77.2	341
Q3	85.6	113	189	334	495	726	553	279	136	82.8	54.9	60.9	288.5

Tableau 4.37. – Wouri à Yabassi.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	09/3	47	53	59	84	179	426	769	975	1406	28/10
52-53	11/3	54	60	69	90	160	449	738	916	1135	15/09
53-54	09/3	50	56	63	82	170	384	678	898	1350	30/08
54-55	02/3	55	56	72	101	219	481	808	975	1329	14/09
55-56	16/2	67	73	82	118	227	539	790	935	1444	04/10
56-57	27/2	68	73	84	120	219	414	999	1221	1609	13/09
57-58	24/2	62	66	71		*236*	550	860	1178	1753	04/09
58-59	13/3	46	50	54	111	213	417	755	1135	1585	09/10
59-60	07/3	49	54	58	96	187	491	853	1035	1329	22/09
60-61	17/2	47	50	55	96	193	504	762	1329	1825	25/08
61-62	04/2	36.9	39.2	45.2	81.2	129	196	441	504	578	23/10
62-63	18/3	49.6	56.9	58.6	83.8	186	554	835	1065	1348	21/09
63-64	04/3	41.7	48.7	51.6	72.2	142	348	635	808	1250	26/09
64-65	07/3	53.6	62.7	72.2	108	174	446	944	1353	1770	25/09
65-66	06/3	33	41	50	72	159	526	818	1114	1845	01/10
66-67	25/4	35	41	50	77	200	491	773	876	1301	14/08
67-68	20/2	42	42	51	67	137	509	893	1173	1799	30/08
68-69	17/3	52	54	63	87	170	452	741	965	1375	05/09
69-70	04/4	44	54	60	95	218	536	923	1338	1651	20/08
70-71	05/3	52	55	30	81	158	509	738	902	1153	24/08
71-72	15/3	44	60	64	81	130	558	863	1085	1550	08/09
72-73	12/3	51	52	61	90	151	328	708	893	1244	01/09
73-74	11/3	22	28	32	62	133	293	426	591	1007	16/09
74-75	18/3	40	46	52	67	187	400	896	1143	1773	06/09
75-76	18/3	50.8	52.0	56.8	72	140	405	770	1109	1577	19/10
76-77	05/2	59.2	64	73	100	202	643	1048	1534	1720	23/10
MED.		49.3	53.5	58.8	84.0	176	446	781	1050	1425	
ET.		10.2	10.7	12.9	15.8	32.6	96.0	141	227	297	
Q1		53.6	60.0	69.0	98.0	202	526	863	1173	1720	
Q3		42.0	46.0	51.6	74.6	151	405	738	902	1301	

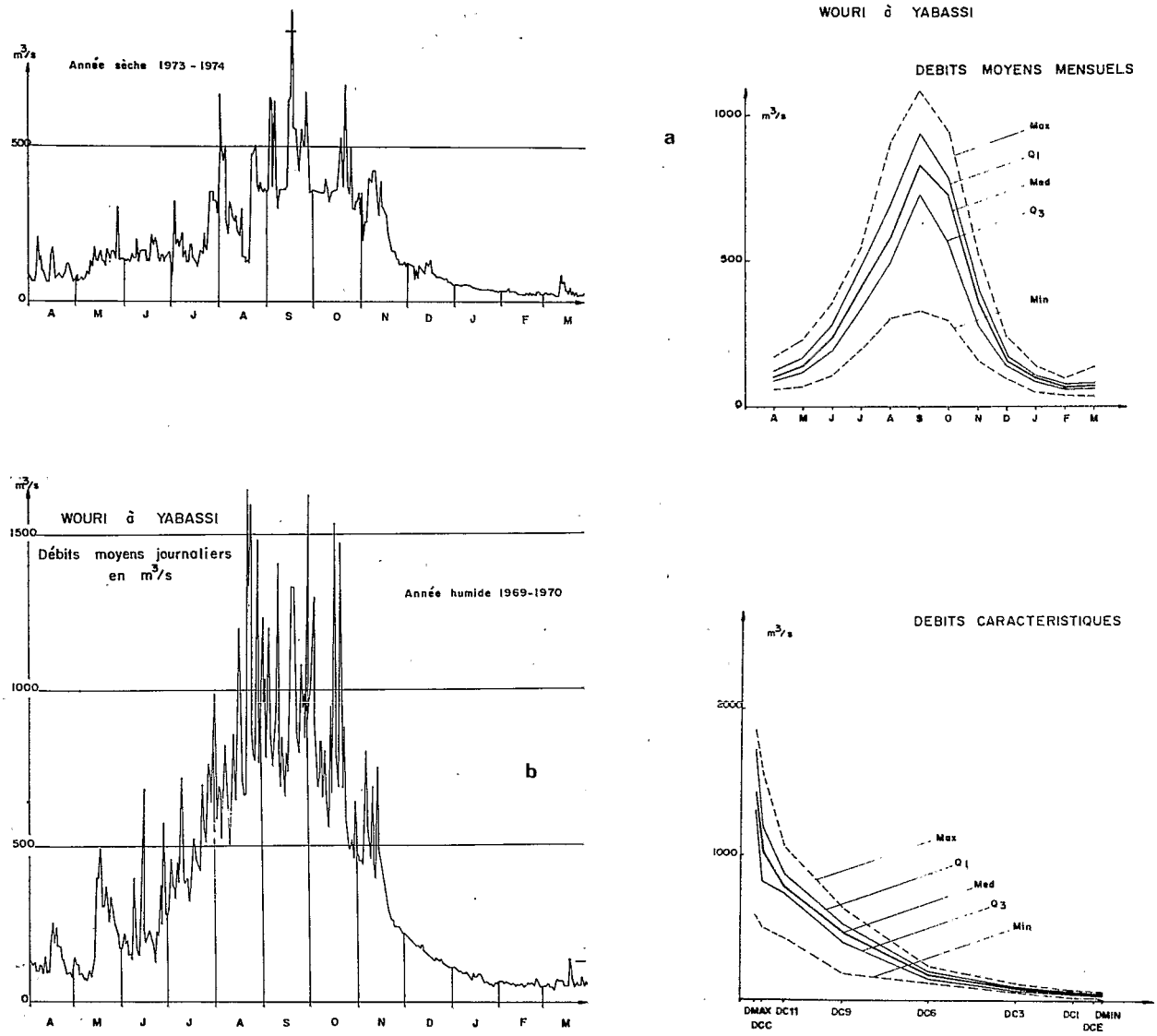


Fig. 4.16. – Débits du Wouri à Yabassi.

Tableau 4.38. – Nkam à Melong.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51										19.0	14.0	16.1	
51-52	23.0	27.8	54.1	71.4	119	153	180	88.5	35.3	20.4	17.7	16.3	67.5
52-53	34.2	42.1	63.1	118	167	168	155	84.9	36.5	20.8	18.3	17.4	77.5
53-54	19.8	24.9	70.7	95.1	120	194	121	57.7	32.3	19.5	18.0	20.0	66.2
54-55	28.0	44.1	82.2	158	179	236	179	99.2	40.8	23.4	16.3	20.8	92.7
55-56	41.0	53.4	64.9	95.4	180	207	161	90.1	35.6	20.6	17.4	25.9	82.8
56-57	36.9	42.7	53.4	126	113	224	174	64.4	36.0	21.1	14.8	21.6	77.6
57-58	38.6	62.0	103	131	153	205	192	86.9	51.0	26.7	17.1	18.6	90.8
58-59	28.5	31.3	67.2	68.9	115	184	128	72.1	34.6	23.6	14.2	15.7	65.5
59-60	30.9	53.4	64.5	84.3	113	193	174	95.3	38.8	23.6	15.2	17.8	75.5
60-61	28.8	46.3	47.3	97.0	151	165	145	72.3	39.4	25.1	16.7	12.7	66.5
61-62	21.9	18.7	20.9	80.0	90.8	184	158	64.1	30.5	18.9	13.9	26.0	60.9
62-63	43.5	46.2	60.6	126	127	215	212	106	47.7	27.8	21.1	19.8	88.1
63-64	33.2	47.5	40.8	80.8	96.3	144	141	62.1	32.0	19.5	15.3	20.7	61.3
64-65	38.4	32.3	45.0	75.1	57.4	189	196	120	42.9	28.0	20.1	22.5	72.4
65-66	36.1	44.1	72.5	95.5	171	204	160	60.6	31.0	18.4	14.4	15.4	77.3
66-67	45.5	65.6	92.9	79.5	129	162	130	70.3	32.8	19.4	14.2	13.6	71.4
67-68	20.3	25.1	58.8	128	176	196	162	72.7	34.6	22.0	14.9	27.5	78.4
68-69	25.7	42.2	55.6	75.9	161	184	107	53.4	26.0	16.1	12.1	32.7	65.9
69-70	33.8	59.3	49.5	113	147	189	160	82.3	36.1	20.6	13.8	12.5	76.8
70-71	20.5	29.9	45.1	83.6	130	148	147	72.4	29.1	17.4	12.8	14.9	62.8
71-72	18.5	26.6	39.8	120	128	181	169	53.9	33.5	17.7	13.2	15.1	68.2
72-73	25.2	24.8	32.9	29.9	84.3	141	114	45.6	20.5	14.7	10.8	12.3	46.5
73-74	17.9	40.4	46.8	49.8	80.1	114	79.8	39.8	18.1	12.2	9.6	11.3	43.4
74-75	25.7	24.0	58.0	71.0	123	214	148	61.0	27.7	16.1	15.2	14.7	66.7
75-76	21.8	21.7	22.3	51.2	98.5	145	189	72.5	37.8	19.5	18.4	19.7	69.8
76-77	24.7	19.3	32.5	116	151	175	207	103	40.8	24.7	16.1	11.8	77.2
MED.	28.2	41.2	54.8	89.7	127	184	160.0	72.3	34.9	20.4	15.2	17.4	70.6
ET.	8.12	13.7	19.5	29.5	33.0	29.0	31.6	19.6	7.25	4.17	2.65	5.30	11.6
MOYE.	29.3	38.3	55.5	93.1	129	181	157	75.0	34.7	20.5	15.4	18.3	71.1
Q_1	36.1	46.3	64.9	118	153	204	179	88.5	38.8	23.6	17.4	20.8	77.6
Q_3	21.9	25.1	45.0	75.1	113	162	141	61.0	31.0	18.4	13.9	14.7	65.7

Tableau 4.39. – Nkam à Melong.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	01/3	11.4	12.6	14.2	22.0	45.0	92.0	174	190	229	18/10
52-53	11/3	11.4	13.0	16.0	26.0	47.0	121	180	205	251	24/08
53-54	07/3	11.4	12.6	14.6	20.5	44.5	89.0	150	232	300	29/08
54-55	07/3	11.8	13.0	17.0	26.0	44.0	154	214	279	310	02/09
55-56	17/3	13.0	15.0	18.5	28.0	51.0	134	195	241	263	06/09
56-57	25/2	10.1	11.0	14.6	26.0	47.0	101	203	262	323	20/09
57-58	13/3	13.0	13.2	19.0	33.5	65.0	129	201	226	269	07/10
58-59	14/3	11.0	12.3	13.7	24.5	40.0	81.0	166	207	289	18/09
59-60	07/3	12.3	13.7	14.7	25.0	57.0	100	176	233	301	11/09
60-61	24/3	11.6	11.6	13.7	25.5	46.7	110	169	204	283	28/09
61-62	27/2	11.8	12.9	13.9	17.6	30.5	79.0	170	217	266	21/09
62-63	22/3	15.0	17.0	19.2	30.5	59.0	132	209	255	308	19/09
63-64	12/3	12.7	13.0	15.0	27.1	42.8	80.0	144	167	214	27/09
64-65	25/3	15.5	17.6	20.1	28.2	43.5	83.0	195	253	316	07/10
65-66	07/3	11.1	12.1	14.2	20.6	48.1	117	193	241	288	13/09
66-67	13/3	10.8	11.3	13.7	24.4	58.0	102	165	187	195	16/09
67-68	18/2	13.4	13.9	15.2	21.6	40.3	130	188	222	300	01/09
68-69	23/2	11.0	11.8	13.7	22.0	43.5	86.0	173	207	282	09/09
69-70	31/3	10.8	12.0	12.9	23.9	49.4	126	184	209	245	24/09
70-71	22/2	11.8	12.1	13.0	17.6	44.1	97.0	156	186	251	23/08
71-72	28/3	11.3	12.1	13.4	17.6	32.4	118	174	206	308	13/10
72-73	13/3	8.15	9.83	10.8	16.5	35.4	59.0	132	150	181	13/09
73-74	08/3	8.15	8.47	9.66	14.7	36.0	60.0	110	121	134	18/09
74-75	08/3	11.3	12.5	14.5	18.4	37.8	86.0	231	244	345	23/09
75-76	08/3	13.9	15.0	16.2	19.2	28.8	91.0	166	204	229	10/10
76-77	24/3	10.2	10.6	13.2	21.1	39.1	137	198	245	332	24/10
MED.		11.4	12.5	14.2	22.9	44.0	100	175	213	282	
ET.		1.69	1.95	2.43	4.61	8.78	24.6	24.2	35.5	50.0	
Q_1		12.7	13.2	16.0	26.0	48.1	126	195	241	308	
Q_3		11.0	11.8	13.7	19.2	39.1	86.0	166	204	245	

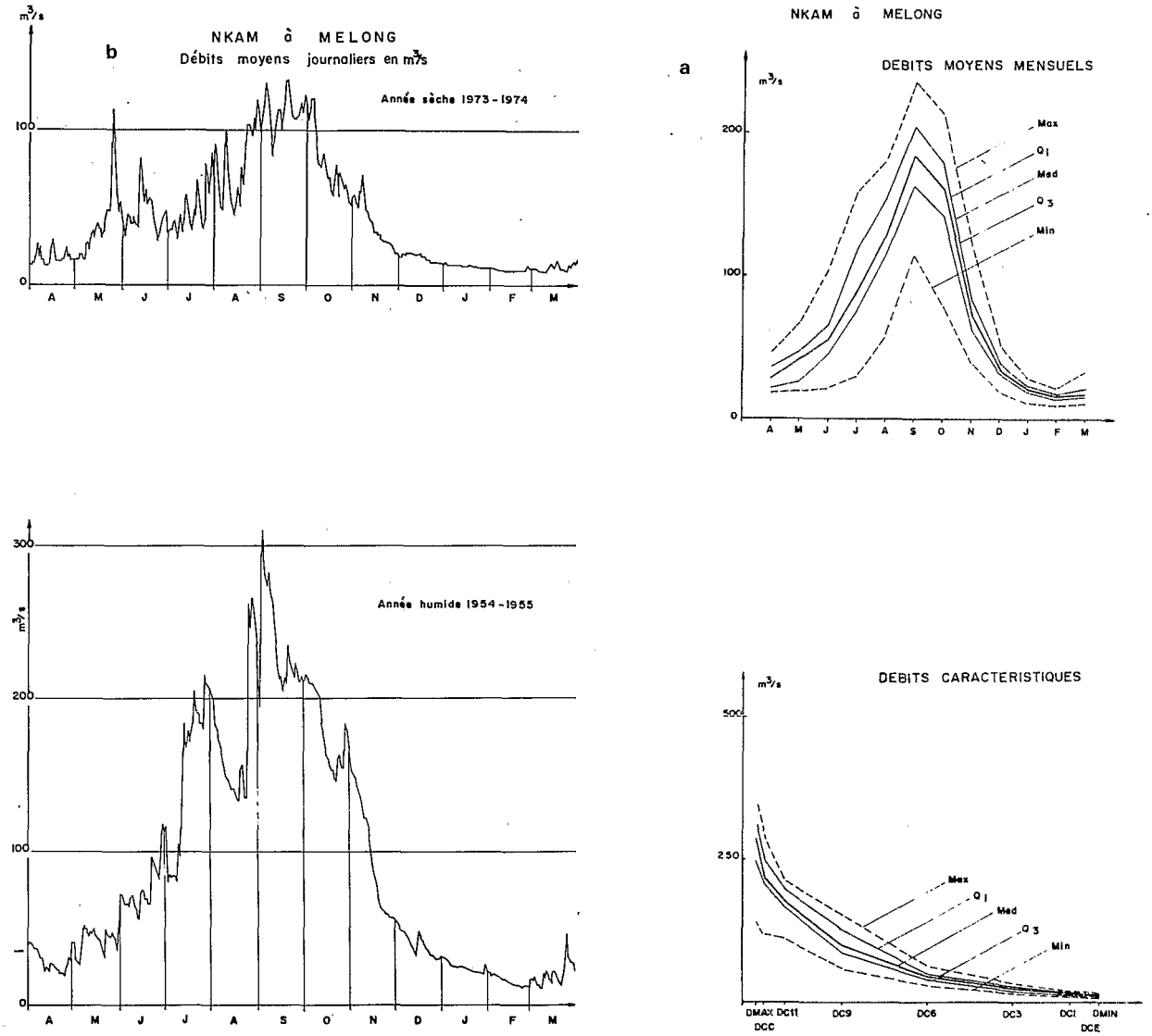


Fig. 4.17. – Débits du Nkam à Melong.

La crue médiane observée est de 282 m³/s, soit 124 l/s.km².
La crue maximale ayant atteint 332 m³/s, soit 146 l/s.km².

Le rapport du débit mensuel le plus faible (février) au module est de 0,22. Celui du débit mensuel le plus fort (septembre) au module est de 2,55.

Corrélations entre les débits caractéristiques d'une même station et de station à station

1. Étiage absolu – Débit caractéristique non dépassé pendant 10 jours.
L'équation de la droite de régression s'écrit :
- sur le Nkam : DCE = 1,11 Dmin — 0,24 r = 0,958 ;
- sur le Wouri : DCE = 0,94 Dmin + 7,55 r = 0,894.

2. Étiage absolu – Débit caractéristique non dépassé pendant 30 jours.
L'équation de la droite de régression s'écrit :
- sur le Nkam : DC_1 = 1,25 Dmin + 0,19 r = 0,869 ;
- sur le Wouri : DC_1 = 1,01 Dmin + 10,7 r = 0,801.

3. Maximum de crue – Débit caractéristique dépassé pendant 10 jours.
L'équation de la droite de régression s'écrit :
- sur le Nkam : DCC = 0,62 Dmax + 47,5 r = 0,877 ;
- sur le Wouri : DCC = 0,67 Dmax + 64,7 r = 0,881.

4. Maximum de cru – Débit caractéristique dépassé pendant 30 jours.
L'équation de la droite de régression s'écrit :
- sur le Nkam : DC_{11} = 0,42 Dmax + 65,4 r = 0,790 ;
- sur le Wouri : DC_{11} = 0,37 Dmax + 248 r = 0,782.

5. Débits caractéristiques du Nkam, débits caractéristiques du Wouri.
L'équation de la droite de régression s'écrit :
- pour les étiages absolus : Dmin = 1,66 Dmin Nkam + 28,8 r = 0,273 ;
- pour les modules : Mod Wouri = 3,1 Mod. Nkam + 90,9 r = 0,692 ;
- pour les crues : Dmax Wouri = 2,94 Dmax Nkam + 658 r = 0,495.

2.1.1.3. Étude des basses-eaux

Le tarissement

Sur le Wouri à Yabassi, le tarissement s'observe en décembre et en janvier et février avec toutefois de fréquentes perturbations dues aux précipitations reçues au cours de ces mois de saison sèche. De ce fait, il est souvent délicat d'interpréter les courbes de variation des débits dans le sens d'une décroissance exponentielle de leurs valeurs.

Pour chaque période d'étiage, dans la mesure où les perturbations signalées ne sont pas trop importantes ou tardives, on observe deux lois de tarissement.

La première s'applique à la période décembre-janvier. Son coefficient de tarissement varie de 0,017 à 0,026 et a pour valeur moyenne 0,021.

La seconde loi met en évidence un tarissement moins rapide avec des valeurs du coefficient de 0,010 à 0,012.

Le tarissement de début de saison sèche est comparable à ce qui a été observé sur les autres cours d'eau de cette étude, ainsi que sur la Sanaga (un peu moins rapide toutefois). Il semble correspondre pour une part importante à la vidange des nappes de la partie cristalline du bassin (Makombe).

Le second tarissement plus lent est probablement dû à l'importance des réserves dans les zones volcaniques de la partie occidentale du bassin.

Sur le Nkam à Melong, la période de tarissement apparaît plus nettement du fait de la position septentrionale du bassin et d'une saison sèche plus prononcée. De ce fait, un second tarissement est observé dans plus de 70 % des cas et l'étiage est constitué dans 40 % des cas par un débit de tarissement pur.

Le premier tarissement a un coefficient variable entre 0,02 et 0,012, valeurs extrêmes observées, mais nettement centré autour de la **valeur moyenne de 0,0165.**

Le second tarissement apparaît lorsque le débit devient inférieur à 18-14 m³/s, 16 m³/s en moyenne, à une date variable suivant l'année.

La valeur du 2e coefficient de tarissement est comprise entre les valeurs 0,006 et 0,012, la **valeur moyenne étant de 0,0092.**

Ces deux lois de tarissement montrent une lente décroissance des débits qu'il faut rattacher :
- d'une part à l'importance des aquifères des massifs volcaniques ;
- d'autre part aux réserves importantes stockées dans la plaine des Mbos.

Il a paru intéressant d'indiquer, figure 4.18, un abaque de prévision des débits de tarissement à partir d'un débit de tarissement connu à une date donnée (obtenu par lecture de l'échelle le 1er décembre par exemple). Cet abaque doit être manipulé avec précautions : il suppose des coefficients de tarissement moyen et un débit moyen de passage au 2e tarissement (1re cause d'erreur) et l'absence de perturbations dans le tarissement (écoulement de précipitations de saison sèche) (2e cause d'erreur).

Les étiages absolus

Leur date d'apparition

L'échantillon des dates d'apparition des étiages absolus se répartit par décades suivant le décompte suivant du tableau 4.40.

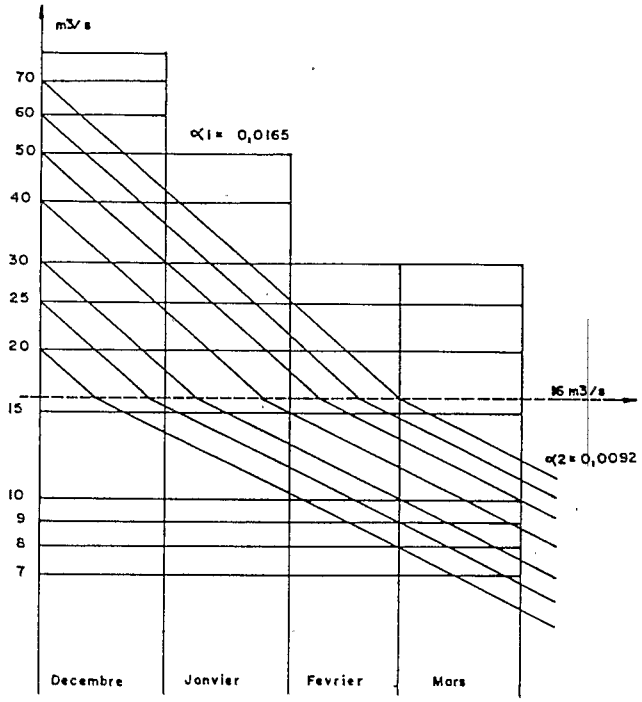


Fig. 4.18. – Abaque de prévision des débits du tarissement moyen à partir du débit de tarissement connu à une date donnée.

Le Nkam à Melong.

Tableau 4.40.

Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Total
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Wouri à Yabassi	0	0	0	1	3	2	8	9	0	2	0	1	26
Nkam à Melong	0	0	0	0	1	4	8	7	6	0	0	0	26

La période d'apparition des étiages est nettement plus large sur le Wouri que sur le Nkam. On note en particulier pour le Wouri 3 étiages absolus survenus en avril, qui portent la date moyenne de l'étiage absolu au 10 mars, comme sur le Nkam. Les écarts-types des échantillons du Wouri et du Nkam sont respectivement de 16 et 11 jours.

Mais on conçoit dans le cas du Wouri une date médiane un peu plus précoce, correspondant à la distribution de 90 % de l'échantillon, qui se situerait vers le 7 mars ; la distribution présente une nette dissymétrie négative, signifiant que pour une même occurence un étiage précoce sera plus éloigné de la date médiane qu'un étiage tardif. Les limites de la période à 55 % d'occurrence (60 % de l'échantillon réduit) se situent le 25 février et le 14 mars.

L'échantillon des dates de l'étiage absolu du Nkam présente une distribution normale. La période à 60 % d'occurrence a pour limites le 1er et le 20 mars, centrée sur le 10 mars.

Leur étude fréquentielle

La distribution des étiages absolus du Wouri s'ajuste à une loi normale dont les caractéristiques sont les suivantes : moyenne = 48,15 m³/s ; écart-type : 10,05 m³/s ; coefficient de variation : 0,209, valeur qui est assez faible.

La prédétermination des étiages de récurrence donnée aboutit aux résultats suivants (tableau 4.41) :

Tableau 4.41.

Etiages du Wouri à Yabassi	Moyenne	Années sèches				
Périodes de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	48.1	39.7	35.3	31.6	27.5	24.8
$l/s.km^2$	5.83	4.81	4.28	3.83	3.33	3.01

L'étiage le plus bas observé est de 22 m³/s. Il correspond à l'année exceptionnelle 73-74.

La distribution des étiages du Nkam à Melong présente des ajustements aux diverses lois retenues assez peu satisfaisants du fait d'une relative dispersion des valeurs et du poids excessif des deux étiages exceptionnels de 1973 et 1974, années de fort déficit hydrologique.

Les ajustements aux distributions de Gauss, Galton et Pearson sont les meilleurs avec un léger avantage à la distribution de Galton, qui rend compte d'une dissymétrie positive plus évidente dans un échantillon ne comportant pas les années 73 et 74. Les caractéristiques de la distribution de Galton sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 52,99 Coef. de variation : 0,141
Paramètre de position : — 41,33 Coef. d'assymétrie : 0,094
Paramètre de forme : 0,031 Coef. d'aplatissement : 0,016
Moyenne : 11,69 Médiane : 11,66 Mode : 11,61

Les résultats de prédétermination des étiages sont indiqués dans le tableau 4.42.

Tableau 4.42.

Etiages du Nkam à Melong	Moyenne	Médiane	Années sèches				
Périodes de retour	–	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	11.69	11.66	10.29	9.58	9.01	8.37	7.95
$l/s.km^2$	5.14	5.13	4.52	4.12	3.96	3.68	3.49

Rappelons les étiages absolus les plus bas de 8,16 m³/s en 1973 et 1974. On notera la faible irrégularité interannuelle des étiages du Nkam imputable aux réserves du bassin et aussi sans doute au rôle régulateur de la plaine des Mbos.

Nous citerons pour mémoire les résultats obtenus sur la Menoua à Dschang (114 km²) sur 14 années d'observations et qui rattachent déjà cette rivière au régime des rivières bamiléké.

La pluviométrie annuelle reçue par le bassin de la Menoua est de 2 000 mm. L'étiage médian de la Menoua est de 374 l/s, soit 3,28 l/s.km² ; l'étiage quinquennal sec est de 262 l/s, soit 2,30 l/s.km² ; l'étiage décennal sec est de 205 l/s, soit 1,8 l/s.km² ; l'étiage vicennal sec est de 160 l/s, soit 1,4 l/s.km².

2.1.1.4. Étude des crues

Date d'apparition du maximum annuel

Les dates d'apparition du maximum annuel se répartissent sur la période d'observation suivant le décompte par décades indiqué dans le tableau 4.43 :

Tableau 4.43.

Mois	Août			Septembre			Octobre			Total
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Wouri à Yabassi		2	4	5	4	4	3	1	3	26
Nkam à Melong			3	4	8	5	3	2	1	26

La date moyenne de l'apparition du maximum annuel se situe :
- le 17 septembre pour le Wouri à Yabassi (écart-type 21 jours) ;
- le 19 septembre pour le Nkam à Melong (écart-type 17 jours).

Pour le Wouri, la distribution des dates de la crue présente une forte dissymétrie positive ; pour une même occurrence, une crue tardive sera plus éloignée de la date médiane qu'une crue précoce. La période d'apparition du maximum à 60 % d'occurrence se situe entre le 30 août et le 6 octobre, la médiane étant le 15 septembre. Pour le Nkam à Melong, la distribution des dates de la crue est normale. La période d'apparition du maximum, à 60 % d'occurrence, est comprise entre le 5 septembre et le 3 octobre.

Étude fréquentielle

La forme de la distribution des crues du Wouri est hypogaussique (dissymétrie négative). Le meilleur ajustement est obtenu suivant une loi de Goodrich dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 3 806 Coef. de variation : 0,195
Paramètre de position : — 2 229 Coef. d'asymétrie : —0,807
Paramètre de forme : 0 063 Coef. d'aplatissement : 1 049
Moyenne : 1 453 m³/s Médiane : 1 490 Mode : 1 581.

Les résultats des calculs de prédétermination pour des récurrences données sont indiqués dans le tableau 4.44.

Tableau 4.44.

Maximums crues du Wouri à Yabassi	Moyenne	Médiane	Années humides				
Périodes de retour	–	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	1453	1490	1692	1780	1847	1915	1958
$l/s.km^2$	176	181	205	216	224	232	237

Le maximum observé sur la période de 26 ans a atteint 1 945 m³/s. On notera les fortes valeurs du débit spécifique dues aux précipitations abondantes et à la pente. Une valeur de 216 l/s.km² pour un bassin de 8 250 km² en crue décennale doit être considérée comme très forte en Afrique de l'Ouest.

Dans le cas du Nkam à Melong, on remarque également une tendance hyponormale ; cependant l'ajustement aux diverses distributions nous a conduit à retenir pour l'échantillon de crues du Nkam une distribution normale, dont les caractéristiques sont les suivantes : Moyenne : 269,7 m³/s ; Écart-type : 49,1 m³/s ; Coefficient de variation : 0,182.

Les calculs de prédétermination des crues aboutissent aux résultats suivants (tableau 4.45) :

Tableau 4.45.

Maximums crues du Nkam à Melong	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	270	311	333	350	370	384
$l/s.km^2$	119	137	146	154	163	169

Le maximum observé sur 26 ans est de 345 m³/s (1).

On remarque que les débits spécifiques de crue du Nkam à Melong sont nettement inférieurs à ceux du Wouri à Yabassi. Ceci s'explique par le laminage des crues dans les zones d'inondation de la plaine des Mbos qui explique également la tendance hyponormale de la distribution. Mais on sait aussi – nous avons été amené à le montrer pour la Mifi et la Metchié en pays bamiléké (Olivry 1974 d) – que les capacités de laminage des zones d'inondation sont limitées et qu'à partir d'un certain seuil de remplissage, il n'y a plus amortissement de la crue. Ceci conduit à observer des crues exceptionnelles d'occurrence moins rare que celle qui découle de l'analyse statistique d'un échantillon relativement court et tronqué pour les fortes valeurs. Pour ce type de bassin, il faut donc être extrêmement prudent dans la détermination des débits de faible fréquence.

L'hyponormalité de l'échantillon des crues du Wouri trouve son explication par la non-simultanéité des crues provenant de la Makombe et du Nkam.

(1) Fin août 1978, une crue exceptionnelle a atteint 430 m³/s, soit 190 l/s.km².

Tableau 4.46.

Modules du Wouri à Yabassi	Années sèches				Moyenne	Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	-	2	5	10	20	100
m^3/s	168	220	244	272	311	317	354	370	382	403
$l/s.km^2$	20.4	26.7	29.6	33.0	37.7	38.4	42.9	44.9	46.3	48.9
He mm	643	842	933	1041	1189	1211	1353	1416	1460	1542

Cette explication a aussi été retenue pour la Sanaga à Edéa (Mbam et Sanaga) et le Nyong à Dehane (apports amont et aval).

2.1.1.5. Étude des modules et des termes du bilan

Étude fréquentielle des modules

L'échantillon de modules du Wouri à Yabassi a été ajusté suivant une distribution de Goodrich. La distribution est hyponormale. Les caractéristiques de l'ajustement sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 507,25 Coef. de variation : 0,162
Paramètre de forme : —170,085 Coef. d'asymétrie : —0,701
Paramètre de position : — 174,59 Coef. d'aplatissement : 0,739
Moyenne : 311,0 Médiane : 317,0 Mode : 328,8.

Le tableau 4.46 résume les résultats des calculs de prédétermination :

Rappelons que les modules extrêmes observés sont 177 et 406 m³/s. Le rapport K3 des modules décennaux est de 1,52.

L'échantillon de modules du Nkam à Melong traduit une légère hyponormalité qui a conduit à retenir un ajustement suivant une loi de Goodrich, dont les caractéristiques sont données ci-après :

Paramètre d'échelle : 57,68 Coef. de variation : 0,160
Paramètre de position : 17,90 Coef. d'asymétrie : —0,305
Paramètre de forme : 0,186 Coef. d'aplatissement : 0,060
Moyenne : 71,1 Médiane : 71,8 Mode : 73,4.

Les résultats des calculs de prédétermination sont indiqués dans le tableau 4.47.

Les modules extrêmes observés sont de 43,4 et 92,7 m³/s. Le rapport K3 vaut 1,58.

Les modules spécifiques du Nkam à Melong sont plus faibles que ceux du Wouri à Yabassi. Les figures 4.19 a et b résument les études fréquentielles des débits du Wouri et du Nkam.

Bilan hydrologique

La détermination du bilan hydrologique moyen s'appuie sur une estimation précise des précipitations reçues sur le bassin. Nous avons souligné le caractère imprécis des déterminations effectuées sur le bassin du Wouri (faible densité des postes, effets des reliefs) et de ce fait l'équation du bilan doit être considérée avec réserves :

Tableau 4.47.

Modules du Nkam à Melong	Années sèches				Moyenne	Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	-	2	5	10	20	100
m^3/s	42.5	51.1	55.9	61.6	71.1	71.8	80.9	85.2	88.6	94.5
$l/s.km^2$	18.7	22.5	24.6	27.1	31.3	31.6	35.6	37.4	39.0	41.5
He mm	590	710	776	855	987	997	1123	1179	1230	1309

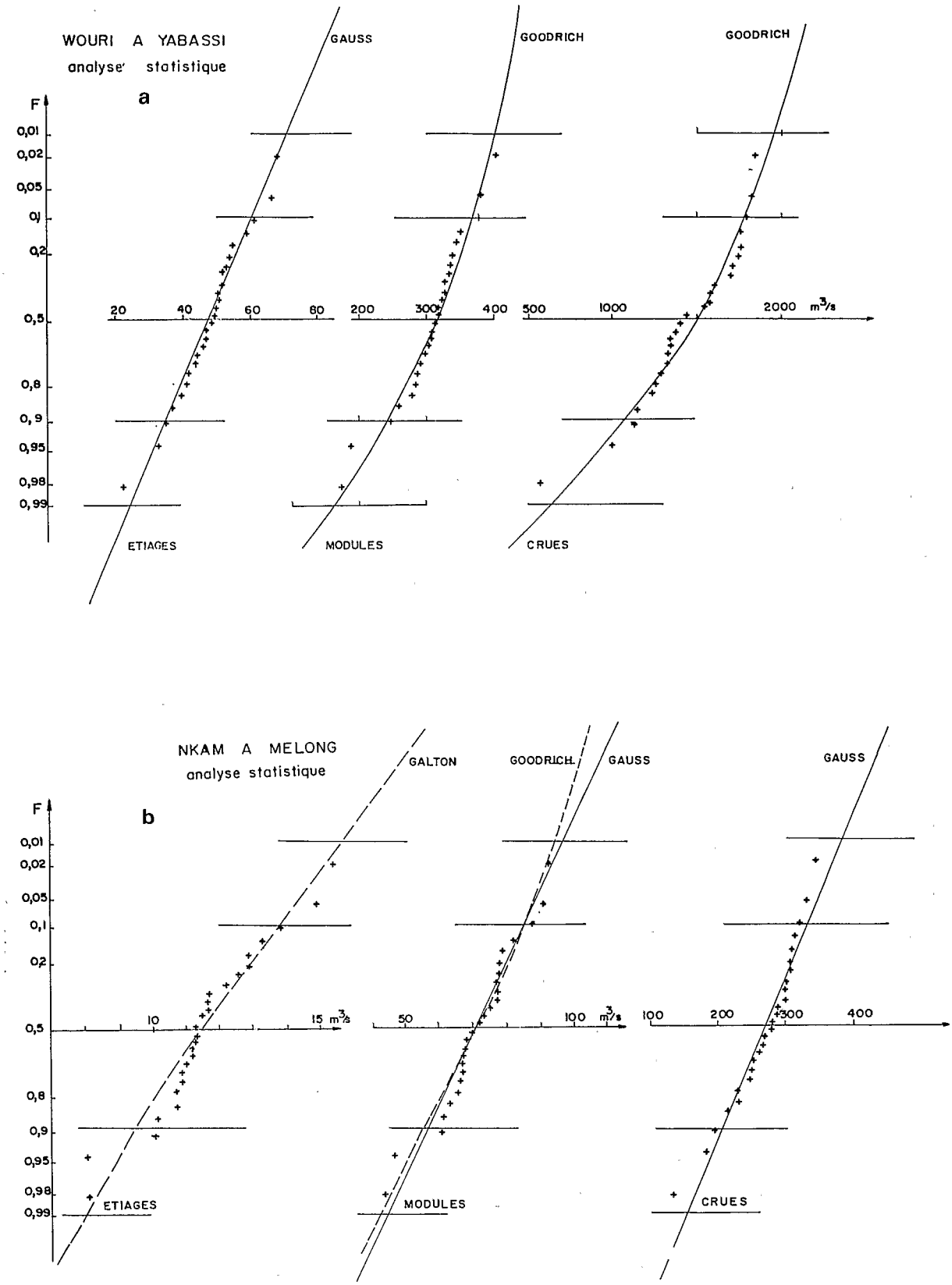


Fig. 4.19. – Étude fréquentielle des débits du Wouri et du Nkam.

- Sur le Wouri à Yabassi, P = He + De s'écrit 2 200 mm = 1 200 mm + 1 000 mm, d'où De = Er = 1 000 mm.
- Pour le Nkam à Melong, on a 2 100 = 990 + 1 110, d'où De = Er = 1 110 mm.

L'ETP calculée par la formule de Turc aboutit pour l'ensemble de la région à des valeurs de l'ordre de 1 250 mm, ce qui pourrait indiquer qu'elle n'est pas satisfaite sur le bassin du Wouri ; mais il est plus vraisemblable de penser que l'ETP Turc est nettement surestimée sur bassin de montagne. Nous reviendrons plus loin sur ce problème. Pour le bassin du Nkam, l'ETP a diminué avec l'altitude élevée d'une partie du haut-bassin et la différence entre la valeur de Turc corrigée et le déficit d'écoulement moyen observé montre un déficit d'évaporation qui serait finalement assez réduit. On notera d'ailleurs une assez proche parenté entre les valeurs du déficit d'écoulement du Nkam et celles déterminées en pays bamiléké.

Les coefficients d'écoulement annuel sont respectivement :
- de 55 % pour le Wouri à Yabassi ;
- de 47 % pour le Nkam à Melong.

Le bilan mois par mois a été estimé pour le Wouri à Yabassi à partir de la répartition mensuelle des précipitations des principaux postes du bassin, de l'évapotranspiration potentielle calculée pour chaque mois par la formule de Turc, et une estimation de Er pour les mois de saison sèche. Le bilan permet une approche des phases de stockage et de vidange des réserves du bassin (voir Nyong).

Le tableau 4.48 ci-après résume ces résultats.

2.1.2. Le bassin du Mungo

2.1.2.1. Généralités

A l'ouest du Wouri, le Mungo prend sa source dans les Monts Bakossi à 1 755 m d'altitude, et rejoint la mangrove du Wouri, après un parcours de 200 km. Il draine un bassin de 4 200 km². Le bassin supérieur, contrôlé à Mundame, près de Kumba, a une superficie de 2 420 km². Le Haut-Mungo reçoit en rive droite de courts affluents issus des versants est des Monts Rumpi. En rive gauche, il reçoit de petits torrents, nés dans les Monts Bakossi et, surtout, la Jide qui draine les versants ouest des Monts Koupé (2 050 m) et le sud-ouest du massif du Manengouba (figure 4.21).

En aval de Mundame, le Mungo traverse une région de basses collines avant de recevoir les torrents issus des versants ouest et nord du Mont Cameroun. Il se jette dans la mangrove par un delta aux chenaux étroits qui limitent l'amplitude des marées dans le bief maritime qui remonte jusque dans la région de Mondoni.

Le bassin est entièrement recouvert par la forêt qui a, en partie, laissé la place, dans la région du Kumba et à l'aval du bassin, à de grandes plantations (hévéas, palmistes, bananeraies de la CDC). Les terrains sont en majorité volcaniques, avec cependant de larges affleurements du socle et l'apparition des séries sédimentaires sur le bassin aval.

Les caractéristiques morphologiques du bassin du Mungo à Mundame sont les suivantes :

S (km²)	Périmètre (km)	Kc	Rectangle équivalent	
			L (km)	l (km)
2 420	200	1,14	59	41

L'hypsométrie du bassin donne une altitude moyenne de 585 m. L'indice de pente global est de $I_G = 21,7$ % ; l'indice de pente de Roche est $Ip = 0,159$.

Le profil en long du Mungo (60 % médians) a une pente moyenne de 5,15 m/km. Son affluent principal, la Jide, a une pente beaucoup plus forte encore : 25 m/km (figure 4.21).

2.1.2.2. Données de base

La hauteur de précipitations interannuelles reçue par le bassin du Mungo à Mundame a été estimée à partir du dessin des courbes isohyètes de la région. Elle reste relativement imprécise du fait de la faible densité des postes pluviométriques.

Elle serait de 3 200 mm. Le bassin aval est beaucoup moins arrosé (en partie sous le vent du Mont Cameroun) et la hauteur moyenne de précipitation annuelle reçue par l'ensemble du bassin est de 2 885 mm, soit 2 900 mm environ.

Les données hydrologiques ont été résumées pour l'essentiel dans les tableaux 4.49 et 4.50. Les figures 4.22a et b en indiquent les variations pour quelques fréquences observées.

Le module moyen est de 164 m³/s, soit 67,8 l/s.km².
L'étiage médian observé est de 27,5 m³/s, soit 11,4 l/s.km².
L'étiage le plus faible observé étant de 16,5 m³/s, soit 6,82 l/s.km².

Le maximum de crue médian est de 636 m³/s, soit 263 l/s.km².

Le maximum observé ayant atteint 950 m³/s, soit 393 l/s.km².

Les variations saisonnières traduites par les débits moyens mensuels s'inscrivent dans les rapports du débit mensuel le plus faible (janvier) au module de 0,29 et du débit mensuel le plus fort (septembre) au module de 2,13.

Tableau 4.48.

Mois	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	J	F	M	Année
P	195	208	230	265	310	368	308	105	17	19	40	135	2 200
He	40	45	75	133	197	258	220	107	52	30	19	24	1 200
De	155	163	155	132	113	110	88	- 2	-35	-11	+21	111	1 000
Er	125	116	90	68	67	81	102	70	60	50	50	121	1 000
R1	30	47	65	64	46	29	-	-	-	-	-	-	281
R2	-	-	-	-	-	-	14	72	95	61	29	10	281

R1 correspond au stockage, R2 à la vidange. La figure 4.20 propose une illustration de ces variations.

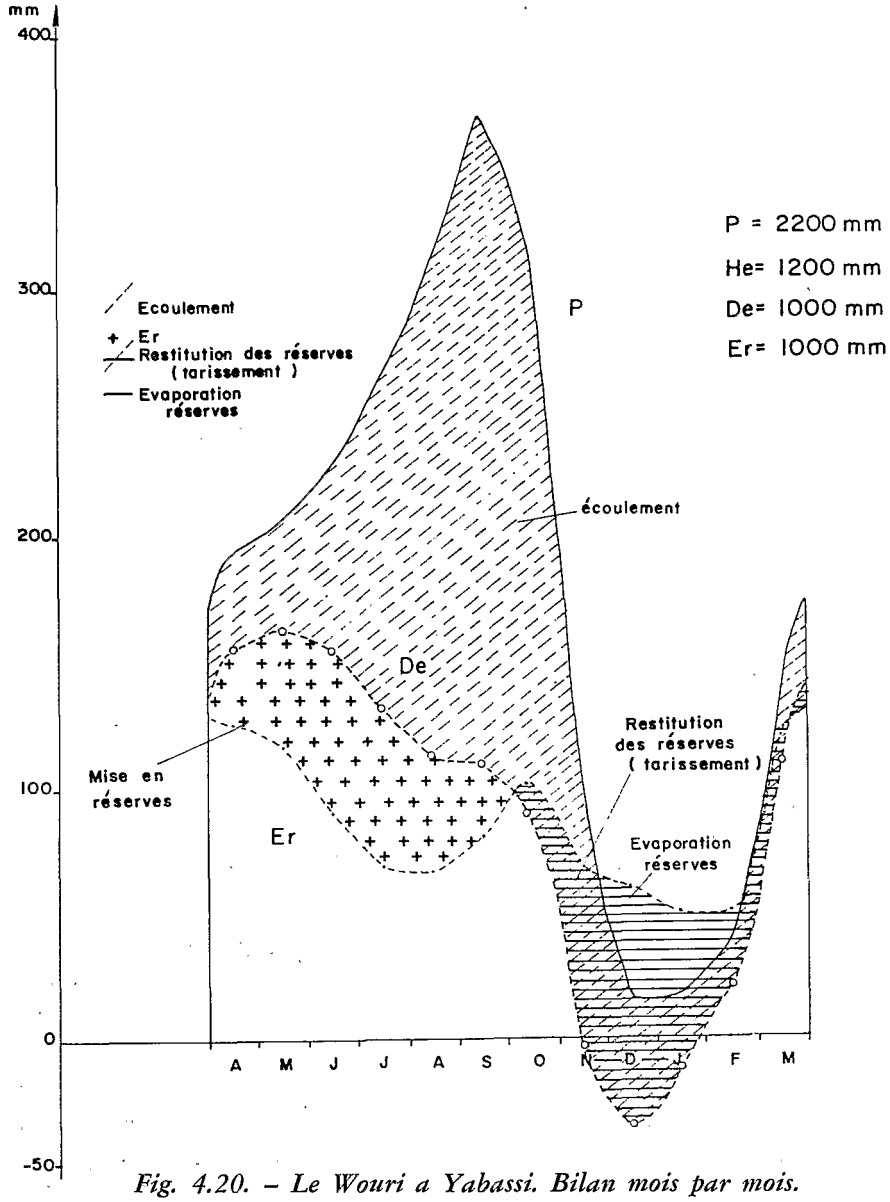


Fig. 4.20. – Le Wouri a Yabassi. Bilan mois par mois.

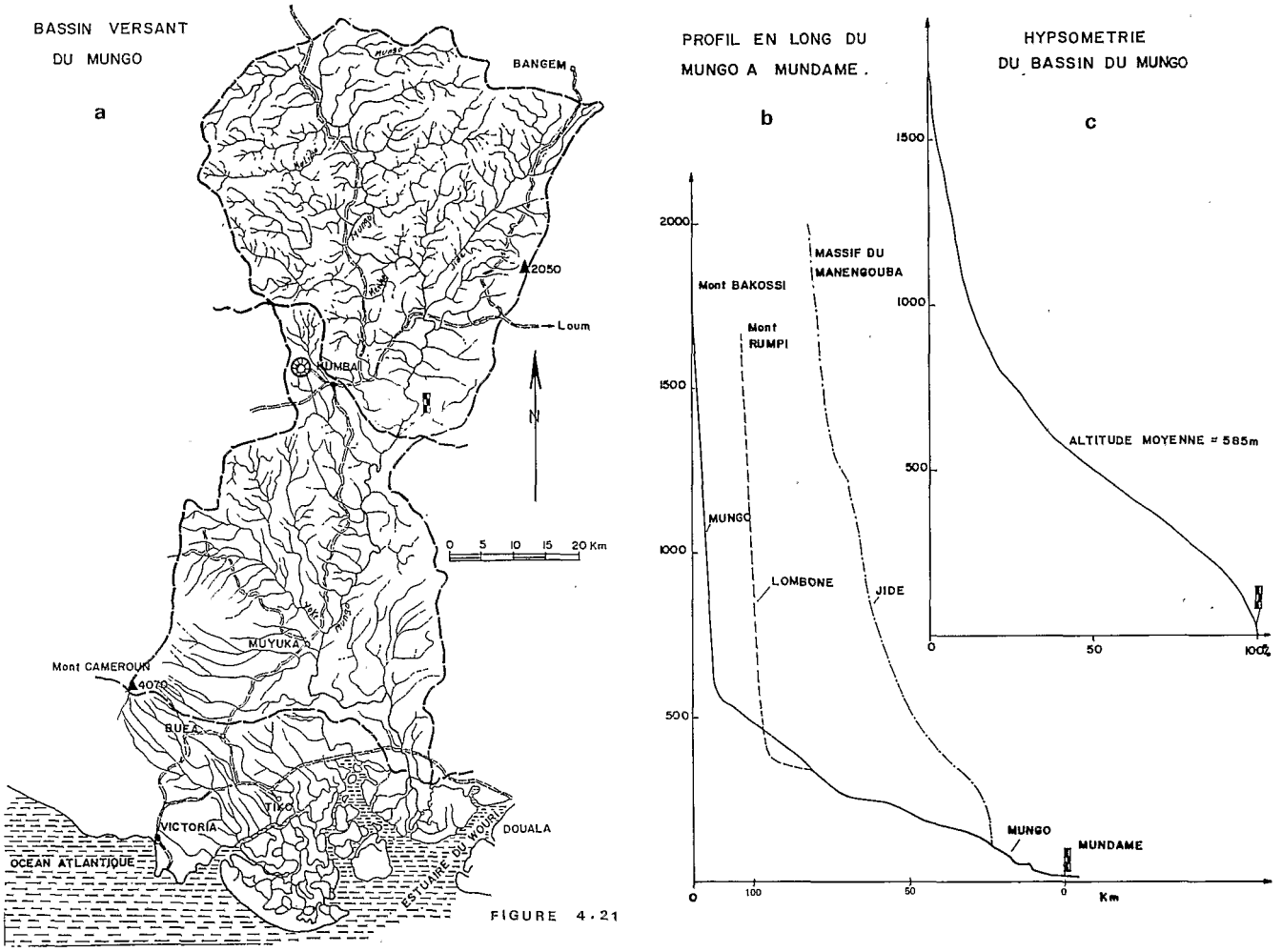


Figure 4.21.

2.1.2.3. Les basses-eaux

Le tarissement

Le tarissement est régulièrement observé sur le Mungo en décembre, janvier. Il commence à être perturbé par l'écoulement des premières pluies à partir de février, rarement en janvier. Le coefficient de tarissement varie relativement peu d'une année à ,l'autre ; sa valeur moyenne est de 0,014. L'étiage absolu est rarement un débit de tarissement pur.

Les étiages absolus

Ceux-ci apparaissent généralement en février et en mars. Le décompte par décades des dates d'apparition est indiqué ci-dessous :

Mois	Janvier	Février	Mars	Total
Décade	1 2 3	1 2 3	1 2 3	
n	0 1	5 7 1	6 5	25

La distribution est assez régulière et semble indiquer l'occurence des 2 périodes correspondant aux 2 premières décades de février et mars, avec plus forte probabilité pour la 2^{e} décade de février et la 1re décade de mars. En admettant une distribution de Gauss, la date médiane serait le 21 février (écart-type : 13 jours) ; la période à 60 % d'occurence se situerait alors entre le 10 février et le 4 mars, ce qui ne correspond pas à l'échantillon recueilli.

Avec un ajustement graphique approché d'une portion de courbe normale pour les étiages précoces,

Tableau 4.49. – Mungo à Mundame.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1952-53	-	80.1	170	245	304	330	241	-	-	-	34.9	44.2	-
53-54	67.7	235	232	283	296	369	274	138	54.5	30.2	75.3	79.8	178
54-55	83.1	127	244	255	305	440	318	169	78.5	71.0	57.3	108	188
55-56	141	217	248	355	458	398	303	161	65.3	53.8	50.3	52.6	209
56-57	99.9	159	207	288	355	458	457	-	80.5	56.5	90.2	64.4	-
57-58	98.9	125	265	393	307	287	230	194	175	46.5	40.6	59.0	185
58-59	75.2	80.1	189	122	279	395	232	173	74.3	-	-	45.4	-
59-60	113	92.1	236	326	301	396	328	203	75.0	51.1	36.5	52.6	184
60-61	57.0	143	172	224	389	233	283	261	84.9	60.9	59.1	58.2	169
61-62	62.1	59.0	120	252	170	403	337	212	63.0	59.3	57.6	60.0	156
62-63	111	104	193	330	291	407	305	199	104	52.6	-	42.9	-
63-64	104	95.6	104	192	245	262	219	146	63.2	50.5	36.1	86.4	134
64-65	-	163	214	277	200	432	271	159	99.6	72.1	-	73.8	-
65-66	107	113	172	337	471	322	284	129	60.8	37.3	31.7	46.0	176
66-67	139	162	171	212	325	368	250	200	86.3	39.7	29.1	34.2	168
67-68	55.2	74.4	172	422	494	345	324	144	91.5	53.5	33.8	71.7	190
68-69	71.9	138	319	324	377	347	313	-	-	44.3	32.6	69.5	-
69-70	106	119	201	358	384	368	315	164	75.6	42.9	32.1	30.1	183
70-71	85.0	107	136	257	290	272	264	154	57.8	37.2	31.4	39.5	144
71-72	60.1	75.0	85.0	259	297	348	280	121	90.7	40.0	31.0	50.4	145
72-73	65.4	86.8	111	200	367	356	287	141	65.7	41.3	33.0	36.4	149
73-74	56.5	88.6	82.7	115	209	258	232	119	53.9	31.3	22.4	40.8	110
74-75	87.8	104	143	172	302	394	304	142	60.2	36.7	35.9	50.6	153
75-76	69.1	76.5	105	165	254	248	275	152	80.6	43.4	63.3	62.8	133
76-77	80.0	69.7	151	259	346	317	295	233	76.0	51.7	33.3	27.8	162
MED.	83.1	104	172	259	304	356	284	160	75.6	46.5	36.1	52.6	169
ET.	25.2	44.7	60.0	79.5	79.5	62.8	70.0	37.0	25.2	11.2	16.8	18.8	24.1
MOYE.	86.8	116	178	265	321	350	281	169	79.0	48.0	43.3	55.5	164
Q1	106	140	223	328	372	397	314	199	86.3	53.8	57.6	70.6	184
Q3	65.4	80.1	128	206	284	302	257	142	63.0	39.7	32.1	41.8	145

Tableau 4.50. – Mungo à Mundame.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1952-53	10/2	27.8	29.7	34.4	-	-	248	336	404	507	12/06
53-54	10/2	28.8	30.6	34.9	50.4	180	251	380	453	513	28/08
54-55	19/2	36.5	42.1	49.2	75.5	149	229	407	509	616	16/09
55-56	06/3	34.9	38.2	43.2	58.7	201	326	458	517	535	30/07
56-57	21/1	36.6	41.5	50.4	70.5	-	302	490	593	636	04/10
57-58	19/2	33.3	37.5	41.5	67.7	155	259	384	457	525	25/07
58-59	08/3	28.3	31.1	-	60.0	89.0	190	347	513	588	13/08
59-60	13/2	26.9	27.8	34.9	60.0	137	291	398	523	652	13/08
60-61	15/3	57.4	57.4	58.7	62.8	128	238	357	451	797	18/08
61-62	13/2	57.4	57.4	58.0	59.3	64.2	248	398	465	772	16/09
62-63	13/3	28.0	33.5	-	61.4	164	277	387	489	678	15/07
63-64	07/2	23.0	23.0	33.5	60.0	118	173	267	327	613	15/09
64-65	10/2	34.0	42.0	47.4	-	173	*220*	377	465	525	08/09
65-66	10/3	26.0	26.5	32.9	45.3	108	281	367	612	950	05/08
66-67	13/3	22.0	24.5	29.6	55.1	144	227	367	451	639	07/09
67-68	17/2	27.5	30.2	32.9	52.3	117	316	475	635	727	11/08
68-69	15/2	27.5	30.2	36.2	*64.8*	-	301	398	467	586	10/08
69-70	05/3	26.0	27.5	30.7	51.6	131	294	402	497	716	19/07
70-71	13/2	24.0	26.5	30.7	47.4	96.8	232	317	383	467	30/06
71-72	22/2	24.5	27.5	31.8	48.8	88.8	232	329	436	700	14/08
72-73	13/3	22.0	25.5	30.2	49.5	85.6	239	390	459	636	23/08
73-74	08/3	16.5	19.5	24.0	42.7	73.6	167	253	287	523	04/09
74-75	07/3	24.2	29.0	34.6	52.5	111	190	381	481	647	26/08
75-76	01/2	32.5	38.8	45.4	58.8	94.6	185	274	357	518	06/08
76-77	17/3	20.6	22.4	29.7	53.2	102	260	355	457	645	05/09
MED.		27.5	30.2	34.6	58.7	117	248	380	465	636	
ET.		9.70	9.69	9.42	8.21	36.5	44.6	57.4	79.9	110	
Q1		33.6	38.5	45.4	61.4	149	286	398	511	589	
Q3		24.1	26.5	30.7	50.4	94.6	223	341	443	525	

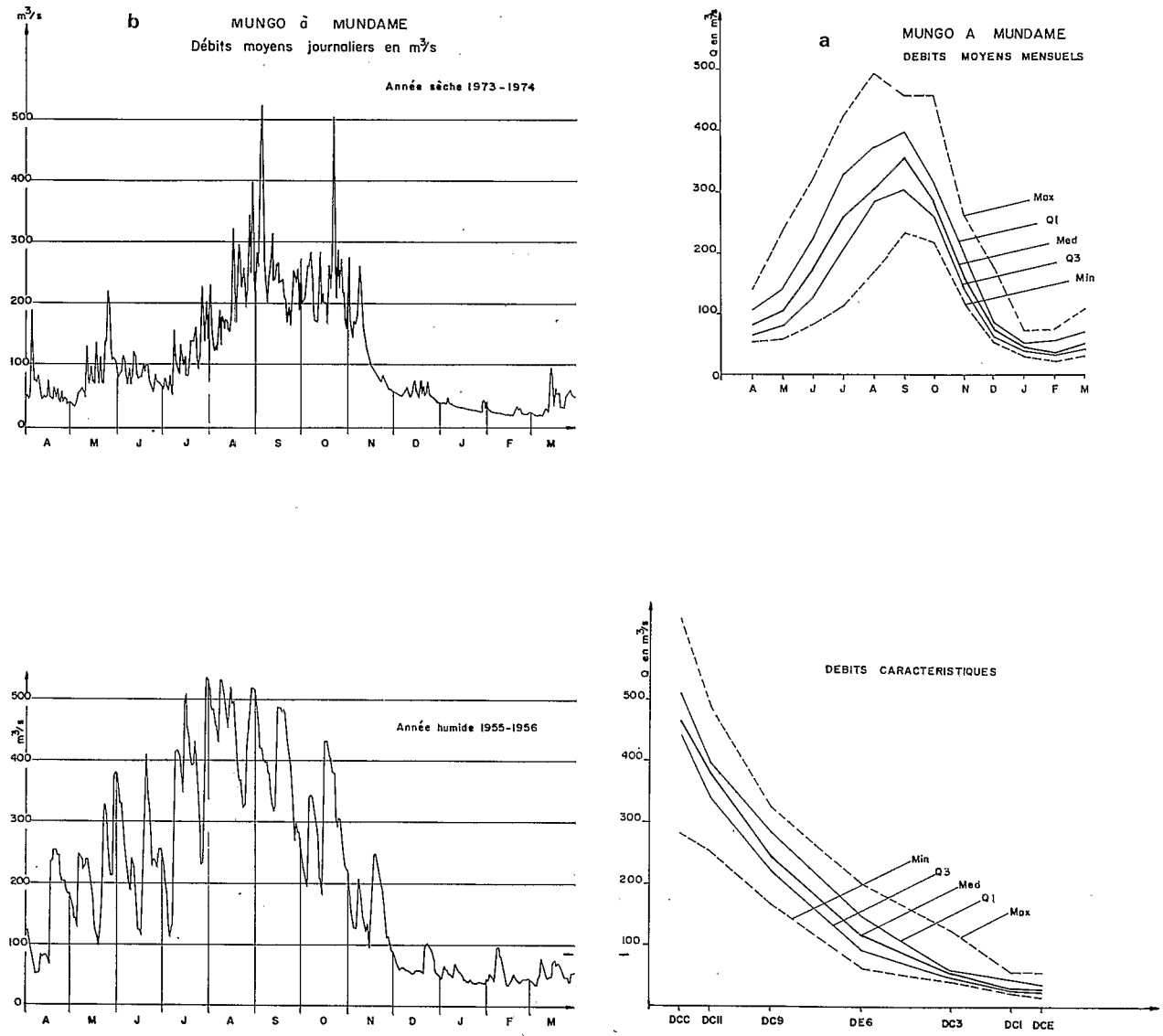

b
MUNGO à MUNDAME
Débits moyens journaliers en m³/s
Année sèche 1973-1974
m³/s
500
400
300
200
100
0
A M J J A S O N D J F M
a
MUNGO A MUNDAME
DEBITS MOYENS MENSUELS
Q en m³/s
Max
Q1
Med
Q3
Min
Année humide 1955-1956
DEBITS CARACTERISTIQUES
DCC DCII DC9 DE6 DC3 DCI DCE

Fig. 4.22.

et hyponormale pour les étiages tardifs, la période d'occurence à 60 % se situerait entre le 10 février et le 10 mars (72 % de l'échantillon).

L'étude fréquentielle des étiages absolus aboutit à l'ajustement à une distribution hypergaussique suivant une loi de Galton. Le poids des deux étiages les plus forts entraîne une forte dissymétrie positive.

Les caractéristiques de la distribution de Galton sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 16,80 Coef. de variation : 0,298
Paramètre de position : 11,17 Coef. d'asymétrie : 1,540
Paramètre de forme : 0,453 Coef. d'aplatissement : 4,491
Moyenne : 29,78 Médiane : 27,97 Mode : 24,85

Les résultats des calculs de prédétermination pour des périodes de retour sont indiqués dans le tableau 4.51.

Tableau 4.51.

Etiages du Mungo à Mundame	Moyenne	Médiane	Années sèches			
Périodes de retour	-	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
m^3/s	29.8	28.0	22.6	20.6	19.1	17.8
$l/s.km^2$	12.3	11.6	9.34	8.51	7.89	7.36

L'étiage le plus faible observé est de 16,5 m^3/s, il correspond au déficit hydrométrique exceptionnel de l'année 73-74.

L'étude de corrélation entre les débits caractéristiques d'étiage montre des relations serrées.

L'équation des droites de régression s'écrit :

- pour le débit d'étiage non dépassé pendant 10 jours :

$$DCE = 0{,}98\ Dmin + 3{,}65 \quad r = 0{,}977\ ;$$

- pour le débit d'étiage non dépassé pendant 30 jours :

$$DC_1 = 0{,}88\ Dmin + 11{,}7 \quad r = 0{,}943.$$

2.1.2.4. Les crues

L'examen des dates d'apparition du maximum annuel montre une assez grande dispersion de l'échantillon, de juin à octobre. Les hydrogrammes annuels présentés (fig. 4.22) montrent que l'on a une succession de crues résultant d'épisodes pluvieux relativement courts. Le bassin, de petite taille, réagit immédiatement et pratiquement indépendamment des crues antérieures.

Le décompte par décades des dates d'apparition du maximum annuel est indiqué ci-après :

Tableau 4.52.

Mois	Juin			Juillet			Août			Septembre			Octobre			Total
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
n		1	1	0	2	2	3	5	3	4	3	0	1			25

La distribution de l'échantillon suit une loi de Gauss. La date moyenne se situe le 17 août et l'écart-type est de 27,5 jours. La période d'occurence à 60 % est comprise entre le 25 juillet et le 9 septembre.

L'étude fréquentielle des débits maximums annuels a été faite en comparant les ajustements aux différentes distributions. La distribution est hypergaussique, et un ajustement suivant une loi de Gumbel a été retenu. Les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 84,07 Coef. de variation : 0,172
Paramètre de position : 579,35 Coef. d'asymétrie : 1,139
Coef. d'aplatissement : 2,400
Moyenne : 627,9 Médiane : 610,2 Mode : 579,4.

Les résultats des calculs de prédétermination sont indiqués dans le tableau 4.53.

Tableau 4.53.

Maximums crues du Mungo à Mundame	Médiane	Moyenne	Années humides				
Périodes de retour	2 ans	-	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
m^3/s	610	628	705	769	829	907	966
$l/s.km^2$	252	260	291	318	343	375	400

La crue observée la plus forte a atteint, rappelons-le, 950 m^3/s.

L'étude de corrélations entre débits caractéristiques de crue montre des relations très lâches qui s'expliquent par la succession aléatoire de divers événements de crues pratiquement indépendants les uns des autres. Aussi, les équations des droites, indiquées ci-après, avec leurs coefficients de corrélation très faibles, ne doivent pas conduire à une quelconque exploitation.

Pour le débit dépassé pendant 10 jours :

$$DCC = 0{,}39\ Dmax + 220 \quad r = 0{,}541\ ;$$

et pour le débit dépassé pendant 30 jours :

$$DC_{11} = 0{,}13\ Dmax + 288 \quad r = 0{,}254.$$

2.1.2.5. Modules et termes du bilan

L'étude fréquentielle des modules porte sur 25 années. La distribution est légèrement hyponormale et un ajustement suivant une loi de Goodrich a été préféré à la distribution de Gauss.

Les caractéristiques de la distribution de Goodrich sont les suivantes :

Tableau 4.54. – Modules du Mungo à Mundame.

	Années sèches				Moyenne	Médiane	Années humides			
Périodes de retour (ans)	100	20	10	5	–	2	5	10	20	100
m^3/s	103	122	133	145	166.8	167.2	185	194	201	212
$l/s.km^2$	42.6	50.4	55.0	59.9	68.9	69.1	76.5	80.2	83.1	87.6
He mm	1343	1589	1374	1889	2170	2180	2412	2529	2620	2763

Paramètre d'échelle : 132,44 Coef. de variation : 0,145
Paramètre de position : 41,63 Coef. d'asymétrie : —0,373
Paramètre de forme : 0,167 Coef. d'aplatissement : 0,035
Moyenne : 166,8 Médiane : 167,2 Mode : 170,1

Les calculs de prédétermination aboutissent aux résultats suivants (tableau 4.54) :

Les modules extrêmes observés sont de 100 m^3/s en 1973-74 et 209 m^3/s en 55-56. Le rapport K3 des modules décennaux est de 1,46.

L'équation du bilan hydrologique moyen s'écrit :

3 200 = 2 170 + 1 030 De = Er = 1 030 mm.

Le coefficient d'écoulement interannuel est de 68 %.

La figure 4.23 résume l'étude fréquentielle des débits du Mungo.

2.1.3. La Dibamba

Le bassin de la Dibamba est situé au sud du bassin du Wouri. Ce petit fleuve draine une région de collines à l'ouest de la Sanaga inférieure et de Ngambe, au sud de Yingui. Avec ses deux affluents

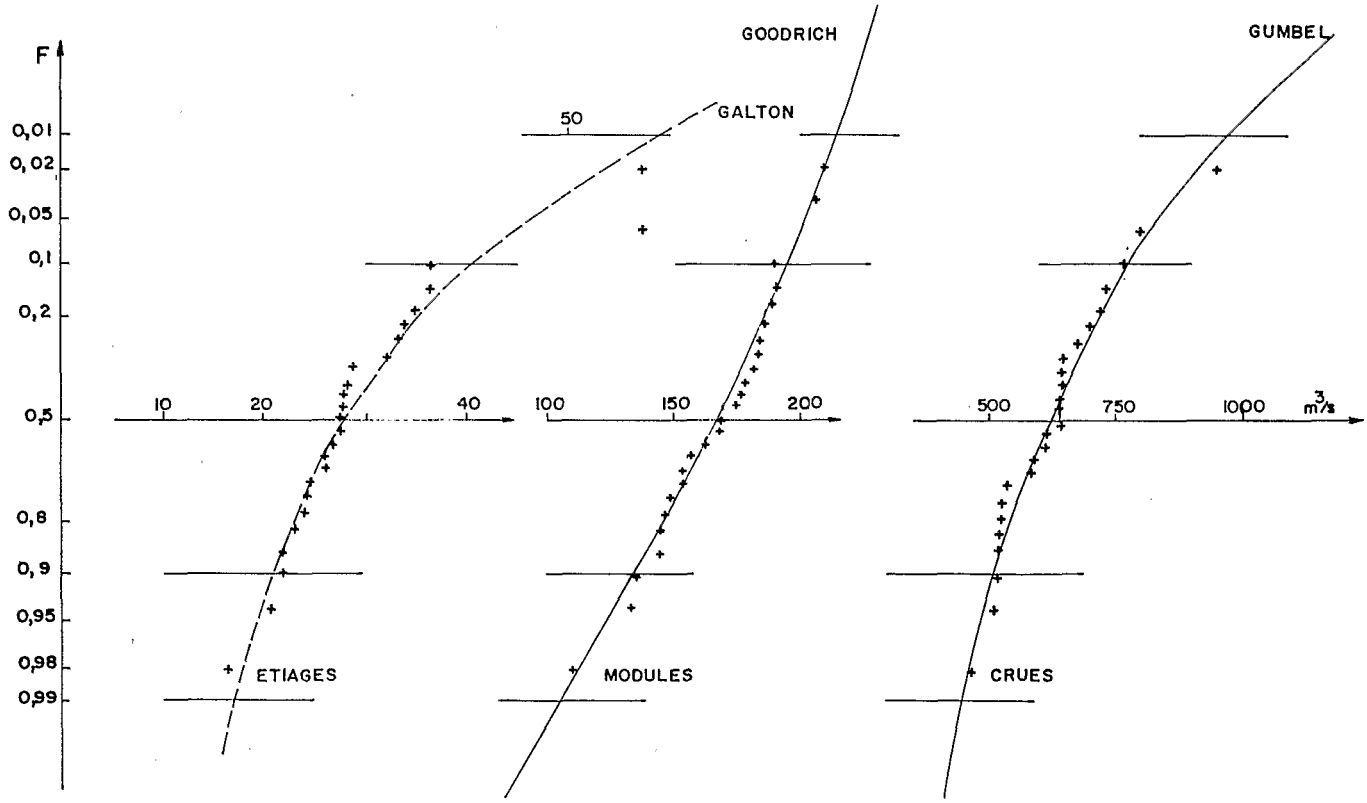


Fig. 4.23. – Étude fréquentielle des débits du Mungo à Mundame.

principaux, l'Ebo et l'Ekem, la Dibamba draine un bassin versant de 2 400 km². La Dibamba est soumise à l'influence des marées jusqu'aux premiers rapides situés en amont de Bonepoupa : le bief ainsi influencé a une longueur de 68 km. Étudiée ponctuellement en 1974, dans le cadre de l'alimentation en eau de Douala, à Japoma et Bonepoupa (Olivry, 1974a), la Dibamba n'est connue qu'en basses-eaux, aucune station accessible n'ayant pu être implantée en amont du bief maritime. La hauteur de précipitations annuelle moyenne reçue par le bassin est de 2 660 mm. L'étiage moyen a été estimé à 10 m³/s, soit 4,2 l/s.km². La lame écoulée serait de l'ordre de 1 600 mm en année moyenne, ce qui donne un module de 125 m³/s, soit 53 l/s.km². Le coefficient d'écoulement serait de 60 %. Une estimation des maximums de crue est plus délicate. Il semble toutefois que la crue moyenne atteigne un débit de 400 à 420 m³/s.

L'étude des marées dans le bief maritime a montré le transfert de volumes importants au flot comme au jusant (10 000 000 m³) pour une marée moyenne de saison sèche, à Japoma, 35 km en amont de l'estuaire du Wouri.

2.1.4. Estimation des apports reçus par l'estuaire et la Mangrove du Wouri

A partir des valeurs de l'évaporation réelle déterminées sur le Wouri et le Mungo, nous retiendrons la valeur de 1 000 mm comme représentative de Er sur l'ensemble des tributaires de l'estuaire du Wouri.

On en déduit la lame interannuelle écoulée sur les différents bassins dont les superficies ont été calculées à l'arrivée du cours d'eau dans l'estuaire ou la mangrove.

Les résultats sont indiqués dans le tableau 4.55.

La répartition de ces rapports annuels peut, sans risques de grosse erreur, être obtenue à partir de celle observée sur le Wouri à Yabassi. Elle a été indiquée dans le tableau 4.56 en volumes (milliards de m³).

Le débit spécifique interannuel de l'ensemble des tributaires du Wouri serait de 48 l/s.km².

Par ailleurs, l'apport net dû aux précipitations reçues par l'estuaire et la mangrove sur une superficie de 1 200 km² et après prélèvement de l'évaporation porterait sur une lame utile de 3 300 mm, soit environ 4 milliards de m³. La répartition moyenne de ces apports calquée sur l'histogramme de Douala est indiquée en millions de m³ (tableau 4.57).

Le tableau 4.58 donne la répartition globale mensuelle des apports en eau douce dans la mangrove et l'estuaire (en milliards de m³).

L'irrégularité interannuelle des apports est traduite par un coefficient K3 (module décennal humide/module décennal sec) de 1,5 en moyenne.

Les apports écoulés varieraient donc de $33{,}6.10^9$ m³ à $22{,}4.10^9$ m³ en années décennales humide et sèche (Olivry, 1974 c, d, f).

L'irrégularité des précipitations à Douala montre un coefficient K3 de 1,33 ; les apports précipités pour les fréquences décennales seraient de 4,6 et $3{,}4.10^9$ m³.

Les variations saisonnières ont été évoquées dans la répartition mensuelle des apports. Les valeurs extrêmes supposent des événements simultanés. Si la simultanéité des étiages est assez probable, ce qui conduit à un étiage absolu moyen de 90 à 100 m³/s pour l'ensemble des tributaires du Wouri, la simultanéité des crues a une faible probabilité et l'occurence d'un débit global de plus de 3 000 m³/s paraît exceptionnelle.

L'estimation des apports en eau douce reçus par l'estuaire et la mangrove du Wouri participe à la connaissance d'un écosystème particulier (décrit dans la première partie).

Cet écosystème est caractérisé par son milieu saumâtre et l'influence des marées. Sur le plan des marées, avec des amplitudes de 2 m à 2,50 m, l'onde de marée transfère au flot et au jusant des volumes plus importants que ceux provenant des plus hautes-eaux (A. Bouchardeau a mesuré un flot de 50 000 000 m³ sur le Wouri au site du pont).

Le milieu saumâtre est caractérisé par d'assez faibles concentrations en chlorure, qui s'expliquent par les apports d'eau douce étudiés ici, mais aussi par ceux de la Sanaga remontant le long de la côte sous l'influence d'un courant Sud-Nord. La figure 4.24 propose un schéma du bilan des apports hydriques annuels dans l'estuaire et la mangrove du Wouri.

2.2. Les torrents issus du Mont-Cameroun

2.2.1. Généralités

Petits fleuves ou rivières à pentes très fortes, les torrents issus du Mont-Cameroun (4 095 m) présentent des régimes hydrologiques qualitativement assez voisins mais quantitativement très variables suivant le versant drainé.

En effet, la masse volcanique imposante du Mont-Cameroun, frappée de plein fouet par la mousson venue du golfe de Guinée, présente une opposition très nette entre ses versants : son versant sud-ouest, le versant maritime, reçoit, par exemple, à Débundscha, 10 m de hauteur de précipitations annuelles, alors que, sur son versant nord-est, les précipitations dépassent à peine 2 mètres (Lefèvre 1967, 1968a ; Olivry 1974b).

Tableau 4.55.

	BV du Wouri à Douala	BV du Mungo à Tiko	BV de la Dibamba à Douala	Total
Superficie en km^2	11 700	4 200	2 400	18 300
P mm	2 350	2 900	2 660	
Er	1 000	1 000	1 000	
He	1 350	1 900	1 660	
Volumes écoulés (10^9 m^3)	16.0	8.0	4.0	28

Tableau 4.56. – Volumes des apports fluviatiles.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Total
V (10^9 m^3)	0.95	1.08	1.72	3.08	4.58	6.0	5.14	2.50	1.24	0.70	0.45	0.56	28.0

Tableau 4.57. – Volumes des apports dûs aux précipitations.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
V (10^6 m^3)	235	329	480	687	740	612	373	143	51	55	81	214	4 000

Tableau 4.58. – Volumes des apports globaux reçus par l'estuaire du Wouri.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
V (10^9 m^3)	1.19	1.41	2.20	3.77	5.32	6.61	5.51	2.64	1.29	0.76	0.53	0.77	32.0

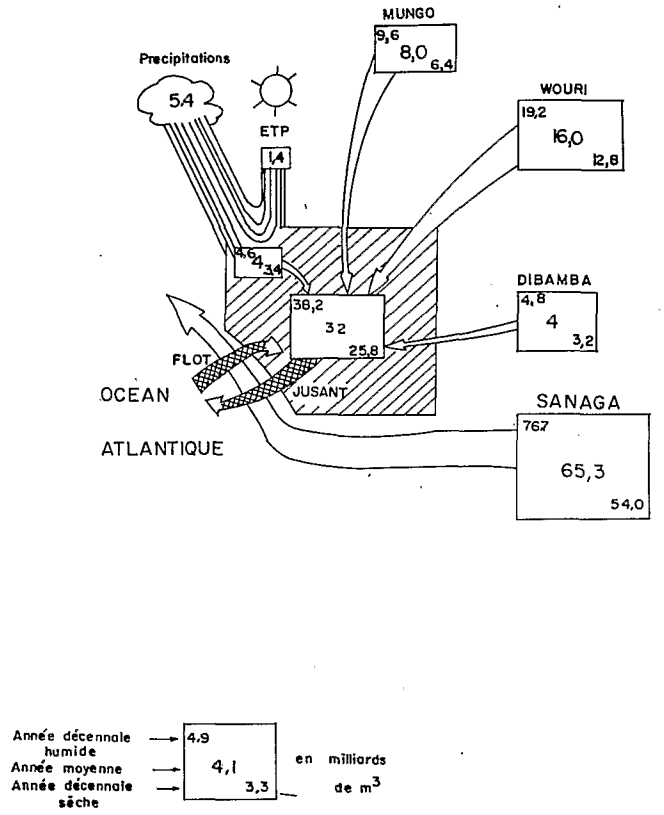


Fig. 4.24. – Bilan des apports hydriques annuels dans l'estuaire et la mangrove du Wouri.

Au-dessus de la forêt (vers 2 500 m), l'altitude limite la durée de la saison des pluies et les précipitations annuelles qui y sont recueillies varient entre 2 et 3 mètres (Fontes J.Ch et Olivry J.C. 1976, 1977).

On a donc une forte hétérogénéité spatiale des précipitations sur les divers bassins versants de ces torrents. Ces bassins versants eux-mêmes ne sont pas toujours représentatifs de l'aire drainée par le torrent.

Si l'on note généralement des bassins versants dont les thalwegs sont orientés dans le sens de la plus grande pente, avec confluence tangentielle des affluents, les coulées de laves récentes ont souvent modifié la physionomie de certains bassins en coupant les thalwegs et créant des vallées sèches. Par ailleurs, la très forte perméabilité des basaltes entraîne la constitution d'aquifères importants, par infiltration des précipitations, dont l'extension ne coïncide pas forcément avec les limites superficielles des bassins versants.

Ici donc, l'aire d'un bassin versant n'est qu'une donnée approximative.

Précisons aussi que les écoulements permanents sont rares dans les thalwegs au-dessus de 1 000-1 500 m (infiltration). Par contre, au pied du mont et notamment sur le versant maritime, on observe une multitude de sources pérennes, souvent abondantes [1], sourdant au niveau des plages, ou sous-marines (Isongo, Bakingélé), et témoignant d'un cheminement souterrain des eaux, préférentiel le long de fissures ou de joints entre diverses coulées.

La perméabilité en grand de l'aquifère, la rapidité des écoulements souterrains, peuvent laisser imaginer que, quoique sans rapport avec celle des terrains calcaires, l'hydrogéologie du Mont-Cameroun est de type karstique.

(1) Nous avons mesuré un débit de 800 l/s aux sources de la rivière du Mile Six (mars 1976) (sources utilisées depuis par la raffinerie de pétrole implantée à Limboh Point).

2.2.2. La Sanje à Idenau

En février 1966, les hydrologues de l'ORSTOM ont installé une station hydrométrique sur la Sanjé à Idenau, à 45 km au nord-ouest de Victoria.

Cette station contrôle un bassin de 77 km² dont le périmètre est de 52 km, la longueur de 21 km, et l'indice de compacité de 1,66 ; le bassin de la Sanjé est donc très allongé.

Bien que ses limites remontent jusqu'au sommet du Fako (4 095 m), le chevelu hydrographique n'apparaît qu'à partir de la forêt vers 2 500 m. Les pentes sont très fortes :

- 40 % entre les altitudes 2 000 et 3 000 m ;
- 20 % entre les altitudes 1 000 et 2 000 m ;
- 5 % entre les altitudes 0 et 1 000 m.

Les premiers résultats recueillis à cette station ont fait l'objet d'une note en 1968 (Lefèvre 1968b). Depuis, les observations de hauteurs d'eau sont continues, mais le tarage de la section, matérialisée par un seuil bétonné, reste limité aux basses et moyennes-eaux. Les mesures de hautes-eaux impliquent la mise au point de jaugeages par dilution avec injection ponctuelle de solution de bichromate de potassium, les crues étant extrêmement rapides.

Les précipitations sont mesurées journalièrement à Idenau et annuellement à la station hydrométrique et à Bomana (à 460 m d'altitude). Estimé à partir des postes totalisateurs du Mont-Cameroun (Lefèvre 1968a), le dessin des isohyètes aboutit à une hauteur de précipitations moyennes de l'ordre de 5 100 mm en année moyenne. Le module interannuel pourrait être d'environ 9,5 m³/s, soit 125 l/s.km², ce qui donne une lame écoulée de 3 950 mm.

Le déficit d'écoulement de 1 150 mm ne correspond pas ici à la seule évapotranspiration, quel que soit le nombre d'années d'observations ; on doit prendre en considération, dans le bilan interannuel, les pertes par infiltration qui échappent au bassin de la Sanjé ou ne sont restituées qu'en aval de la station (de 150 mm à 200 mm, pourraient ainsi échapper au contrôle de la station hydrométrique).

Le coefficient de l'écoulement annuel est très élevé, il semble compris suivant les années entre 70 et 85 %, avec une valeur moyenne de l'ordre de 78 %.

Les variations saisonnières de la Sanjé montrent une période de hautes-eaux limitée aux mois les plus pluvieux de juillet à octobre, pour lesquels les précipitations dépassent à Idenau 1 000 mm par mois. En dépit d'une saison sèche très courte, de décembre à janvier sur la côte, la période de basses-eaux se prolonge pratiquement jusqu'en juin, avec observation des étiages absolus centrés sur mars.

Les précipitations sont pourtant abondantes dès le mois de mars qui reçoit plus de 250 mm ; en mai, on a en moyenne près de 500 mm, et juin reçoit plus de 1 000 mm. Cette persistance des faibles débits pendant six mois de l'année s'explique, d'une part, par l'énorme capacité d'infiltration des sols en terrains volcaniques qui favorise, par de fortes perméabilités globales, la reconstitution des réserves aquifères du bassin ; d'autre part, par des précipitations limitées en altitude ou même inexistantes, la mousson n'ayant pas atteint, au cours de ces mois de pluviométrie, l'épaisseur, la puissance, qu'elle aura au paroxysme de la saison des pluies.

L'abondance des réserves conduit à observer des étiages particulièrement forts. Ceux-ci ont été indiqués ci-après (tableau 4.59).

Compte tenu de ces résultats (et en considérant avec prudence les plus fortes valeurs), l'étiage absolu moyen ne paraît pas devoir être inférieur à 40 l/s.km², soit 3 m³/s. L'étiage absolu est le plus souvent observé sur une période assez longue, qui traduit encore l'abondance des réserves qui paraissent pratiquement « intarissables ».

Au paroxysme de la saison des pluies, chaque averse suscite une crue calquée sur la forme du hyétogramme moyen, avec différentes pointes dont le temps de montée est extrêmement rapide (de 1 à 2 heures) et des temps de base de l'ordre de 6 heures pour des averses limitées dans le temps. L'abondance de ces

Tableau 4.59.

	1967	1968	1969	lacune	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Période du	26/2	14/3	12/4		7/2	22/3	18/4	28/6	24/1	8/5
au	4/3	21/3	26/4		29/4 (et mai)	10/4		1/7	5/2	28/5
m^3/s	3.6	3.2	2.8		(7.2)	2.8	3.5	4.9	2.3	(6.7)
$l/s.km^2$	47	42	36		(96)	36	45	64	30	(87)

averses, leur persistance avec diverses pointes d'intensité, aboutissent le plus souvent à des crues complexes, pouvant s'étendre sur plus de 24 heures. Les débits maximums peuvent être très élevés. Le maximum observé sur 10 ans a été estimé entre 300 et 400 m³/s, soit 4 000 à 5 000 l/s.km², valeur qui pourrait être retenue, dans l'attente d'études complémentaires, pour la crue décennale. La crue annuelle est probablement beaucoup plus faible : de l'ordre de 150 m³/s à 200 m³/s, soit 2 000 à 2 500 l/s.km². Le coefficient de ruissellement ne doit dépasser 30 % que dans des circonstances exceptionnelles de précipitations, valeur faible en regard des pentes du bassin, mais qui s'explique par le rôle de tampon de la forêt, et la forte infiltration sur le bassin.

Il va de soi que les études effectuées sur la Sanjé sont encore trop embryonnaires pour que nous prétendions donner ici une information précise. Cependant, la physionomie particulière du régime hydrologique de ces torrents du versant maritime du Mont-Cameroun méritait d'être soulignée dans cette étude.

2.2.3. Le Ndongo à Tiko

Ce torrent, étudié en basses-eaux de 1973 à 1975, draine un bassin de 28 km² sur le versant sud-est du Mont-Cameroun. Les précipitations reçues par le bassin sont de l'ordre de 2 800 mm en année moyenne.

L'étude des étiages qui a été faite dans le cadre du projet d'adduction d'eau de la ville de Tiko, a permis d'aboutir aux résultats suivants :

Année moyenne : 280 l/s soit 10 l/s.km²

Année sèche :

période de retour : 5 ans : 225 l/s soit 8 l/s.km²
10 ans : 170 l/s soit 6 l/s.km²
20 ans : 140 l/s soit 5 l/s.km²

Ces valeurs recoupent celles déterminées sur le Mungo dont le bassin reçoit davantage de précipitations, mais ne possède pas de réserves aquifères comparables à celle du Mont-Cameroun.

2.2.4. L'Ombe River à Ombe

Le bassin versant de l'Ombe River s'étend sur le flanc sud-est du Mont Cameroun. Ses limites théoriques les plus hautes se situent près du sommet ; celles-ci ne peuvent cependant être retenues, aucun thalweg du haut-bassin ne paraissant appartenir à un réseau hydrographique hiérarchisé et la partie du massif située au-dessus de 3 000 m pour le bassin de l'Ombe, comme pour ceux d'autres cours d'eau, constituant une zone pratiquement endoréique pour ce qui est des eaux de ruissellement. Celles-ci s'infiltrent et ne sont pas forcément restituées dans les bassins correspondants.

L'Ombe se jette dans la crique Bimbia, non loin de la mer, au sud-ouest de Tiko. A la station hydrologique implantée au niveau du pont de la route de Tiko-Victoria, le bassin versant a une superficie de 92 km². Peu en amont de la station, l'Ombe reçoit la Tole en rive gauche et la Moliwe en rive droite.

La station est située à 160 m d'altitude. Le bassin inférieur de l'Ombe jusqu'à l'altitude de 700 m comprend de nombreuses plantations alternant avec des lambeaux de forêt dégradée (Molive Palm Estate, Tole Tea). A partir de 1 200 m, les influences anthropiques disparaissent et la forêt dense du Mont Cameroun couvre les flancs de la montagne jusqu'à 2 500 m. Difficilement pénétrable, avec sur ce flanc sud-est des peuplements de fougères arborescentes du genre *Cyathea*, la forêt s'ouvre brutalement en altitude sur une savane à tapis graminéen court. Plus haut encore, cette savane devient clairsemée et disparaît même pour céder la place aux champs de lave plus ou moins colonisés par une flore de lichens.

La moitié du bassin versant est située en dessous de 800 m d'altitude. Le haut-bassin est bien entendu caractérisé par les fortes pentes du Mont Cameroun. Le bassin inférieur est également marqué par de fortes pentes ; ainsi à Likombe, le profil en long de l'Ombe a une pente de 110 m/km ; plus en aval cette pente passe successivement à 50, 120 et 40 m/km ; sur 7 kilomètres directement à l'amont de la station, la pente se stabilise à 16 m/km. le bassin reçoit une hauteur de précipitation annuelle moyenne de 3 300 mm.

Une première échelle aurait été installée en 1949 ; Elders et Eyffes mentionnent des débits de 5,3 m³/s en février 1949, 3,7 m³/s en mars 1950 et 3,6 m³/s le 22 février 1951. Une nouvelle échelle a été installée en 1963 à la demande de la West Cameroon's Electricity Corporation étalonnée entre 2,9 et 8,8 m³/s par F. Buchner and Partners et suivie de mars 1964 à octobre 1965. Les débits moyens mensuels auraient été les suivants (tableau 4.60).

En 1966, l'ORSTOM prend en charge la station et il sera en particulier procédé à des mesures d'étiage. La station est intégrée au réseau hydrométrique général du Cameroun mais elle doit être déplacée en 1971 au nouveau pont de la route Tiko-Victoria, deux cents mètres en aval de l'ancien. L'absence de jaugeages de hautes-eaux, les modifications du lit de la rivière, à écoulement torrentiel, augurent mal d'une exploitation précise des relevés effectués (lectures et enregistrements limnigraphiques) jusqu'à ce jour. On doit en particulier regretter que les jaugeages par dilution chimique de 1973 n'aient pu être poursuivis.

Les mesures de basses-eaux ont permis d'estimer l'étiage absolu moyen à 1,3 m³/s, soit un débit spécifique de 15 l/s.km².

Le débit moyen interannuel pourrait être de l'ordre de 6,5 m³/s, soit un débit spécifique de 71 l/s.km² et une lame écoulée de 2 250 mm, soit avec des précipitations de 3 300 mm un déficit d'écoulement de 1 050 mm assez vraisemblable.

Tableau 4.60.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
1963-64												4.3	
1964-65	3.4	3.1	4.18	13.1	6.36	15.1	7.56	8.02	4.32	3.78	3.3	3.1	6.3
1965-66	3.22	4.04	6.94	35.2	23.4	18.2	23.9	(17.8 ou 9)	(14.5 ou 5)	(3.6)	(3.2)	(3.0)	(11.6)

La crue la plus forte observée à l'échelle de l'ancien pont a atteint 2,87 m en septembre 1965, ce qui pourrait correspondre à un débit de 100 à 150 m³/s, soit un débit spécifique de 1 100 à 1 600 l/s.km².

A la station du nouveau pont, beaucoup plus large, la cote maximale atteinte est de 1,35 m le 16.8.74, ce qui doit correspondre à un débit de crue au moins équivalent.

Un débit maximum de 300 m³/s paraît constituer un ordre de grandeur vraisemblable pour la crue exceptionnelle.

Au stade des mesures effectuées, on ne pouvait tenter qu'une esquisse du régime hydrologique des torrents issus du Mont Cameroun. Bien que les paramètres étudiés varient considérablement suivant la hauteur de précipitations liée à l'exposition du bassin versant à la mousson, le régime des cours d'eau du Mont Cameroun est caractérisé :

- par des **étiages très soutenus** du fait de l'importance des aquifères et en même temps par **une saison de basses-eaux de plusieurs mois** dépassant largement la période correspondant aux mois « secs » ;
- des modules très élevés liés à l'abondance des précipitations et à une évapotranspiration interannuelle probablement inférieure à 1 000 mm ;
- une saison de hautes-eaux assez courte (juillet-octobre) avec des crues souvent très fortes. Les fortes pentes des bassins contribuent sans doute à l'observation de fortes crues mais l'écran de la forêt et la forte infiltration sur basaltes en tempéreraient l'importance si les averses exceptionnelles de la région n'étaient aussi abondantes.

2.3. Les tributaires de la Mangrove ouest

Ce sont, de la frontière nigeriane au Mont Cameroun :

- l'Akwa Yafe, fleuve frontière,
- le Ndian, venant des régions nord de Mundemba,
- la Moko, drainant le versant ouest des Monts Rumpi,
- la Meme, drainant le flanc nord du Mont Cameroun et le sud des Monts Rumpi.

Ces fleuves parviennent dans la mangrove en formant de larges estuaires (Akwa Yafe, Rio Del Rey, Ngosso, Andokat, Meme). A l'exception de la Meme, abritée de la mousson par le Mont Cameroun, les bassins des autres fleuves reçoivent une pluviométrie supérieure à 3,5 m et de l'ordre de 5 m en moyenne sur l'Akwa Yafe et le Ndian.

Avec une lame écoulée de 4 m, le Ndian, qui draine un bassin de 1 215 km², aurait un module interannuel de 127 l/s.km², soit 154 m³/s.

La Moko dont la lame écoulée doit être voisine de 3 m, aurait pour un bassin de 1 200 km², un module de 114 m³/s, soit 95 l/s.km².

L'accès difficile de ces rivières en dehors de leurs biefs maritimes influencés par les marées laisse mal présager dans l'avenir d'une meilleure connaissance des régimes de ces cours d'eau. La Meme plus accessible n'est pas représentative de ces fleuves.

La Meme a été suivie à la station de Bai pendant 3 années par Powercam (Société rattachée à la Sonel aujourd'hui) qui en a effectué l'étalonnage. Le bassin couvre 975 km² et recevrait environ 2 600 mm de précipitations moyennes interannuelles. Les débits moyens observés sont indiqués ci-après (tableau 4.61).

L'année 73-74 correspondant au fort déficit hydropluviométrique observé dans ces régions, il paraît raisonnable d'estimer le module moyen à 50 m³/s environ, soit 50 l/s.km², soit une lame écoulée de 1 620 mm, valeur faible pour la région mais qui s'explique par le déficit pluviométrique de la région sous le vent du Mont Cameroun.

Les étiages relevés sont de 5,3 m³/s le 12 mars 1973 et le 20 février 1974, et 9,1 m³/s le 6 mars 1974. Les étiages faibles de 73 et 74, avec 5,4 l/s.km², et moyen de 9,3 l/s.km² en 1975 correspondent en valeurs spécifiques à ce qui a été indiqué pour le Ndongo à Tiko.

Les crues ont atteint les maximums de 212 m³/s le 4/9/1973, de 378 m³/s le 7/9/1974 et de 416 m³/s le 6/8/1975.

Le débit spécifique de crue médian pourrait être voisin de 400 l/s.km².

Tableau 4.61.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
1972-73										11.1	8.4	8.6	
1973-74	11.9	16.2	13.7	28.8	66.5	80.6	56.0	(30)	(20)	10.0	6.8	9.5	(29.2)
1974-75	12.2	22.0	38.1	66.5	141	150	75.8	39.6	19.0	14.1	12.5	14.5	50.5
1975-76	16.9	17.4	17.5	48.0	150	144	96.7	45.5	22.2	(12)	(8)	(12)	(49.2)

2.4. Le bassin de la Cross-River

La Cross-River draine les régions ouest de l'art montagneux de la dorsale camerounaise, entre le massif du Manengouba et les Monts Bamboutos, au nord des Monts Rumpi.

Entièrement couvert par la forêt, le bassin est particulièrement arrosé, la mousson pénétrant largement à l'intérieur des terres sur un axe SW-NE au nord du Mont Cameroun et venant buter sur les contreforts des « montagnes de l'Ouest ». Le réseau hydrométrique est d'installation récente et comprend 3 stations : la Cross-River à Mainyu, la Cross-River à Mamfé, et en aval la Munaya à Akwem. Le caractère embryonnaire des mesures effectuées à ce jour nous a conduit à limiter l'étude à un aperçu du régime hydrologique de la Cross-River à la seule station de Mamfé.

La Cross-River est un fleuve côtier dont une partie seulement du bassin amont se trouve en territoire camerounais. La Cross-River se jette par un estuaire à Calabar (Nigeria), dans le golfe de Guinée, après avoir drainé un bassin d'environ 75 000 km², essentiellement nigerian.

A Mamfé, le bassin ne couvre que 6 810 km² où la forêt est omniprésente. La géologie est représentée par les séries du socle précambrien, des séries volcaniques à l'est et au sud et les terrains sédimentaires du crétacé correspondant aux dépôts de l'ancien golfe de Mamfé (1). Quatre tributaires principaux constituent le fleuve, 25 km seulement en amont de Mamfé ; ce sont : le Mbu et le Mfi, venant du sud, la Mainyu issue de la Caldeira des Bamboutos à l'est considérée comme la branche majeure et la Me au nord (figure 4.25).

Le réseau hydrographique est marqué pour les 4 tributaires principaux par des pentes très fortes des profils longitudinaux. Ainsi la Mainyu passe de 2 740 m à 40 m sur 125 km de longueur. La pente du réseau calculée sur les 60 % médian du profil est de 4,6 m/km, pour le Mbu et de 3,8 m/km pour la Mainyu (voir fig. 4.26). Les caractéristiques de forme du bassin de la Cross à Mamfé sont les suivantes :

Superficie : 6 810 km² – Périmètre : 330 km – Indice de compacité : 1,13

Rectangle équivalent : Longueur : 91 km ; largeur : 74 km.

La station de Mamfé a pour coordonnées : latitude : 5° 43′ N ; longitude : 9° 19′ E. Elle a été installée le 11 octobre 1964 par l'ORSTOM et est composée d'éléments d'échelle de 0 à 12 m. Une borne hydrologique repère a été posée à droite du sentier à la hauteur de l'élément 10-12. Des déprédations fréquentes ont nécessité de multiples réfections sans décalage du zéro de l'échelle.

L'étalonnage de basses-eaux et moyennes-eaux a été réalisé par les hydrologues de l'ORSTOM. POWERCAM (Société d'Électricité rattachée à la SONEL depuis 1975) a tenté, avec un équipement lourd (transport téléphérique), d'étalonner les hautes-eaux (jaugeages allant jusqu'à 1 780 m³/s).

La carte générale des isohyètes de la région est évidemment imprécise. La carte du bassin de la Cross (fig. 4.26) propose une interprétation du dessin des courbes isohyètes dans lequel nous avons tenu compte des observations de courte durée à Nguti, Batibo et du relief. Nous supposons, avec Suchel, que les précipitations augmentent au pied des montagnes qui forment la limite est du bassin. Cette analyse, certes subjective, aboutit à l'estimation d'une hauteur interannuelle de précipitations moyennes reçue par le bassin de 3 600 mm.

Pour les débits, les données de base ne portent que sur 10 années. Les modules et débits mensuels ont été reportés dans le tableau 4.62.

Le module moyen est de 569 m³/s, soit 83,6 l/s.km². Le débit mensuel le plus fort est observé en août ou septembre (1 555 – 1 554 m³/s), rapport Qaoût/module = 2,73.

Le débit mensuel le plus faible est observé en février (60,7 m³/s). Rapport Qfévrier/module = 0,107.

(1) Nous signalons l'observation de très beaux ripple-marks sur les bancs gréseux affleurant dans le lit de la Cross à l'aval de la station de Mainyu.

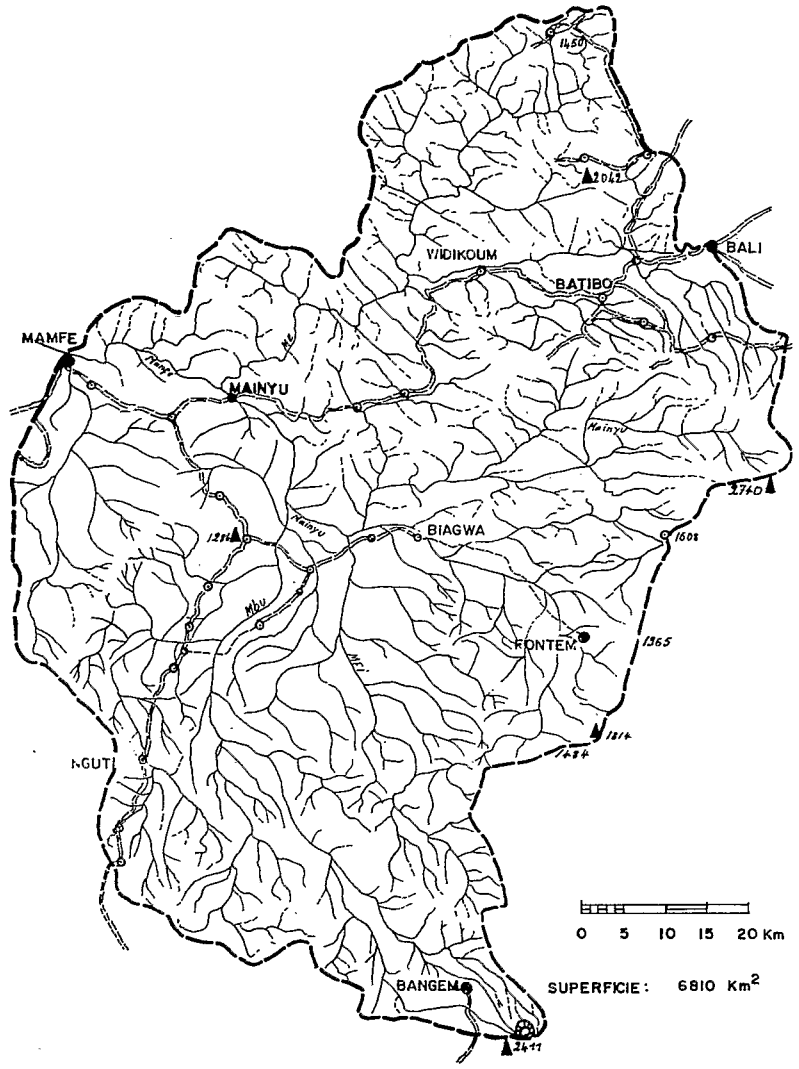


Fig. 4.25. – Bassin versant de la Cross River à Mamfé.

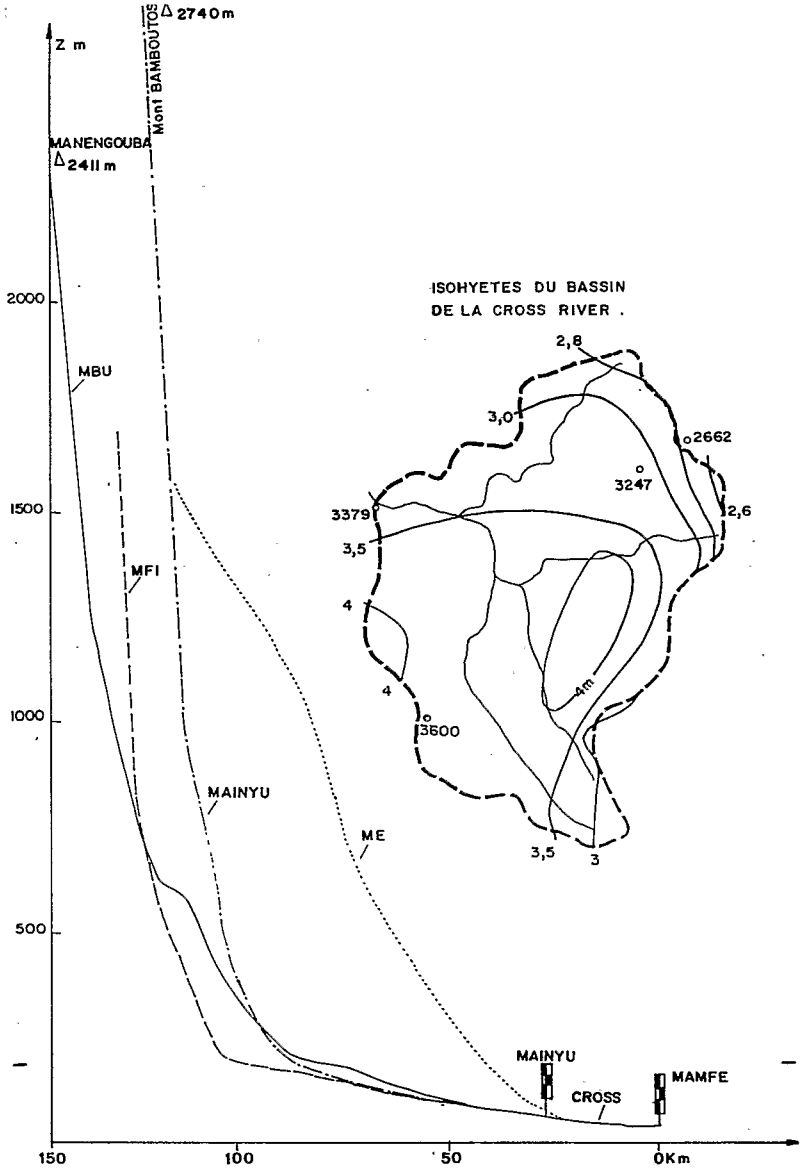


Fig. 4.26. – Profil en long de la Cross River à Mamfé.

Tableau 4.62. – Cross-River à Mamfé.
Débits moyens mensuels (m^3/s) et modules.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
67-68	97.1	180	581	1526	1980	1934	1246	411	165	89.5	89	–	*760*
68-69	94.1	438	698	1130	1884	–	596	393	131	65.9	41.7	206	*523*
69-70	281	471	752	1589	1897	1273	1281	467	161	77.5	47.9	45.5	701
70-71	84.3	293	772	747	2004	2270	1167	408	183	59.4	57.6	108	682
71-72	133	153	347	907	1802	1862	1547	236	126	64.5	52.1	76.7	612
72-73	122	352	428	772	1397	1351	1050	363	118	42.3	46.2	55.9	520
73-74	102	232	312	372	810	1000	625	269	107	53.1	32.3	44.2	331
74-75	153	199	549	727	1364	1821	949	337	114	61.9	52.6	64.6	543
75-76	108	180	336	546	821	1297	1210	376	177	85.3	130	159	453
76-77	200	423	538	*1239*	*1586*	1175	1163	536	168	107	57.1	36.2	569
Moy.	137.5	292	531	956	1555	1554	1083	380	145	70.6	60.7	88.5	569.4
ET	61	121	173	406	430	427	294	87.6	28.6	192	28.5	58.6	126.4
Cv	0.44	0.41	0.33	0.42	0.29	0.27	0.27	0.23	0.20	0.27	0.47	0.66	0.22

Précisons que ces valeurs moyennes établies sur 10 années seulement n'ont pas grande signification du fait de la forte irrégularité interannuelle de l'échantillon, notamment pendant les premiers mois de la saison des pluies, de février à juillet (Cv > 0,4).

La fig. 4.27 donne deux exemples d'hydrogrammes annuels de la Cross.

Les étiages absolus ont été indiqués ci-après (tableau 4.63) :

Tableau 4.63.

Année	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Date	8/2	19/2	21/3	6/2	24/2	1/2	11/3	8/3	10/3	23/3
Débit m3/s	36.3	32.6	27.2	31.3	28.2	24.0	24.0	28.2	55.0	22.9

L'étiage moyen est de 31,0 m^3/s, et l'écart-type est de 9,4 m^3/s ; le coefficient de variation est de 0,303 ; la médiane observée est de 26,2 m^3/s. La distribution de l'échantillon est nettement hypergaussique ; l'ajustement graphique aboutit aux estimations suivantes :

Étiage médian : 28 m^3/s soit 4,11 $l/s.km^2$
Étiage quinquennal sec : 24,0 soit 3,52 $l/s.km^2$
Étiage décennal sec : 23,0 soit 3,38 $l/s.km^2$.

Les étiages spécifiques sont relativement faibles en regard de la pluviométrie annuelle et des résultats trouvés sur les rivières précédemment étudiées : les pentes fortes et les terrains géologiques ne se prêtent pas à la formation d'aquifères importants susceptibles de donner des débits soutenus pendant la saison sèche. Ceci est d'ailleurs traduit par l'examen des courbes de tarissement. Le tarissement apparaît nettement en décembre, janvier et février.

Il n'est pratiquement pas perturbé en 73-74, 74-75 et 76-77. Le coefficient de tarissement est de 0,02, valeur qui correspond à celles que nous avons déterminées sur les bassins sur le socle précambrien (qui couvre 60 % du BV de la Cross).

Les maximums de crue observés sont les suivants (rappelons qu'ils ont été obtenus après une forte extrapolation de la courbe de tarage) (tableau 4.63).

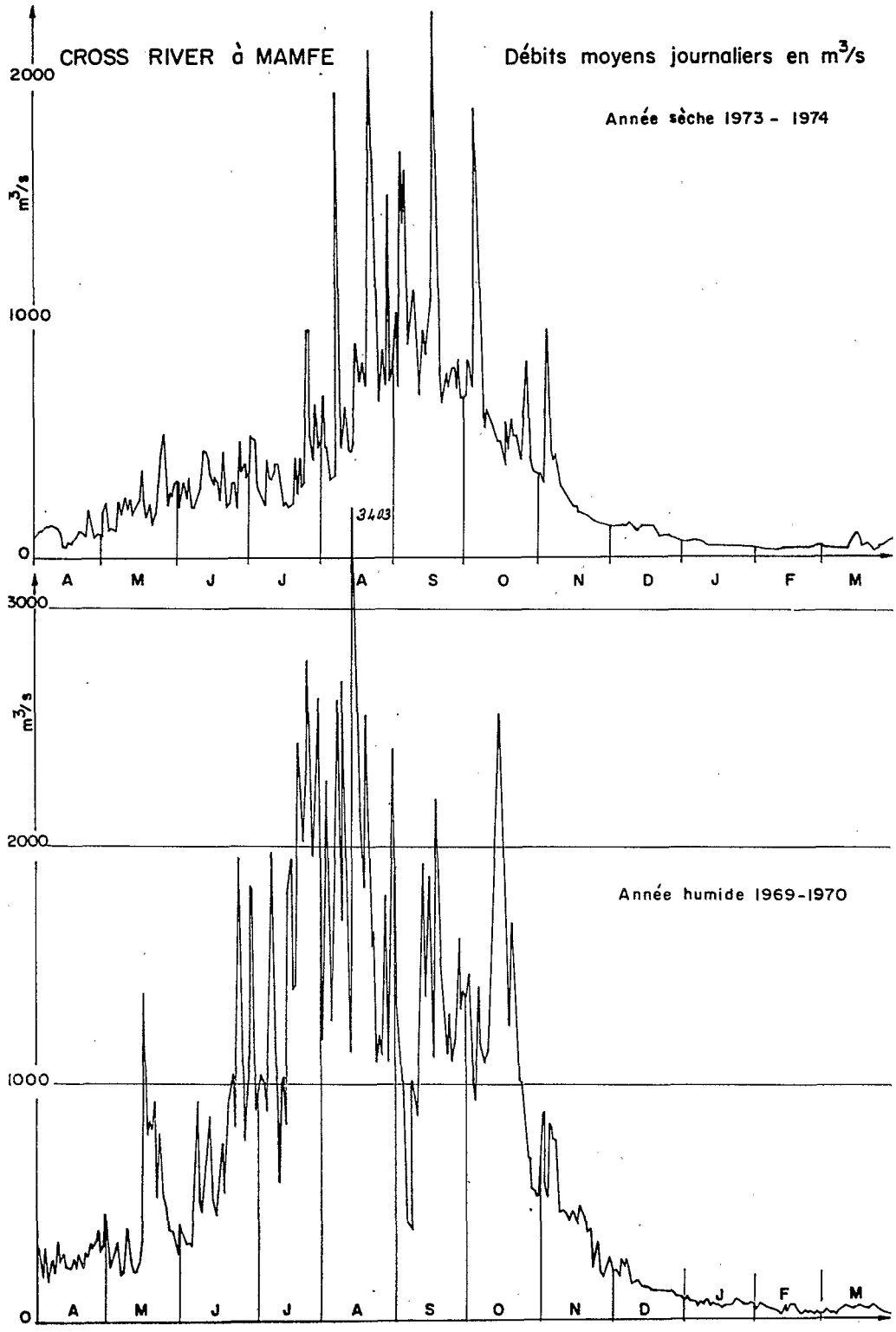

CROSS RIVER à MAMFE
Débits moyens journaliers en m³/s
Année sèche 1973 - 1974
2000
1000
0
m³/s
3483
A M J J A S O N D J F M
3000
2000
1000
0
m³/s
Année humide 1969-1970
A M J J A S O N D J F M

Fig. 4.27.

Tableau 4.64.

Année	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Date	7/9	23/8	15/8	22/9	5/10	6/9	18/9	25/9	3/10	30/8
Débit m /s	3281	3269	3403	3852	3655	3044	2293	3643	3599	3845

Le débit maximum moyen est de 3 390 m³/s, son écart-type est de 465 m³/s ; le coefficient de variation est de 0,137 ; la valeur médiane est de 3 500 m³/s, soit 514 l/s ; la valeur quinquennale humide est de 3 750 m³/s, soit 550 l/s.km² ; la valeur décennale humide est de 3 900 m³/s, soit 573 l/s.km².

Les valeurs spécifiques sont exceptionnellement fortes pour un bassin de cette taille. Elles s'expliquent par les fortes pentes du bassin avec simultanéité des apports des principaux tributaires. Les crues présentent des hydrogrammes très aigus et de courte durée.

L'étude des modules a abouti à une valeur moyenne de 569 m³/s, avec un écart-type de 126 m³/s et un coefficient de variation de 0,22. La valeur médiane observée est de 556 m³/s ; l'estimation des modules de diverses récurrences données ci-dessous doit être considérée avec réserves (tableau 4.65).

Tableau 4.65.

Modules de la Cross à Mamfé	Années sèches		Moyenne	Années humides	
Périodes de retour (ans)	10	5	2	5	10
m^3/s	400	460	565	670	730
$l/s.km^2$	58.7	67.5	83.0	98.4	107
He mm	1850	2130	2620	3100	3380

Le coefficient K3 est de 1,83, valeur relativement forte.

Avec une hauteur de précipitations de 3 600 mm, le déficit d'écoulement en année moyenne serait de 980 mm, valeur correspondant à l'évaporation réelle du bassin.

3. CONCLUSIONS DE LA 2e PARTIE

3.1. Les ressources

Au terme de cette analyse des régimes hydrologiques du Nyong et des fleuves côtiers du Cameroun, nous nous proposons de comparer les principaux résultats obtenus dans l'étude des modules, des étiages et des crues.

Auparavant, il a paru intéressant de regrouper sur une carte (fig. 4.28) les éléments principaux témoignant de l'importance relative des différents fleuves côtiers et des particularités de leurs régimes.

C'est ainsi que l'on a stylisé le cours de chaque fleuve par un figuré d'autant plus large que le module en m³/s est important (valeurs déterminées aux stations et estimation à l'exutoire).

Cette information est complétée par l'indication de volume annuel écoulé moyen, en milliards de m³.

Ces apports annuels sont précisés ci-après :

– **Au nord et à l'ouest de la Sanaga,** les apports proprement camerounais, parvenant à l'Océan entre l'estuaire de la Cross et celui de la Sanaga, se répartissent comme suit (en 10^9 m³) :

. Cross à Mamfé :	17,8	
. Bassin camerounais de la Cross aval de Mamfé (Munaya...) (estimation) :	– 10	28
. Tributaires de la mangrove ouest (Akwa Yafe, Ndian, Moko, Meme) (estimation)		14
. Drainage du Mont Cameroun (hors Meme et Mungo) (estimation)		2
. Tributaires de l'estuaire du Wouri (Mungo, Wouri, Dibamba)		28
Total		72 10^9 m³

– **La Sanaga** de son côté apporte en année moyenne, on le verra : 65,3 10^9 m³

Au sud de la Sanaga, les apports se répartissent comme suit :

. Bassin du Nyong	15	
. Bassin de la Lokoundjé (estimation)	6,5	
. Bassins de la Kienké et Lobé	5,2	
. Bassin du Ntem (estimation)	21	
Soit un total	47,7	10^9 m³

Les tributaires de la façade atlantique du Cameroun apportent donc à l'Océan en année moyenne environ un volume hydrique de **185 milliards de m³**, correspondant au drainage d'une superficie de 250 000 km², soit une lame d'eau générale de 740 mm.

Nous indiquons ci-dessous le poids relatif des trois régions hydrologiques individualisées (tableau 4.66).

La hauteur de précipitations annuelles reçues par chacune de ces régions constitue, bien entendu, le facteur déterminant des différences qui ont été relevées.

La carte de la fig. 4.28 indique par ailleurs les variations mensuelles, les étiages, crues et modules, exprimés en débits spécifiques (l/s.km²) pour quelques stations principales. A des fins de commodités graphiques, on a retenu une échelle logarithmique pour les débits.

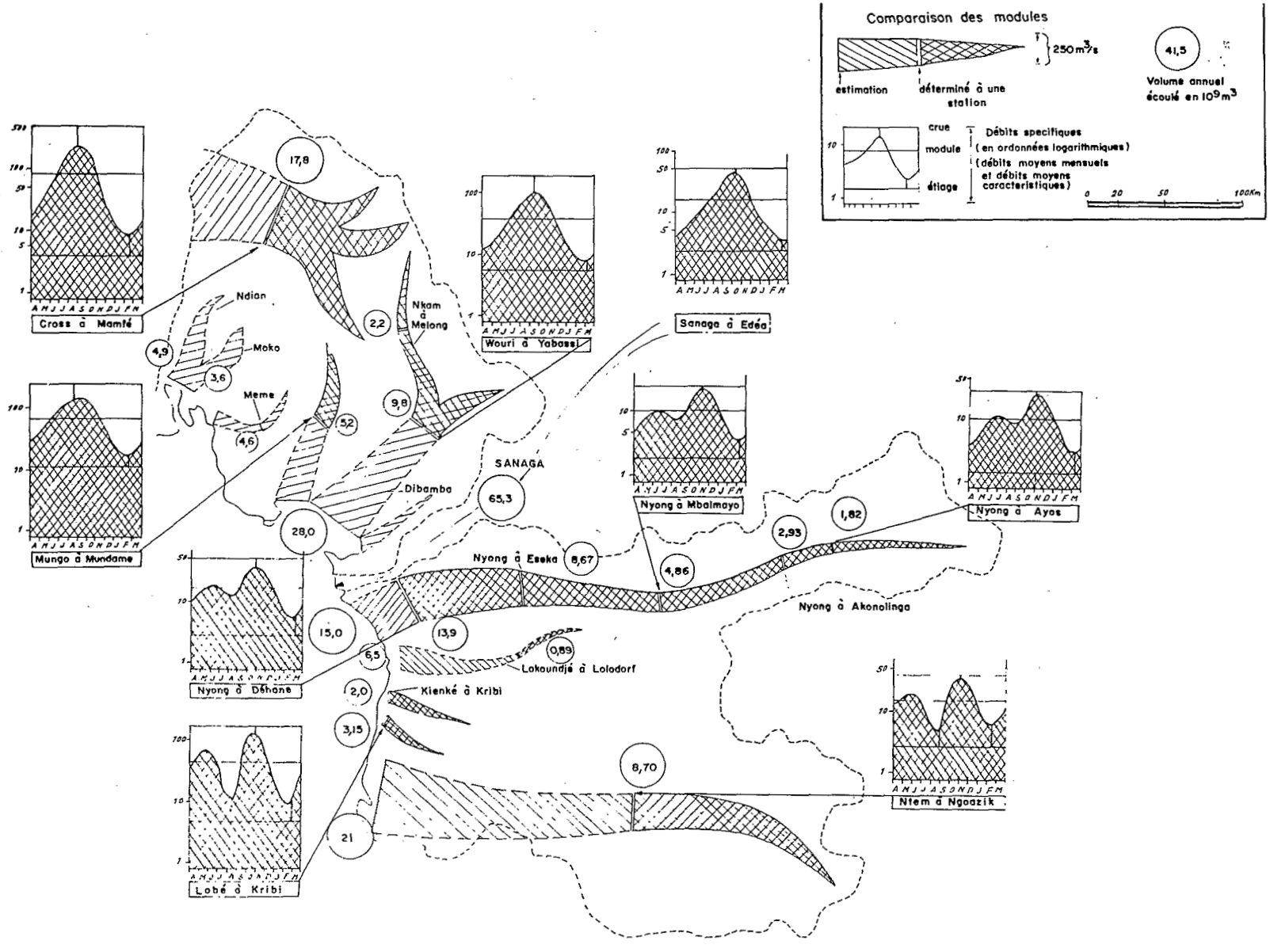


Fig. 4.28. – Comparaison du régime et des apports des différents tributaires de la façade océanique du Cameroun.

Tableau 4.66.

Région hydrologique	Superficie drainée S		Apports moyens annuels V		Importance spécifique des apports ramenés à une même surface	
	en km^2	en %	en 10^9 m^3	en %	%V/%S	en %
Fleuves côtiers nord	45 000	18	72	39	2.17	58
Sanaga	133 000	53.5	65.3	35	0.65	18
Fleuves côtiers sud	71 000	28.5	47.7	26	0.91	24
Total.....	249 000	100	185	100	1	100

Cet aspect de la carte rappelle ce qui a déjà largement été souligné dans l'étude :
- le passage du Sud au Nord des régimes hydrologiques, des types « climat équatorial, à 4 saisons » à « climat tropical à 2 saisons » ;
- une augmentation des débits de l'Est vers l'Ouest liée à celle des précipitations ;
- un décalage d'août à novembre du maximum annuel de crue du Nord au Sud.

3.2. Comparaison des modules et des termes du bilan sur le Nyong et les fleuves côtiers

Les principaux résultats concernant les modules et les termes du bilan ont été rappelés, du Nord au Sud, dans le tableau 4.67.

Les modules, en m^3/s, ont été rappelés dans le seul but de comparer l'importance respective des cours d'eau étudiés.

Les modules spécifiques ($1/s.km^2$) et les coefficients d'écoulement (Ke % = 100 He/P) ont été comparés en fonction de la pluviométrie annuelle reçue par les différents bassins.

La figure 4.29 montre une relation parfaite dans laquelle les valeurs estimées n'ont pas été utilisées dans l'ajustement.

Il est important de souligner aussi que la hauteur de précipitations interannuelle, dont la détermination est souvent imprécise – cela a été dit –, est connue cependant avec une approximation satisfaisante qui justifie *a posteriori* l'ajustement des courbes qui a été retenu.

Sur bassin forestier, la hauteur de précipitations interannuelle est le facteur majeur pratiquement unique déterminant l'importance du module interannuel. L'ajustement graphique a été préféré à l'ajustement d'une régression linéaire dont l'équation s'écrit : $Q_s\,(1/s.km^2) = 217 \log P\,mm - 684$, avec $r = 0{,}993$.

Précisons que ces courbes correspondent à des modules moyens et que pour la pluviométrie d'une année donnée, elles ne permettent pas de déduire le module spécifique correspondant. On se souvient en effet de la mauvaise qualité des corrélations hydropluviométriques étudiées pour le Nyon.

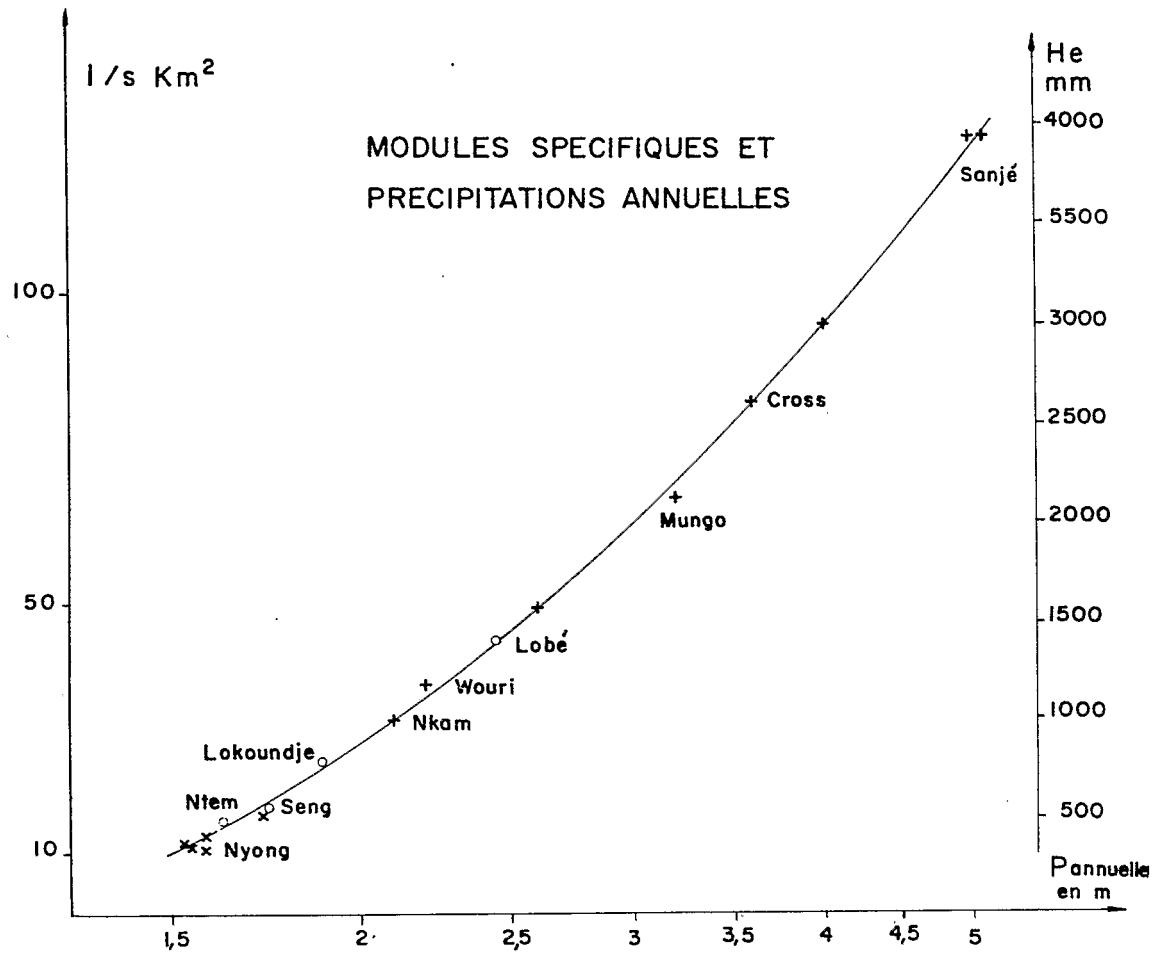
La figure 4.29 indique aussi, en regard de l'échelle des modules spécifiques, celle correspondante des lames écoulées He en mm.

A une échelle plus fine et pour des faibles variations de la pluviométrie annuelle d'une station à l'autre, d'autres paramètres sont susceptibles d'intervenir. Ce sont les paramètres de taille, de forme et de pente des bassins qui conditionnent la vitesse de l'écoulement, le transfert plus ou moins rapide des débits à la station de mesures limitant plus ou moins les effets de l'évaporation.

Mais l'incidence de ces paramètres n'apparaîtrait, à notre sens, qu'en deçà d'un certain seuil de précipitations annuelles de l'ordre de 1 600-1 700 mm, pour lequel la demande de l'évapotranspiration potentielle ne serait pas toujours satisfaite. C'est ce qui a été mis en évidence dans l'étude de la Sanaga et à un degré moindre sur le bassin du Nyong.

Le bilan annuel a conclu pour le Nyong et le Ntem à un déficit d'écoulement satisfaisant, *grosso modo,* les besoins de l'évapotranspiration annuelle telle qu'elle a été calculée par la formule de Turc (Lemoine et Prat).

Cela suppose des précipitations suffisamment abondantes et réparties dans l'année pour que la demande soit toujours pratiquement satisfaite. Cela est d'ailleurs parfaitement ressenti par l'humidité ambiante existant sous le couvert forestier pendant les mois de



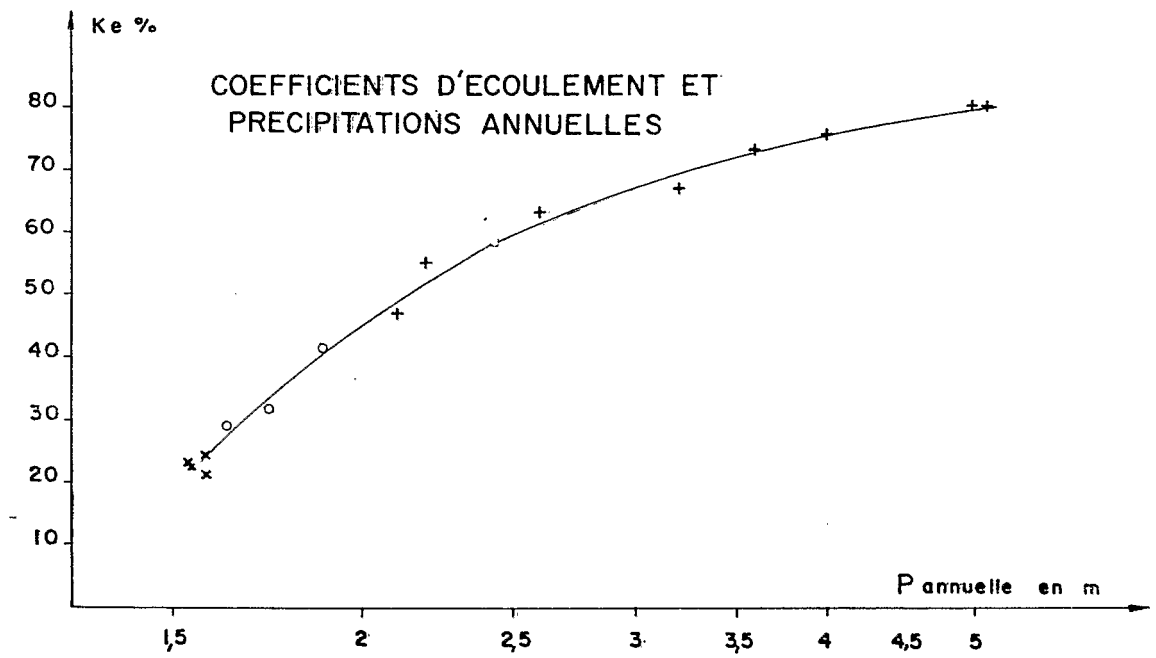


Figure 4.29. – Écoulement et précipitations sur le Nyong et les fleuves côtiers.

Tableau 4.67. – Comparaison des valeurs caractéristiques (modules et termes du bilan)

Bassin et station	S km^2	P mm	Modules spécifiques			Ke %	De mm	Module moyen	K3
			F = 0.9	Moyenne	F = 0.1			m^3/s	
Cross Mamfé	6 810	3600	58.7	83	107	73	980	565	1.83
Ndian	1 215	5000		(127)		80	1000	(127)	
Moko	1 200	4000		(95)		75	1000	(114)	
Meme	975	2600		(50)		63	1000	(50)	
Sanjé	77	5100		125		80	1150	9.5	
Mungo	2 420	3200	55.0	68.9	80.2	68	1030	167	1.46
Nkam	2 275	2100	24.6	31.3	37.4	47	1110	71.1	1.52
Wouri	8 250	2200	29.6	37.7	44.9	55	1000	311	1.52
Nyong à Ayos	5 300	1580	8.43	10.9	13.3	21.7	1240	57.6	1.58
" à Akonolinga	8 350	1545	8.79	11.1	13.5	22.8	1192	93.0	1.54
" à Mbalmayo	13 555	1540	8.85	11.3	13.9	23.3	1179	154	1.57
" à Eséka	21 600	1580	10.0	12.7	15.7	25.4	1179	275	1.57
" à Dehane	26 400	1732	13.1	16.7	21.1	30.5	1204	442	1.61
Lokoundjé	1 520	1880	17.6	24.5	32.6	41	1107	28.2	1.85
Lobe	2 305	2425	37.0	44.0	52.0	58	1025	100	1.41
Seng	445	1750	13.8	17.5	21.8	32	1200	7.70	1.58
Ntem à Ngoazik	18 100	1640	10.9	15.3	19.6	29	1160	276	1.80

précipitations faibles ou nulles. *A fortiori,* sur les bassins des fleuves côtiers plus arrosés, on conçoit difficilement que la demande de l'ETP ne trouve pas en toute saison les ressources hydriques nécessaires. On conçoit mieux par contre que l'ETP soit plus faible du fait d'une humidité latente plus importante.

Le bilan annuel a montré des déficits d'écoulement de 1 200 mm sur le Nyong, mais de 1 100 à 960 mm pour les bassins les plus arrosés avec, pour certains d'entre eux, influence de l'altitude ; ces valeurs sont déterminées avec une certaine imprécision – il est vrai – car, ici, l'approximation faite sur P se transfère sur De qui n'est connu qu'à quelques dizaines de mm près. Mais, quoi qu'il en soit, les résultats sont nettement inférieurs à la valeur moyenne de 1 250 mm, calculée pour l'ETP dans la zone littorale.

Rappelons que la formule empirire de Turc est basée sur deux paramètres, Ig, la radiation solaire globale dépendant de la latitude et de la durée d'insolation, et la température de l'air. En milieu forestier, les valeurs mesurées aux stations météorologiques voient leur signification sur le plan de l'ETP diminuer sensiblement : la radiation solaire ne concerne que la partie supérieure du plumet des arbres ; l'humidité de l'air dans l'étage inférieur de la végétation n'est pas prise en compte.

Tableau 4.68.

P mm	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	5000
He.....	430	630	880	1450	1985	2500	3000	4000
Er = ETP Er =	1170	1170	1120	1050	1015	1000	1000	1000
ETP =	1200							
Ke %.....	27	35	44	58	66	71	75	80

De ce fait, le calcul aboutit à une surestimation de l'ETP [1] qu'il conviendrait de minorer en introduisant un terme correctif prenant en considération l'humidité relative. En s'inspirant du terme correctif utilisé quand U < 50 %, on pourrait imaginer un terme correctif pour U > 80 % de la forme :

$$\left(1 + \frac{80 - U}{50}\right).$$

Nous considèrerons donc que sur les bassins forestiers bien arrosés, l'évapotranspiration est satisfaite. Par suite on a : De = Er = ETP.

Pour diverses hauteurs de précipitations, on aurait alors le bilan annuel moyen suivant (tableau 4.68).

Les variations de K3 (rapport des modules décennaux) d'une station à l'autre sont peu significatives et ne dépendent ni de la taille des bassins ni de l'importance de l'écoulement. K3 est de l'ordre de 1,5 à 1,6, valeurs supérieures à celles de la Sanaga (climat tropical de transition). Trois stations montrent une irrégularité interannuelle plus forte des cours d'eau qu'elles contrôlent : K3 est supérieur à 1,8 sur le Ntem, la Lokoundjé et la Cross-River. Mais ces valeurs correspondent encore à un régime assez régulier. En régime équatorial de transition, l'irrégularité interannuelle reste faible, mais toutefois plus marquée qu'en régime tropical de transition. Ceci tient au fait que, dans le régime équatorial, un déficit des précipitations a des répercussions beaucoup plus fortes sur les débits qu'en régime tropical.

(1) Surestimation en milieu forestier naturel certes, mais pas en milieu de cultures ouvertes où d'éventuels besoins en irrigation peuvent apparaître, lesquels ont guidé la démarche de Lemoine et Prat.

3.3. Comparaison du régime des basses-eaux

Les principaux résultats concernant les études de basses-eaux effectuées sur les différents bassins ont été résumés, du Nord au Sud, dans le tableau 4.69.

L'étude du tarissement a mis en évidence deux familles de bassins :

- les bassins sur terrains du socle précambrien dont le coefficient de tarissement est de l'ordre de 0,02 à 0,025, et parfois 0,035, valeurs que l'on rencontre également sur le bassin de la Sanaga ;
- les bassins où une couverture volcanique domine (basaltes) dont les coefficients de tarissement toujours inférieurs à 0,02 et souvent inférieurs à 0,01, traduisent des réserves importantes et un tarissement lent.

L'étude des étiages absolus montre que les débits spécifiques médians sont d'autant plus forts que la pluviométrie annuelle est élevée. Cependant, la relation reproduite figure 4.30 est loin d'être parfaite. Comme on l'a dit pour le tarissement, une distinction doit être faite suivant la couverture géologique des bassins. Pour les rivières dont les bassins versants possèdent des aquifères volcaniques importants, les étiages sont soutenus, varient dans le même sens que la hauteur de précipitations interannuelles, et sont plus forts que sur les rivières dont les bassins ont un *substratum* essentiellement cristallin.

Sur ces dernières, on note des étiages variant de manière assez dispersée en fonction de la pluviométrie interannuelle reçue par les différents bassins. De fortes pentes ne permettent pas le développement de sols épais dans lesquels les réserves seraient importantes. Les grès cénomaniens du sédimentaire de Mamfé sont peut-être responsables d'un écoulement de nappes échappant au contrôle de la station hydrométrique, ce qui expliquerait les valeurs relativement faibles des étiages de la Cross au regard des précipitations reçues par le bassin.

Dans le cas du Seng, les très faibles valeurs des étiages pourraient s'expliquer par un drainage insuffisant des réserves stockées dans les interfluves au niveau de thalwegs peu profonds et par suite de l'écoulement souterrain de ces réserves. Ceci a été vu sur le Nianiang (Sanaga), mais ce type d'anomalies ne concerne généralement que de petits bassins.

Ces quelques remarques impliquent que soient maniées avec beaucoup de prudence les relations générales concernant les étiages absolus.

Les étiages absolus apparaissent dans toute la région étudiée entre la mi-février et la mi-mars, avec une exception pour le Ntem, fleuve le plus méridional, où l'étiage absolu est plus fréquent vers la fin août.

L'irrégularité interannuelle, traduite par Cv dans le tableau récapitulatif, est plus forte pour les bassins les moins arrosés, tels que le Ntem et le Nyong. En effet, l'incidence d'années sèches ou de saisons sèches prolongées est plus grande sur des bassins dont le volant de réserves est limité que sur des bassins toujours suffisamment arrosés, pour reconstituer chaque année les aquifères dont l'importance en zone volcanique a, en outre, un rôle régulateur sur les étiages.

L'étude des débits caractéristiques d'étiage (dont les coefficients de corrélation ont été rappelés dans le tableau 4.69) montre que l'on a partout une relation étroite entre le débit non dépassé pendant 10 jours et l'étiage absolu, exception faite du Wouri, où le comportement en périodes de basses-eaux des parties cristallines et volcaniques du bassin est différent, et du Seng.

La relation entre le débit non dépassé pendant 1 mois et l'étiage absolu est par contre beaucoup plus lâche, surtout pour les rivières où l'on observe deux saisons sèches, les débits de la 2^{e} saison sèche étant indépendants de ceux de la 1re saison sèche.

3.4. Comparaison du régime des crues

Les principaux résultats concernant les études du maximum annuel des crues ont été résumés dans le tableau 4.70.

Les premières colonnes du tableau portent sur les caractéristiques de taille et de forme des bassins versants.

En effet, le maximum spécifique de crue dépend en premier lieu de la taille du bassin versant, exprimée par sa superficie et la longueur du rectangle équivalent (L_{RE}), paramètres dont l'incidence se traduit par un transfert plus ou moins rapide des volumes ruisselés d'un épisode pluvieux, dont dépend la forme de l'hydrogramme de crue.

L'importance des précipitations pendant la période d'apparition du maximum joue aussi un rôle important (cf. Nyong). Ce facteur est assez bien traduit par la hauteur de précipitations interannuelle (donnée dans le tableau 4.67), les rapports hauteurs de pluie du maximum de la saison des pluies sur précipitations annuelles étant généralement assez voisins d'un bassin à l'autre.

Enfin, la pente du bassin ou du réseau joue également un rôle non négligeable, les temps de concentration étant d'autant plus courts que la pente est forte. Le rôle de la pente a été mis en évidence dans l'étude du Nyong. Dans le tableau 4.70, l'indice choisi porte sur les 60 % médians du profil longitudinal du cours d'eau. La figure 4.31 illustre les variations des débits spécifiques de crues médianes des différents cours d'eau en fonction de leur superficie et de la hauteur de précipitations annuelle, ce dernier paramètre étant introduit sous la forme d'un faisceau de courbes.

La dispersion des valeurs par rapport à ces courbes s'explique par la pente plus ou moins forte des bassins : pentes fortes pour la Meme, la Cross, le Mungo et le Wouri, d'où débits spécifiques de crue supérieurs à ceux déterminés par lecture des courbes ; pentes faibles du cours supérieur du Nyong entraînant l'effet inverse.

Dans la figure 4.32, le débit spécifique de crue médian a été reporté en fonction du rapport longueur du rectangle équivalent sur pente du réseau médian. Le maximum spécifique est d'autant plus fort que le rapport est faible, longueur et pente intervenant en sens inverse. Le rôle des précipitations apparaît nettement et explique en partie la dispersion des points.

Le maximum annuel apparaît en août-septembre dans les provinces de l'Ouest et est beaucoup plus tardif plus au sud où il apparaît fin octobre, début novembre. Il ne s'agit là que d'un effet de latitude avec décalage dans le temps du maximum des précipitations de la saison des pluies.

Le rapport de la crue centennale sur la crue décennale est faible, surtout pour les cours d'eau de l'Ouest qui montrent une irrégularité interannuelle comparable à celle qui a été observée sur la Sanaga et qui semble caractériser le régime tropical de transition. Au sud de la Sanaga, les valeurs sont généralement plus fortes. L'irrégularité interannuelle des crues est plus marquée en régime équatorial de transition (en particulier sur le Ntem et la Lokoundjé), surtout dans les régions de précipitations modestes (1 600-1 700 mm).

L'étude des corrélations entre débits caractéristiques de crue a mis en évidence une liaison étroite entre débit caractéristique dépassé pendant 10 jours et maximum de crue pour le Nyong, la Lobé et le Ntem.

Par contre, pour les rivières à l'ouest de la Sanaga, les coefficients de corrélations sont faibles, ce qui signifie que la crue maximale annuelle n'est qu'un bref épisode parmi d'autres épisodes de crue indépendants, comme on l'observe sur de plus petits bassins à écoulement rapide tel la Lokoundjé ou le Seng...

Tableau 4.69. – Comparaison des paramètres caractéristiques du régime des basses-eaux.

Bassin et station	Coef. de Tarissement α(jours^{-1})	Période d'apparition (ou date médiane)	Etiage absolus spécifiques		Irrégularité inter annuelle	Coef. de corrélation DC d'étiages	
			F = 0.5	F = 0.9		r^1 : DDC = f(DMin)	r^2 : DC1 = f(DMin)
Cross Mamfé	0.02	Fév.-Mars	4.1	3.38	0.303		
Meme	–	Fév.-Mars	9.3	–			
Sanjé	< 0.005	Fév.-Mai	40	–			
Ombe	< 0.005	" "	15	–			
Ndongo	< 0.005	" "	10	6			
Mungo	0.014	21/2	11.6	8.51	0.298	0.977	0.943
Menoua	–	Mars	3.3	–			
Nkam	0.016	10/3	5.1	4.21	0.142	0.958	0.869
Wouri	0.021	7/3	5.8	4.28	0.209	0.894	0.801
Nyong à Ayos	0.026	11/3	1.47	0.79	0.657	0.990	0.945
" à Akonolinga	0.021	17/3	1.60	0.87	0.691	0.994	0.940
" à Mbalmayo	0.024	8/3	1.90	1.07	0.533	0.983	0.875
" à Eseka	0.026	4/3	2.36	1.46	0.396	0.975	0.841
" à Dehane	0.027	6/3	2.78	1.63	0.460	0.961	0.918
Lokoundjé	0.029	26/2	2.8	2.0	0.420	0.923	0.852
Lobe	0.035	27/2	4.8	3.4	0.250	0.932	0.814
Seng	0.035	Mars	1.2	0.6	0.420	0.845	0.600
Ntem	0.025	Fin août ou mi-fév.	2.7	1.49	0.394	0.952	0.730

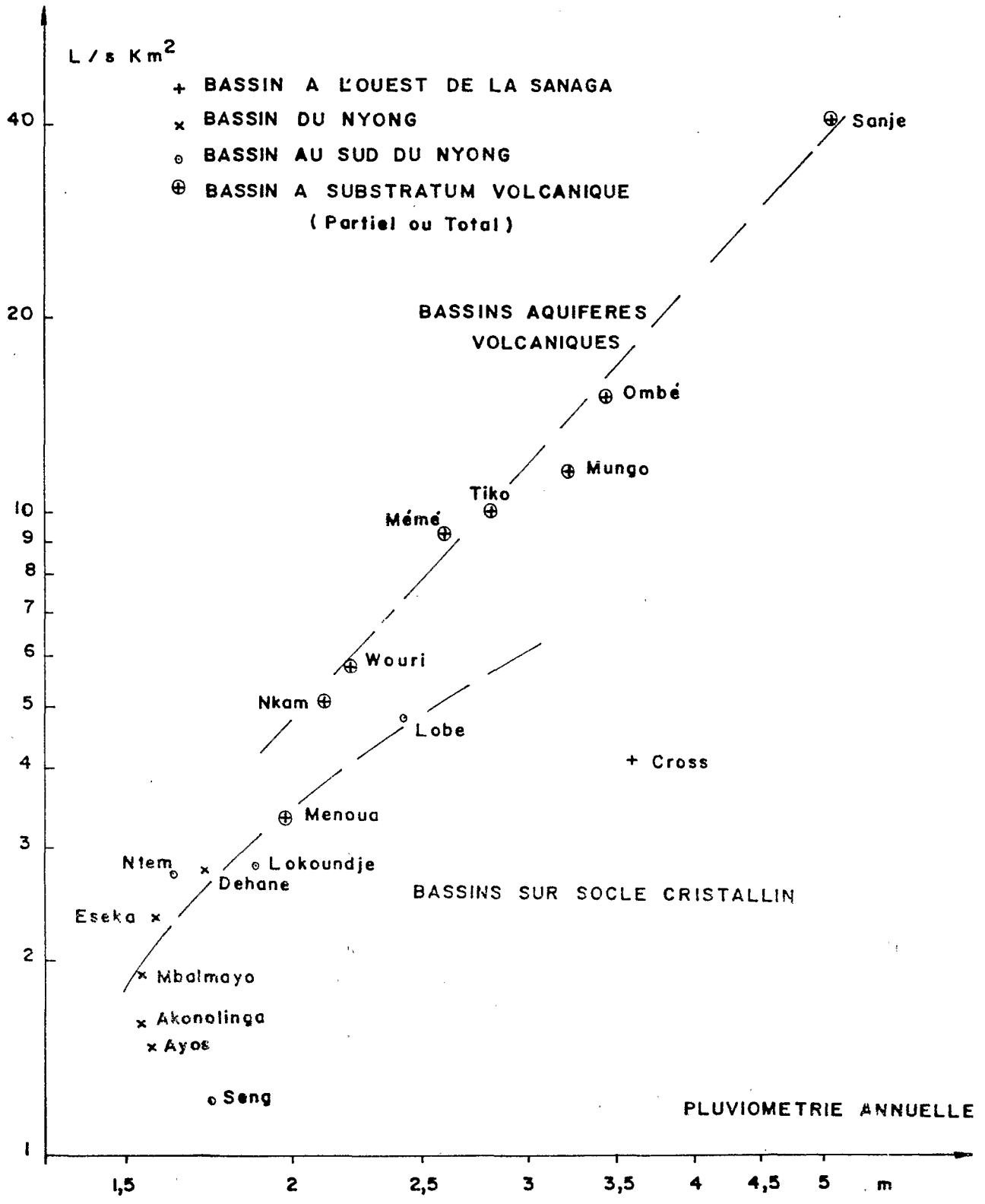


Fig. 4.30. – Étiages spécifiques absolus et précipitations annuelles.

Tableau 4.70. – Comparaison des paramètres caractéristiques du régime des hautes-eaux.

Bassin et station	S B.V. Km^2	L_{RE} Km	Pente o/oo	Période d'apparition	Maximum spécifique F = 0.5	Maximum spécifique F = 0.1	$\frac{Q100}{Q10}$	Coef. de corrélation DC de crue DCC = f(DMax)	Coef. de corrélation DC de crue DC11 = f(DMax)
Cross	6 810	91	4.6	At-Sep	514	573	(1.11)		
Meme	975	–		" "	400	–			
Sanjé	77	20	200	" "	2000-2500	4000-5000			
Mungo	2 420	59	5.2	17/8	252	318	1.26	0.541	0.254
Nkam	2 275	69	(2.0)	19/9	119	146	1.16	0.877	0.790
Wouri	8 250	142	5.7	17/9	181	216	1.10	0.881	0.782
Nyong à Ayos	5 300	108	0.3	5/11	29.8	38.3	1.23	0.992	0.907
" à Akonolinga	8 250	118	0.2	11/11	28.7	35.3	1.15	0.992	0.828
" à Mbalmayo	13 555	224	0.2	11/11	27.8	35.3	1.30	0.995	0.914
" à Eséka	21 600	283	(1.0)	5/11	35.1	46.5	1.29	0.959	0.765
" à Dehane	26 400	356	1.1	30/10	51.1	62.8	1.15	0.909	0.808
Mefou Etoa	235	23	–	26/10	69.2	87.2	(1.17)	–	–
Nsimalen	425	31	–	30/10	47.1	51.1	(1.09)	–	–
Lokoundjé	1 520	53	2.1	24/10	102	156	1.48	0.739	0.644
Lobe	2 305	58	2.1	30/10	166	207	1.18	0.951	0.758
Seng	445	–	–	début nov.	70.4	84.1	1.18	0.718	0.683
Ntem	18 100	161	0.5	5/11	41.2	56.0	1.46	0.968	0.767

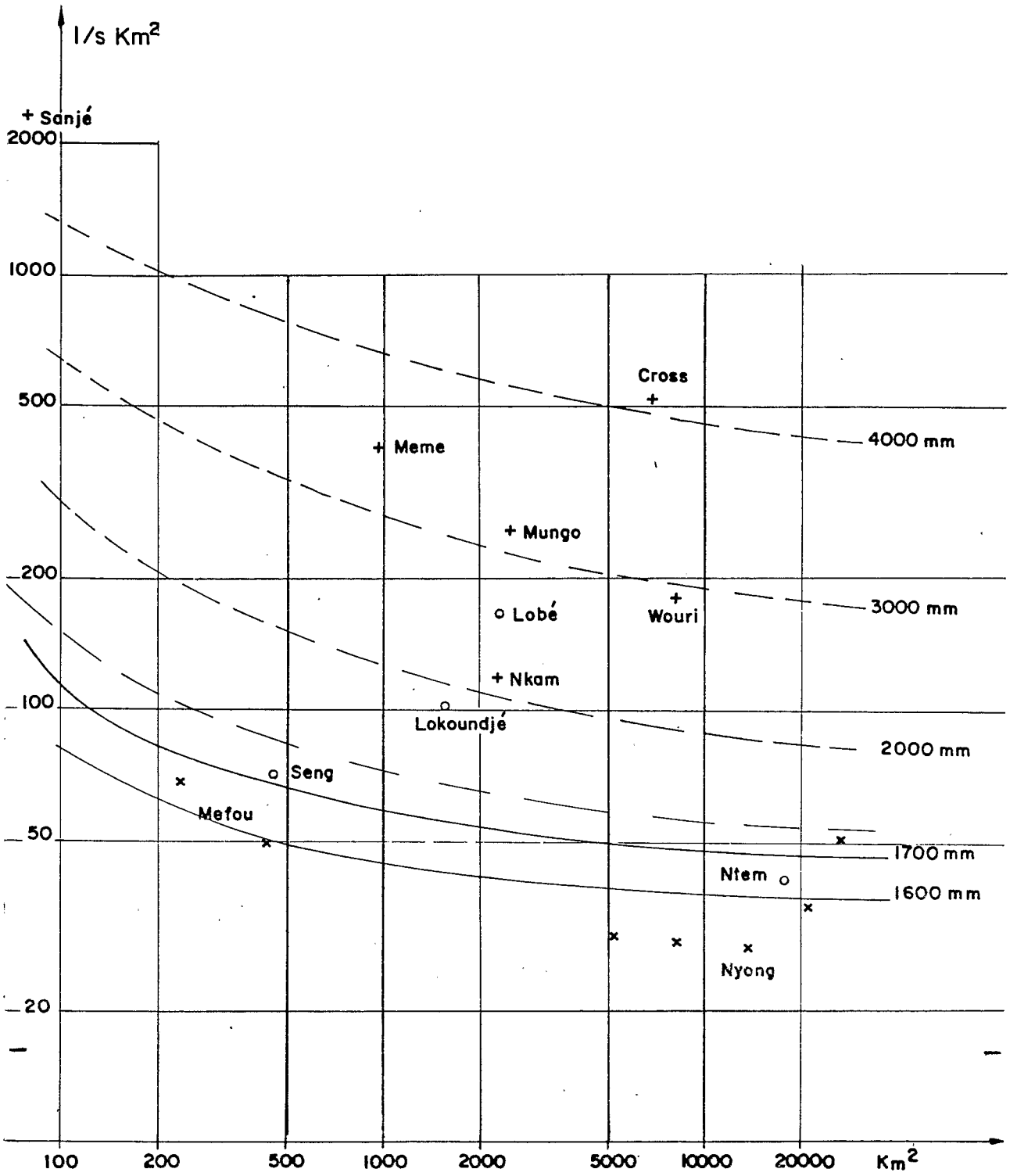


Fig. 4.31. – Débits spécifiques de crue, superficie des bassins versants et précipitations annuelles.

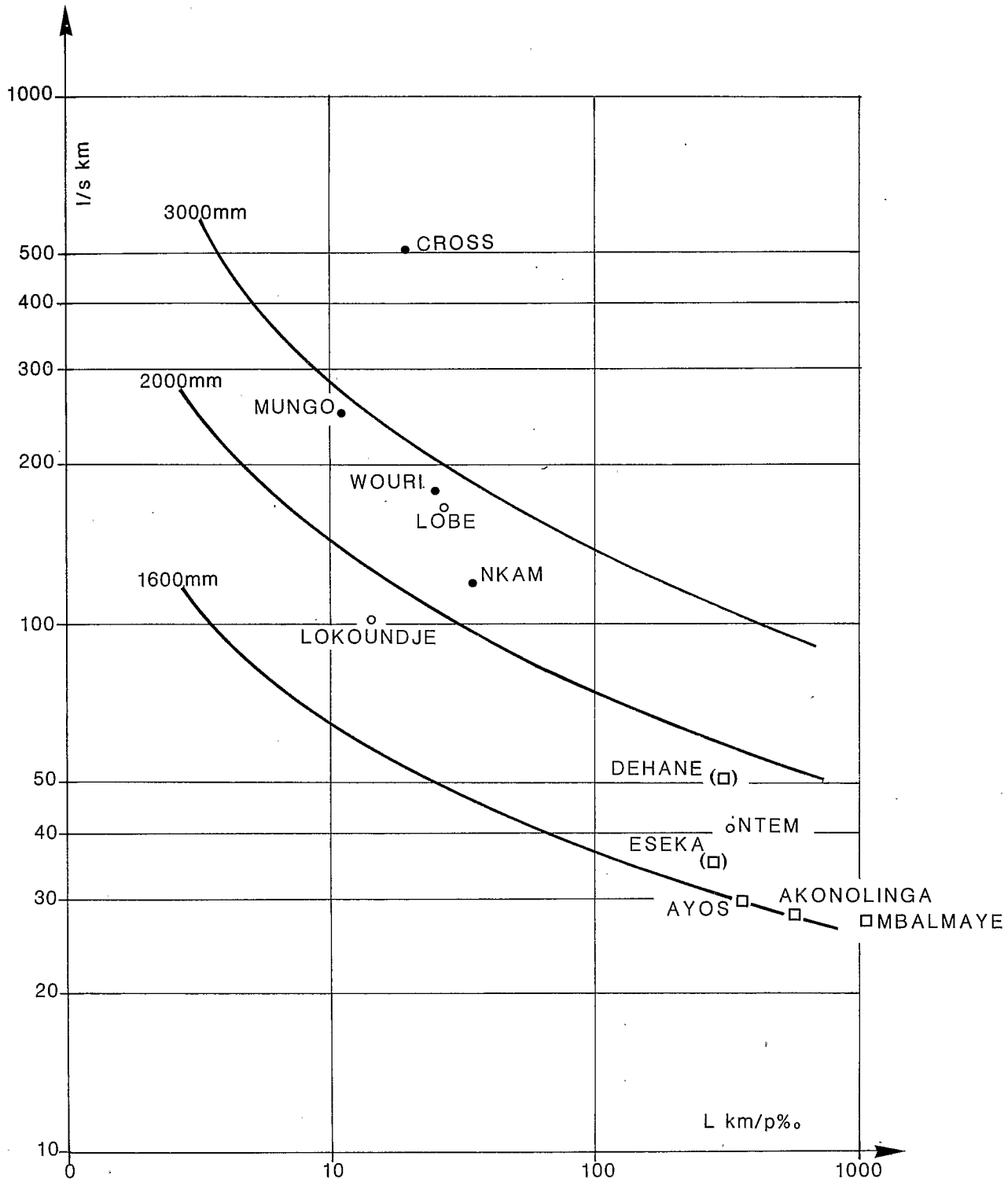


Fig. 4.32. – Débits spécifiques médians de crue et morphologie des bassins.

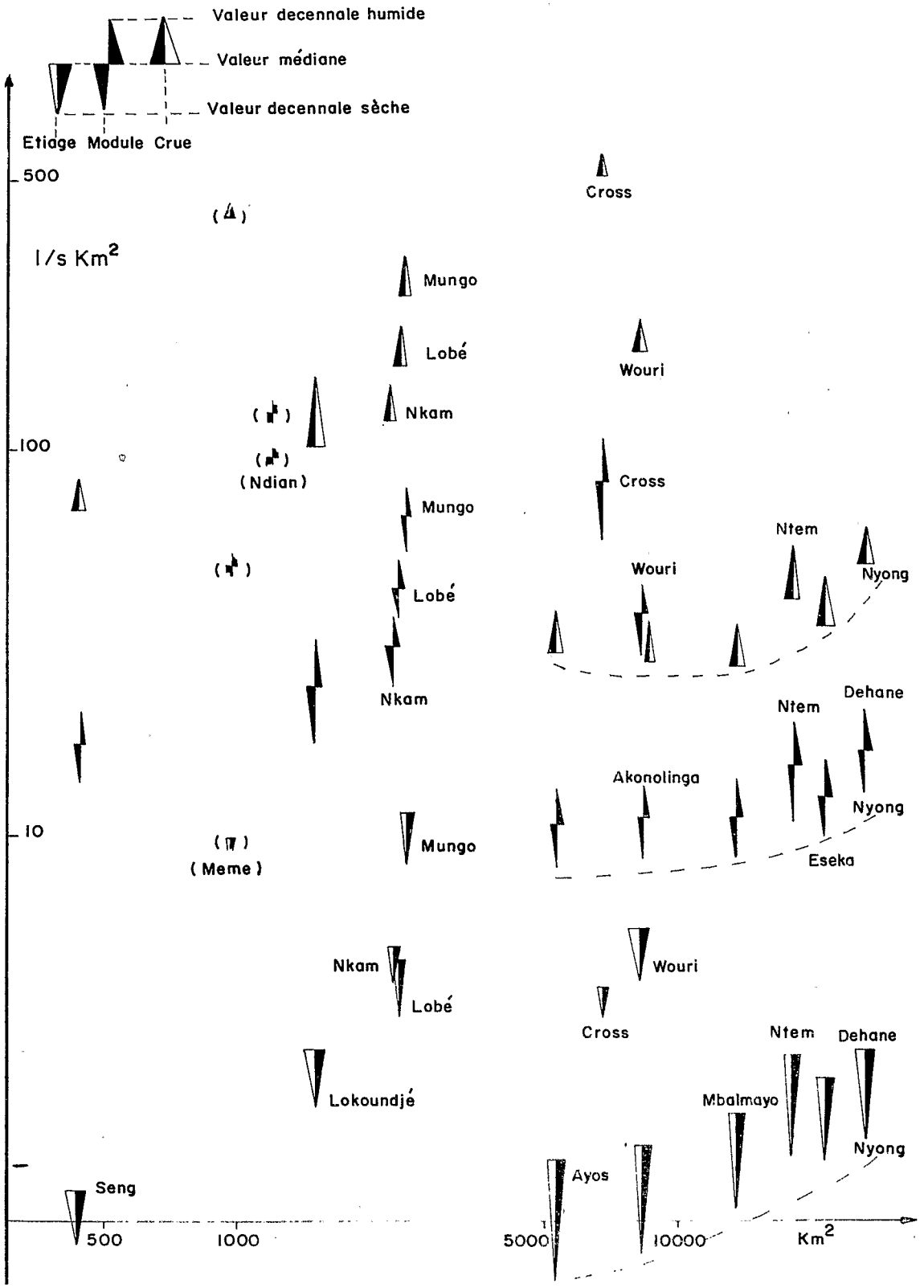


Fig. 4.33. – Étiages, modules et crues spécifiques du Nyong et fleuves côtiers (valeurs médianes et décennales).

La liaison entre débit dépassé pendant 1 mois et maximum de crue est encore plus lâche. Les coefficients de corrélation relativement faibles sur le Nyong et le Ntem montrent que, même pour des grands bassins, la physionomie de l'hydrogramme annuel de crue est très variable d'une année à l'autre.

3.5. Bilan de l'étude et orientations

Le bilan des ressources hydriques, les variations régionales des divers paramètres, la prédétermination de débits de récurrence faible constituent les principaux résultats d'une analyse basée sur l'exploitation de l'ensemble des observations recueillies sur le Nyong et les fleuves côtiers.

La figure 4.33 indique les valeurs des débits spécifiques de fréquences médiane et décennale des principaux fleuves étudiés ici, en fonction de la superficie des bassins.

Les résultats donnés dans cette étude sont connus d'une manière générale avec une bonne précision. Mais une étude de synthèse comme celle-ci ne se substitue pas aux études ponctuelles qui ont été réalisées et dont nous donnons les références dans la bibliographie de cet ouvrage ; elle ne remplace pas non plus de futures études ponctuelles, mais constitue pour celles-ci un cadre facilitant l'orientation des recherches et permettant de saisir d'éventuels particularismes locaux.

Nous avons souligné à sa place l'insuffisance et parfois l'inexistance de données pour certains cours d'eau et pour conclure, nous voudrions indiquer les orientations souhaitables des travaux de l'hydrologue dans ces régions :

- Bassin du Ntem : développement des mesures à la station de Nyabessan, ouverture d'une station sur la Mvila à Ma'an ;
- Bassin de la Kienké : développement des mesures ;
- Bassin de la Lokoundjé : ouverture d'une station à Ebea (route Kribi) ;
- Bassin de la Dibamba : ouverture d'une station à Sole sur la Dibombe ;
- Bassin du Mungo : ouverture d'une station à Mondoni ;
- Rivières Ombe et Sanjé : mesures de débit par dilution ;
- Meme : Extension des mesures à Baï ;
- Ndian : ouverture d'une station à Mundemba ;
- Bassin de la Cross-River : extension des mesures à Mamfé, Mainyu sur la Cross et Akwen sur la Munaya (installation de limnigraphes).

3e PARTIE

ÉTUDES HYDROLOGIQUES DES AUTRES BASSINS AU SUD DE L'ADAMAOUA

– Étude hydrologique du Bassin de la Sanaga :

Chapitre V : LE MILIEU NATUREL DU BASSIN DE LA SANAGA

Chapitre VI : DONNÉES DE BASE ET INTERPRÉTATION

– Autres bassins :

Chapitre VII : LES TRIBUTAIRES CAMEROUNAIS DU BASSIN DU CONGO

Chapitre VIII : LES TRIBUTAIRES DE LA BENOUE INFÉRIEURE

Étude hydrologique du bassin de la Sanaga

L'importance économique du bassin de la Sanaga n'est plus à démontrer ; c'est ce qui explique sans doute que les hydrologues y aient été amenés à faire de nombreuses mesures. Cela nous a conduit à publier une monographie du bassin de la Sanaga fixant les paramètres hydrologiques du régime naturel existant avant la mise en eau du premier barrage de retenue construit à Mbakaou sur le Djerem dans le haut-bassin.

Cette importance économique tient d'abord à son capital énergétique énorme. Si la Sanaga et le Mbam sont aujourd'hui en partie « domestiqués », les potentialités sont loin d'avoir toutes été exploitées. Aux barrages hydro-électriques d'Edéa et plus récemment de Song Loulou sont liés les barrages de retenue de Mbakaou et Bamendjing qui fournissent en saison sèche des apports complémentaires. D'autres équipements sont projetés (Ndzi, près de Nachtigal par exemple) ; leur réalisation dépend bien sûr de la demande en énergie électrique.

L'importance économique du bassin de la Sanaga tient aussi à quelques pôles de grande activité. Paradoxalement, ces pôles d'activité sont situés aux marges du bassin. En effet la majeure partie du bassin est très peu peuplée et on peut même parler de certaines régions vides de populations dans le centre (Yoko).

Bien entendu aux pôles d'activité économiques correspondent des densités de population importantes.

Il y a la sphère de la capitale politique Yaoundé qui, avec sa « ceinture verte,», déborde largement sur le bassin de la Sanaga et s'étend jusqu'aux exploitations agro-industrielles de Mbandjok (canne à sucre).

Il y a la sphère d'influence de Douala, capitale économique et son extension sur Edéa avec l'énergie électrique, des industries d'aluminium et d'autres industries consommatrices d'énergie et d'eau.

Il y a enfin la sphère d'intense activité agricole des hauts plateaux de l'Ouest (pays bamiléké, sud-ouest du pays bamoun) où les densités de populations peuvent dépasser 200 habitants au kilomètre carré. Pour cette dernière région, une précédente étude des régimes hydrologiques a montré (J.-C. Olivry 1974i, 1975d) leur aspect original lié au volcanisme et à l'altitude.

En drainant le quart de la superficie du pays, le fleuve Sanaga compte parmi les grands cours d'eau des régions intertropicales. Quel que soit son intérêt économique, il méritait que l'étude de son régime prenne une large place ici, même si ce régime est aujourd'hui en partie régularisé, même si ses eaux sauvages sont en partie domptées.

CHAPITRE V

Le milieu naturel du bassin de la Sanaga

La Sanaga est le plus grand fleuve du Cameroun ; elle draine environ 133 000 km², soit plus de 25 % de la superficie totale du pays. La quasi-totalité du bassin est située sur le territoire national ; une infime partie (200 km²) se trouve en République Centrafricaine, à l'est dans la région de Garoua-Boulaï.

Le bassin s'étend du parallèle 3°32′ N au parallèle 7°22′ N, et du méridien 9°45′ E au méridien 14°57′ E.

Ainsi, en latitude, le bassin couvre des régions passant du climat équatorial de transition au climat tropical de transition, du sud avec deux saisons sèches d'importance inégale, au nord avec une longue saison sèche.

On verra que le réseau hydrographique s'ordonne suivant les axes de drainage d'un croissant de reliefs allant de l'ouest (pays bamiléké) au nord (Adamoua) et au nord-est (Meiganga, Garoua-Boulaï), cours d'eau collectés par la Sanaga au sud.

Ces reliefs, qui culminent au pic Oku (3 011 m) dans les grassfields, sont à l'origine de modifications climatiques dans la classique zonalité latitudinale évoquée plus haut.

Bien entendu la végétation est liée au climat ; les paysages phytogéographiques varient considérablement de l'isohyète 4 000 mm à l'isohyète 1 200 mm, des mangroves aux prairies subalpines, mais la dominante est marquée par le passage de la forêt aux savanes arbustives. La géologie contribue aussi à donner une grande variété de paysages sur le bassin de la Sanaga, reliefs volcaniques jeunes, pénéplaines arasées sur le socle ancien, horsts granitiques... Corrélativement, la pédologie illustre les variations tant climatiques que géologiques, des terres noires de la région de Foumbot aux cuirasses de bowe et Meiganga.

C'est cette variété rencontrée sur le bassin de la Sanaga et son éventuelle incidence sur le régime hydrologique que l'on va tenter de décrire dans ce chapitre.

Par le chemin de fer « Transcamerounais », le voyageur fera une bonne connaissance des paysages de la vallée de la Sanaga. Au départ de Douala, aprés les mangroves de la Dibamba, on traverse à Edéa les deux bras de la Sanaga au débouché des chutes dont la plus grande partie est aménagée pour l'usine hydro-électrique d'Edéa ; puis on traverse la grande forêt plus ou moins dégradée. Au départ de Yaoundé, on rejoint la Sanaga et ses rapides à Ndzi ; on suit ses biefs tranquilles entrecoupés de zones de rapides, dans la forêt, ou des zones de jeune recru secondaire consécutives à sa disparition, ou le long de vastes exploitations agricoles (sucrières Sosucam et Camsuco de Mbandjok) jusqu'à Nanga-Eboko, puis Bélabo encore enserrée dans la forêt, qui sent encore le bois de défrichements récents. On quitte la Sanaga en traversant le Lom juste en amont de son confluent ; la Sanaga devient alors de Djerem. la forêt diminue d'ampleur, elle n'est souvent qu'une forêt galerie lorsque l'on suit le Pangar, affluent de Lom. A Ngaoundal, le paysage a changé : forêt claire ou savane arbustive, rochers, cuirasses ferrugineuses ; on monte sur les contreforts de l'Adamaoua, traversée du Djerem, puis vallée de la Vina-Sud... Toutes ces régions sont peu peuplées comme en témoigne l'existence d'une vie sauvage (singes arboricoles ou cynocephales entrevus, cuissots boucanés d'antilopes sur les quais des gares). Un dernier ressaut est franchi et on découvre les steppes herbeuses du plateau avec quelques zones de reforestation à base de pins et d'eucalyptus juste avant d'arriver à Ngaoundéré.

1. FACTEURS GÉOGRAPHIQUES

1.1. Forme et relief

Le bassin de la Sanaga a approximativement la forme d'un ove rattaché au golfe de Guinée par un pédoncule. Plus trivialement, la forme du bassin évoque aussi celle d'une dame-jeanne qui se viderait dans l'Océan. L'ove a un grand axe de 550 km environ, de direction N.NE-W.SW, et une largeur maximale de 320 km environ.

La Sanaga draine une succession de plateaux limités à l'Ouest par la Dorsale camerounaise et au nord par l'Adamaoua.

Entre les 5^{e} et 6^{e} parallèles, les bordures occidentales du bassin de la Sanaga sont occupées par la Dorsale camerounaise largement développée

vers l'est en de vastes plateaux surmontés de massifs volcaniques. Le pays bamiléké, bastion de 1 200 à 1 600 m d'altitude, constitue une des parties les plus élevées de la Dorsale camerounaise ; il se relève vers le sud-est en un bourrelet montagneux, le massif de Bana (Batchingou – 2 097 m) et, à l'ouest, il est dominé par l'énorme masse volcanique des Monts Bamboutos (Melefan – 2 740 m, Mangouan – 2 710 m, Bantso – 2 700 m) que prolonge plus au nord le Mont Lefo avec le Pic de Santa (2 550 m). Le plateau bamiléké se termine vers le nord-est par une brutale dénivellation au-dessus de la vallée du Noun. Cet escarpement donne accès à un palier intermédiaire entre le plateau bamiléké à l'ouest et la dépression du Mbam à l'est et au nord-est ; pour l'essentiel, ce palier forme le plateau Bamoun dont l'altitude est comprise entre 1 000 et 1 300 m. Sa partie occidentale un peu déprimée correspond au bassin supérieur du Noun, où la plaine de Ndop est une zone marécageuse de remblaiement récent en partie occupée aujourd'hui par le lac de barrage de Bamendjin. Sa partie orientale, au contraire, porte trois massifs d'origine volcanique alignés du nord au sud : le Mbam (2 335 m), le Nkogam (2 263 m) et le Mbapit (1 989 m) dont le lac, situé au fond d'un impressionnant cratère d'explosion, constitue une des curiosités touristiques de la région.

Au-delà du 6e parallèle, la Dorsale s'épanouit vers le nord-ouest en un haut plateau de lave de 2 000 à 2 200 m, surmonté d'un appareil volcanique de grande dimension, le Mont Oku (3 011 m). Le versant sud-est de ce plateau s'abaisse rapidement vers la plaine Tikar, nom donné à la dépression du Mbam au nord-est du pays Bamoun, par l'intermédiaire de petits bassins tels que celui de Kumbo ou la plaine de Mbaw. Après un léger ensellement, la Dorsale se décale sensiblement vers l'est en direction de Mayo-Darle.

La ligne de partage des eaux s'appuie alors sur une série de chaînes relativement étroites : Massifs de Kombon (1 751 m) et de Sangola (1 821 m), Monts Mambila (Hossère Djaoue – 2 032 m), où s'articule l'extrémité des Monts Gotel avec le Tchabal Ouade (2 418 m).

Au-delà vers le nord-est, l'arc de Tchabal Mbabo (2 460 m) peut être considéré comme le dernier massif de la Dorsale camerounaise ; mais par son emplacement, il fait déjà partie intégrante de l'Adamaoua qui, à partir de Mayo-Darle, vient se souder à la Dorsale.

L'Adamaoua s'étale en forme de croissant sur toute la largeur du Cameroun entre les 6e et 8e parallèles. De la frontière nigérianne, au bassin de l'Ouham en R.C.A., il ne mesure pas moins de 500 km, tandis que sa plus grande largeur dans le sens méridien dépasse 300 km, le long de la frontière centrafricaine. L'Adamaoua présente, dans l'ensemble, une topographie de lourds plateaux dont les altitudes sont le plus souvent comprises entre 1 000 et 1 400 m. Cependant les mouvements tectoniques et l'activité volcanique ont créé par endroit une topographie plus accidentée. Celle-ci apparaît surtout dans la partie occidentale avec le Tchabal Mbabo ; dans la partie orientale à l'est de Ngaoundère, de vastes tables basaltiques forment des massifs qui dépassent largement 1 500 m (Montagne de Nganha – 1 923 m).

Vers le sud, deux avancées de hautes terres font figure de prolongements de l'Adamaoua en direction du plateau centre-sud. L'une à l'est, a pour axe la frontière centrafricaine et atteint presque le 5e parallèle ; l'autre, à l'ouest, de l'autre côté de l'immense cuvette du Djerem, a une altitude un peu plus faible (sauf dans le Massif de Pawe – 1 521 m) et une extension un peu moindre, avec les massifs Boukobi, Founela, les Monts de Yoko et de Linte.

Le Lom draine la partie orientale de l'Adamaoua aux abords de la frontière de la R.C.A., le Djerem, les parties septentrionale et centrale, le Mbam, la partie occidentale et la Dorsale.

Vers l'aval, en contre-bas, du plateau de l'Adamaoua et de la Dorsale, s'étend la partie septentrionale du plateau centre sud qui constitue, au Cameroun, la plus vaste unité de relief se rattachant à la morphologie de socle typique. Les altitudes moyennes, assez uniformes, sont comprises généralement entre 600 et 900 m. La pente générale est en direction du sud-est vers la Cuvette congolaise. La surface du plateau est cependant accidentée d'un assez grand nombre d'inselbergs et même de véritables massifs montagneux.

Ces inégalités de relief prennent de plus en plus d'importance de l'est vers l'ouest, tandis que se creuse dans la région de la Moyenne Sanaga une dépression assez marquée pour que les altitudes y tombent à moins de 350 m, des massifs assez imposants apparaissent tout autour : Massifs de Ngoro (1 585 m) et Yangba (1 457 m) Bape, de Yafa à l'ouest, de Yaoundé au sud (Mbam-Minkom – 1 295 m), d'Awae (Zomo – 1 219 m) au sud-est. Ces derniers appartiennent à une ligne de relief qui impose à la Sanaga un cours est-ouest.

Le passage du plateau à la plaine côtière s'effectue lui-même par une série de ressauts, qui se marquent sur la Sanaga par des chutes et rapides. Localement les rebords du plateau se redressent en véritables escarpements montagneux, en particulier dans les secteurs de Yingui-Ngambe.

En aval d'Edéa, la plaine côtière devient très rapidement marécageuse.

1.2. Description du réseau hydrographique

1.2.1. Tracé en plan

Trois grandes divisions du cours de la Sanaga peuvent être distinguées : la Sanaga supérieure, moyenne et inférieure.

La Sanaga supérieure est représentée par le Djerem-Sanaga avec son affluent le Lom, tous deux issus de l'Adamaoua.

Le cours moyen commence pratiquement dans la région de Goyoum, légèrement en aval du confluent du Lom et du Djerem. Il va jusqu'à Edéa à la limite de la plaine littorale et ne reçoit qu'un seul affluent important, le Mbam.

En aval des chutes d'Edéa, le court tronçon de la Sanaga inférieure rejoint l'océan Atlantique.

1.2.1.1. Le cours supérieur de la Sanaga : le Djerem

Souvent, le Lom et le Djerem ont été considérés comme les deux formateurs de la Sanaga.

Le Djerem étant mieux connu, deux arguments le désignent comme cours supérieur de la Sanaga, l'un toponymique : bien en amont de sa confluence avec le Lom, il porte indifféremment les deux noms ; l'autre hydrologique : sa superficie et ses apports sont environ 1,5 fois supérieurs à ceux du Lom.

Le Djerem prend sa source au flanc de l'Adamaoua vers 1 150 m d'altitude à une trentaine de kilomètres au nord de Meiganga près de la route joignant cette ville à Ngaoundere.

Il atteint rapidement un premier palier du plateau centre-sud (920-800 m) sur lequel il serpentera pendant près de 230 kilomètres suivant la direction générale est-ouest. Sur cette section, il décrit des méandres au milieu d'une savane arbustive et son lit majeur est souvent une zone d'inondation de cent à deux cents mètres de large.

Sur 140 km, avant d'être grossi par la Vina, il présente un réseau en arête de poisson déportée vers le sud : les tributaires issus de l'Adamaoua étant plus importants.

La Vina est aussi issue de l'Adamaoua ; elle prend sa source vers 1 450 m au nord de la route de Meiganga à Ngaoundere, à 60 km à vol d'oiseau au sud-est de cette ville, près du village de Nangue. Elle coule d'abord vers le nord-ouest puis s'infléchit vers le sud-ouest et s'étale dans une vaste plaine de savane herbacée avec des zones marécageuses avant de franchir une chute de 10 m située à 150 m en aval de la route Meiganga-Ngaoundere. Elle prend ensuite la direction sud jusqu'à son confluent avec le Djerem, 30 km en amont de la station du bac de Betare-Congo.

Le Djerem s'infléchit alors vers le sud-ouest sur une cinquantaine de kilomètres avant de faire un coude brusque vers le nord-ouest jusqu'au confluent du Meng, au centre d'une vaste plaine d'inondation marécageuse à l'est de Tibati.

Le Meng ou Beli, le plus important des affluents du Djerem après le Lom, prend sa source sur le flanc oriental du Tchabal Mbabo, qu'il dévale en une vingtaine de kilomètres. Il prend alors la direction nord-sud pour parcourir et descendre le plateau de l'Adamaoua. Il se dirige alors vers le sud-ouest et sa pente décroît : son lit se dédouble sur dix kilomètres environ, après quoi il reçoit son principal affluent de rive droite le Mayo Kwi, issu lui aussi du Tchabal Mbabo. Au bout de quarante kilomètres, il quitte cette direction pour prendre définitivement celle du sud-est. En aval de la station du pont de Tibati, dans la plaine d'inondation marécageuse, il reçoit en rive gauche le Maouor avant de confluer avec le Djerem.

Le Djerem prend alors approximativement la direction nord-sud, qu'il conservera plus ou moins jusqu'au confluent de la Mekie, soit près de 120 km.

A quatorze kilomètres en aval de sa confluence avec le Meng, depuis 1969, le barrage de Mbakaou (828-846 m) transforme l'immense cuvette amont en une réserve de 2,3 milliards de m^3 à la cote 845. Cette réserve sert à régulariser la Sanaga en période de basses-eaux.

Le remous de cette retenue influence les stations de contrôle de Betare-Congo sur le Djerem, du Meng au pont de Tibati et du Maouor au pont ; il a donc fallu les doubler par des stations plus en amont qui sont situées respectivement à Betare-Bagodo, Djarya et Djombi.

Au barrage, le Djerem, large de 200 m, coule de 3 à 4 m en contrebas des banquettes alluviales des berges.

Huit kilomètres en aval, après le confluent de la Mekay, il franchit un important décrochement du plateau par une série de chutes d'une dénivelée totale d'une cinquantaine de mètres (800-750 m).

Du pied de ces chutes au confluent de la Mékié (649 m), le Djerem descend de 100 m en 90 km. Son cours est alors une succession de biefs encaissés, ou encombrés d'îles et de rapides, ou bordés de zones d'inondations ; sur ses rives, la forêt fait son apparition.

La Mékié ou Méhé, affluent rive droite, prend sa source dans le Founela au pied de l'Hossere Seute à 50 km au sud-ouest de Tibati. Elle prend tout de suite la direction sud-est qu'elle conservera sur les trois quarts de son cours ; dans le dernier quart, avant de se jeter dans le Djerem, elle oblique en direction est-sud-est. Après son confluent, le Djerem fait de même sur 50 km jusqu'au confluent du Lom (624 m).

Le Djerem coule alors en zone forestière et reçoit en rive gauche la Merou. Son lit d'abord régulier, 400 m de large environ, s'encombre d'îles avant de recevoir le Lom.

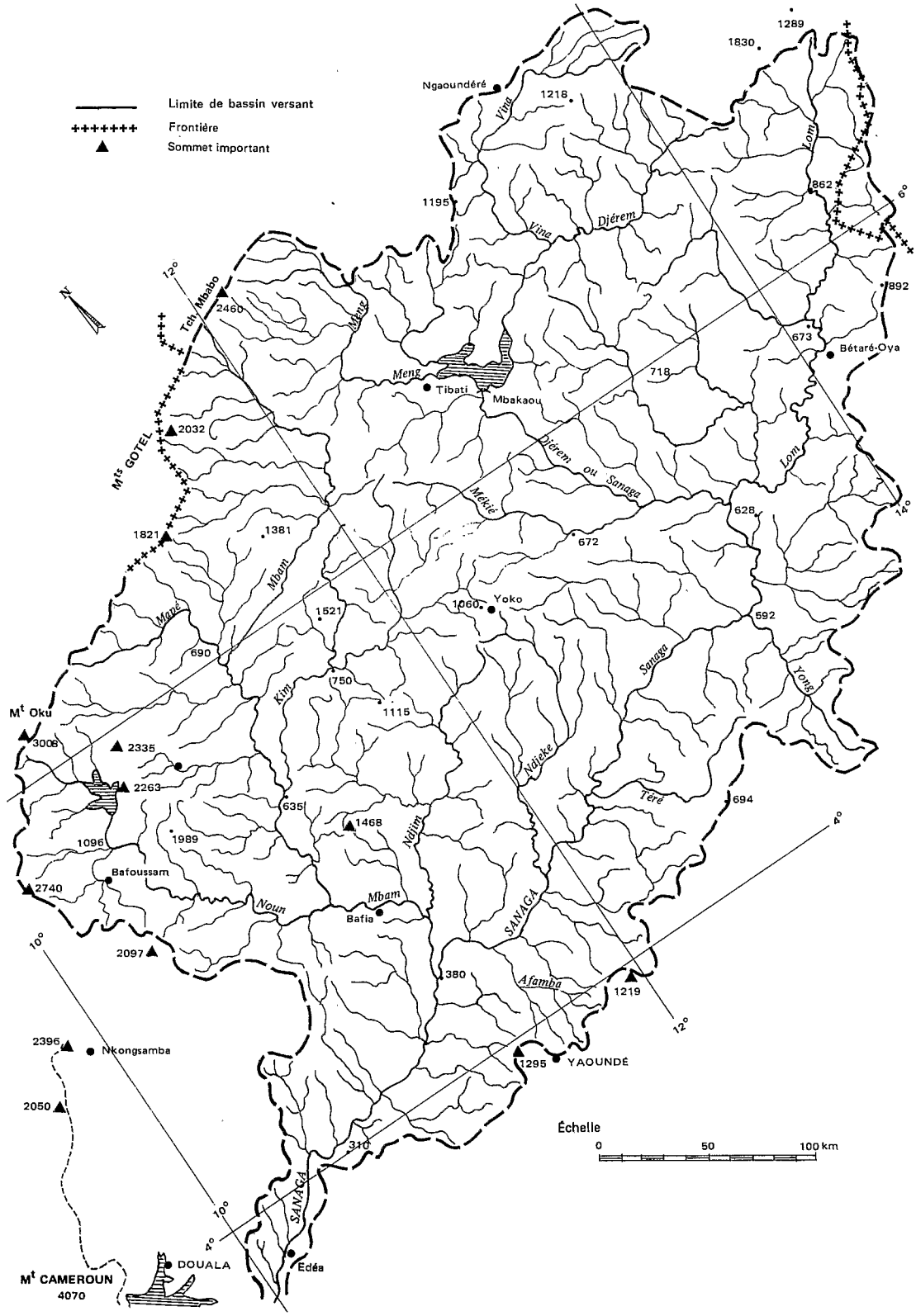


Fig. 5.1. – Bassin de la Sanaga.

1.2.1.2. L'affluent principal du haut-bassin : le Lom

Le Lom prend naissance en R.C.A. sur la bordure sud-est de l'Adamaoua, vers la cote 1 200 m, à soixante-dix kilomètres à l'est de Meiganga.

Au bout de cinq kilomètres, il passe au Cameroun et prend ensuite la direction du sud-ouest, autour de laquelle il oscillera sur la presque totalité de son cours. Axé sur cette direction, il présente un réseau en arête de poisson déportée vers le sud-est : les affluents de rive droite, dont le Mba et le Pangar, sont les plus importants.

Après avoir franchi le rebord de l'Adamaoua, son cours s'encaisse, sa pente décroît assez régulièrement et ses rives sont souvent bordées de galeries forestières.

Contrairement au Djerem, le palier 900-800 m du plateau centre-sud peu marqué : tout au plus au bout de 140 km, avant d'atteindre la cote 800 m, en amont du site de Litala à 30 km au nord de Bétaré-Oya, le Lom peut développer des méandres dans une cuvette très allongée sur 30 km environ (812-800 m).

Quittant cette cuvette, le Lom rejoint la cote 670, près de Bangbel, à 15 km au nord de Bétaré-Oya, au milieu d'un cirque de 25 km de long sur 10 de large bordé par des sommets voisins de 1 000 m d'altitude. Cette jonction s'effectue par un bief de 30 km coupé de chutes (chutes de Bangbel). Le Lom est imité en cela par les affluents venant le rejoindre dans ce secteur, et parmi eux, en rive droite, le Mba, un de ses deux principaux affluents.

Ce cirque est fermé en aval par le site de Tourake presque au droit de la station de contrôle du bac de Bétare-Oya. A cet endroit le Lom a une largeur de 80 à 100 m.

Les sites de Litala et Tourake ont fait l'objet d'une prospection en 1961-1962, ils présentent tous deux une possibilité de stockage supérieure au milliard de m^3.

De Bétaré-Oya au confluent du Djerem, pour descendre les 40 m de dénivelée entre ces deux points, séparés de 70 km environ, le Lom étale 150 km de larges méandres oscillant en général autour de la direction sud-ouest ; ce n'est qu'à 40 km avant le confluent, en zone forestière, qu'il fait un coude brusque vers le nord-ouest sur une vingtaine de kilomètres. Huit kilomètres avant de reprendre la direction de sud-ouest et vingt-trois kilomètres avant son confluent avec le Djerem, il est rejoint par le Pangar, le plus important de ses affluents.

Le Pangar ou Panharan prend sa source au pied du Ngaou Ndal. Sur 100 km il coupe du nord au sud le plateau portant son nom, décrit un coude brusque vers l'est pour recevoir le Mboukou, puis prend la direction sud-sud-est pour rejoindre le Lom.

1.2.1.3. – Le cours moyen de la Sanaga

Dans cette section, la Sanaga ne reçoit plus qu'un seul affluent important, le Mbam.

Le profil en long permet de diviser ce cours moyen du fleuve en deux tronçons de longueurs voisines : 250 km environ, l'un amont allant du Lom au confluent de la Ndjeke, où la pente moyenne est relativement faible, l'autre aval, de la Ndjeke à Edéa, où la pente moyenne est forte. Ce tronçon a fait l'objet d'une prospection hydro-électrique.

Après le confluent du Lom, la Sanaga prend la direction du sud jusqu'à Ebaka, en amont de cette station, elle reçoit en rive gauche la Sesse ou Yangamo. Ce bief est encombré d'îles et de rapides particulièrement entre le Lom et Goyoum (619 m) où est implantée une station de contrôle.

A Ebaka (600 m), elle fait un coude brusque en direction de l'ouest ; son cours toujours encombré et coupé de rapides ne se calme qu'au bout d'une trentaine de kilomètres, après avoir reçu en rive gauche le Yong. La Sanaga devient alors navigable et sort de la forêt pour en marquer approximativement sa limite avec la zone post-forestière de savane à galerie, au nord. Son lit est régulier et a 800 à 600 m de large. Ses tributaires, en rive gauche comme en rive droite jusqu'à la Ndjeke, sont de faible importance.

Après avoir coulé pendant 80 km vers l'ouest, la Sanaga oblique vers le sud-ouest, direction qu'elle conservera plus ou moins jusqu'à son estuaire. A 45 km en aval de Nanga-Eboko, elle est encore navigable ; elle fait alors deux coudes encombrés de chutes (chutes d'Etok Bekpwa) et de rapides, avant de recevoir en rive droite la Ndjeke (ou Ntiou, ou Djim) issue des monts Yoko.

Après le confluent de la Ndjeke, le cours de la Sanaga s'accélère, elle franchit en 16 km un décrochement important du plateau centre-sud de 110 m environ, avec les rapides de Nachtigal qui se terminent par une chute verticale haute de huit mètres. Au pied des chutes, au passage du bac, sur la route Yaoundé-Ntui-Bafia, est installée une station de jaugeage ; avant que la Sanaga aille rejoindre le Mbam, son principal affluent (cote 380 m), au terme d'une boucle de 53 km, elle passe sous le pont récent de Koro qu'emprunte l'essentiel du trafic routier pour Bafia (Olivry – 1975 b).

Entre le confluent du Mbam et Edéa, la différence de niveau est de 370 m ; la Sanaga la franchira en 172 km par une succession de rapides et de chutes, sans que le débit s'accroisse d'apports d'affluents importants. Cette caractéristique du fleuve d'avoir une pente élevée alors que la totalité des apports du bassin est rassemblée est particulièrement intéressante du point de vue hydro-électrique.

En aval du confluent du Mbam, en 30 km, la Sanaga voit la largeur de son lit passer de 1 km à 4 km environ dans les rapides de Kikot. Toute sa rive droite est inondable.

A Kikot, elle s'engage en zone forestière par une vallée encaissée. En aval du pont de Kikot, son lit rocheux a une largeur de 250 m à la cote 297 et de 340 m, dix mètres plus haut. Au bout de quelques kilomètres, elle s'étale dans les rapides de Nkong Kwala pour s'engager ensuite dans le défilé de Ngodi (120 à 220 m de large pour une variation de 30 m). Puis, pour rejoindre Sakbayeme, elle franchit une série de marches : chutes d'Eweng (7 m), de Kan (8 m), de Sakbayeme (10 m), reliées entre elles par une série de rapides ininterrompus.

A la station de Sakbayeme, la vallée est toujours encaissée et le lit en moyennes-eaux a 220 à 260 m de large et 20 m de profondeur.

Les rapides font très vite leur réapparition en aval de Sakbayeme et, au bout de 6 km, la Sanaga fait un coude brusque vers le nord-nord-ouest sur 11 km : c'est le bief des rapides Herbert avec ses défilés et qui s'achèvent par les chutes de Song-Loulou.

Ces rapides constituent la partie la plus importante au point de vue énergétique : leur dénivelée totale est de 100 m pour une longueur de 17 km, dont 22 m pour les chutes de Song-Loulou dont l'aménagement aujourd'hui achevé a une puissance de 290 MW.

En aval de ces chutes, au confluent de l'Ouem, petit affluent de rive droite, un nouveau coude lui fait reprendre la direction du sud-ouest. Jusqu'à Song-Dong, à la rupture de pente, en tête des rapides et chutes d'Edéa, le bief est presque rectiligne, à faible pente et fond rocheux ; sa largeur varie entre 250 et 1 000 m. A l'aval de Song-Dong, le fleuve retenu par une barrière rocheuse forme à l'amont une nappe de plusieurs kilomètres de largeur qui s'écoule en cascade par une multitude de bras se rejoignant à l'aval, pour n'en former que deux principaux, traversés par les deux grands ponts de fer – route d'Edéa.

L'aménagement hydro-électrique d'Edéa utilise cette dernière marche du profil en long (35-10 m) : c'est un aménagement de basse chute, sans réserve propre, fonctionnant au fil de l'eau. Les ouvrages de prises ont été conçus de manière à collecter au maximum les apports du fleuve au moment de l'étiage, vers le bassin de mise en charge de l'usine. Ils sont constitués par un ensemble complexe de barrages, digues en terre ou à enrochements, du type insubmersible ou déversant.

Cet aménagement s'est fait en trois étapes : Edéa I (1944-1953), Edéa II (1954-1958) et Edéa III dans les années 70.

La puissance installée est actuellement de 200 MW (dont 33 de réserve tournante) correspondant en année moyenne à un productible de 1 540 GWh.

1.2.1.4. Le plus important des affluents de la Sanaga : le Mbam

Le Mbam prend sa source, sous le nom de Mayo Mbamti, vers 1 850 m d'altitude, sur le flanc occidental du Tchabal Mbabo, qu'il dévale en une trentaine de kilomètres pour atteindre le palier 950-850 m.

Sur ce palier, il coule pendant 110 km environ au milieu de la savane arbustive, d'abord en suivant la direction nord-sud, pour s'infléchir ensuite vers le sud-est, puis le sud-ouest. Il est grossi le long de ce parcours par une série de mayos plus ou moins torrentueux, descendant des Monts Gotel et Mambila : Mayos Banyo, Taram, Darle, Djinga.

Pour atteindre le palier 700 m, il franchit, par chutes et rapides, en 8 km une marche haute de 110 m environ (846-737) avant de s'infléchir légèrement vers l'ouest pour venir border sur 120 km la plaine Tikar. Ses rives se couvrent par endroit de forêt et sont souvent bordées de plaines d'inondations. Il reçoit deux affluents en rive droite issus du High Lava Plateau : la Mape et la Vi.

La Mape ou Mabe, après être descendue du plateau draine la plaine de Mbaw et la plaine Tikar, grossie de son affluent la Nkwi, issue elle des Monts Mambila. La Mape est contrôlée par une station près de Magba, juste avant son confluent avec le Mbam.

Après celui-ci, le Mbam reprend la direction du sud et reçoit la Vi ou Mvi, issue du Mont Oku, qui, à la sortie du plateau, limite la plaine Tikar et le plateau Bamoun.

Le Mbam coule alors en contrebas de ce plateau et marque la limite orientale de la forêt ; son cours s'accélère et est coupé par des rapides. Une station à Mantoum permet son contrôle avant son confluent, 35 km en aval, avec le Kim, son premier affluent important en rive gauche.

Le Kim est issu des Monts Founela et draine la partie du plateau centre-sud comprise entre ces monts et le Pawe, au nord, et les Monts de Yoko et de Linte, au sud.

Après cet apport, le Mbam voit sa pente moyenne augmenter et son cours s'encombrer de nombreux rapides ; 65 km en aval, il reçoit son principal affluent en rive droite : le Noun.

Le Noun prend sa source au flanc du Mont Oku sur le High Lava Plateau dont il descend pour aboutir dans une vaste cuvette en partie marécageuse, la plaine de Ndop. Cette cuvette est fermée par un verrou à Bamendjing, où a été réalisé, en vue de la régularisation de la Sanaga, en noyant la partie marécageuse, la création d'une réserve utile de 1,85 milliard de m^3.

Au sortir de la cuvette, il reçoit ses affluents issus des Monts Bamboutos et Lefo, la Mifi nord et la Mifi sud, grossie de la Metchié-Choumi, au milieu d'une plaine marécageuse due au comblement de l'ancienne vallée du Noun par de puissantes coulées volcaniques qui s'étendent jusqu'à l'aval du pont de Bafoussam. Le Noun franchit ces coulées, où il s'est enfoncé verticalement, par les chutes de Foumbot (14 + 4 m), puis une série de rapides sur plusieurs kilomètres.

En aval du pont de Bafoussam, où il y a une station, le Noun s'engage, par un coude en direction du sud-ouest, dans une large vallée dominée à l'ouest de 400 à 500 m par le plateau Bamiléké. La pente va

en augmentant et après la première marche au niveau de Bangangté, la pente moyenne deviendra assez forte mais régulière (4 m/km) avec un certain nombre de cassures toujours marquées par des rapides.

Après avoir reçu le Nde en rive droite, il prend la direction est pour se jeter au bout de vingt-cinq kilomètres dans le Mbam.

En aval du confluent du Noun, le Mbam prend la direction du sud-ouest pour passer en une série de rapides et petites chutes entre deux reliefs : au nord, le Massif de Ngoro et, au sud, la Montagne de Bape.

Puis sa pente décroît, son lit s'étale et s'encombre d'îles, ses rives se bordent de plaines d'inondation : un coude en angle droit l'amène en direction sud-est. Il reçoit le Ndjim grossi de la Mpem, qui draine la zone sud des Monts de Yoko et de Linte, puis va rejoindre la Sanaga, 23 km en aval du bac de Goura, où est située une station de contrôle.

1.2.1.5. Le cours inférieur de la Sanaga

Ce bief est relativement court, 67 km du bas des chutes d'Edéa à l'Océan.

En aval des chutes, après la réunion des deux bras, « bras central » et « bras mort », la Sanaga a un lit large de six cents mètres environ ; il va en s'élargissant, s'encombre d'îles et de bancs de sable à l'étiage.

Elle est bordée par des terres basses, couvertes de forêt, plus ou moins bien drainées, où les lacs se multiplient : le plus important est le lac Ossa près de Dizangue. Progressivement la forêt fait place à la mangrove avec ses chenaux ou criques. En aval de Mouanko, la Sanaga se jette dans l'océan Atlantique par deux bras principaux séparés par une île de 12 km de long sur 2 de large.

1.2.2. Profils en long

Le profil en long de la Sanaga et de ses affluents principaux est donné dans les figures 5.2 et 5.3 où toutes les distances sont comptées à partir du barrage d'Edéa ; pour les affluents et sous-affluents, le confluent a été pris comme origine secondaire.

1.2.2.1. La Sanaga-Djerem

La dénivelée totale est de 1 155 m pour 976 km de longueur, soit une pente moyenne de 1,18 m/km. Le détail du profil est donné ci-après :

km 909 à 905 : 28,7 ‰	km 909 sources du Djerem
km 905 à 889 : 7,5 ‰	
km 889 à 727 : 0,39 ‰	km 767 confluent de la Vina (R.D.)
	km 736 station de Bétaré-Congo
	km 734 limite amont retenue Mbakaou (845 m)
km 727 à 670 : 0,18 ‰	km 684 confluent du Meng (R.D.)
	km 671 échelle amont de Mbakaou
	km 670 barrage de Mbakaou (829-845 m)
km 670 à 663 : 4,28 ‰	km 669 échelle aval de Mbakaou
	km 666 confluent de la Mekay
km 663 à 658 : 10,0 ‰	chutes et rapides (50 m)
km 658 à 624 : 1,02 ‰	
km 624 à 610 : 3,4 ‰	km 616 chutes
	km 612 chutes
km 610 à 615 : 0,41 ‰	km 563 confluent de la Mékié (R.D.)
	km 555 confluent de la Merou (R.G.)
	km 515 confluent du Lom (R.G.)
km 515 à 421 : 0,48 ‰	km 503-502 rapides
	km 498 station de Goyoum
	km 468 confluent de la Sesse (R.G.)
	km 462 station d'Ebaka
	km 448 confluent du Yong (R.G.)
km 421 à 280 : 0,16 ‰	km 364 confluent de l'Avéa (R.G.)
	km 339 station de Nanga-Eboko
	km 319 confluent de la Tere (R.G.)
	km 308 confluent de la Nianiang (R.G.)
	km 303 confluent de la Sele (R.G.)
km 280 à 243 : 1,05 ‰	km 265 confluent de la Ndjeke (R.D.)
km 243 à 226 : 5,7 ‰	km 227 rapides et chutes de Nachtigal
	km 226 station de Nachtigal
km 226 à 148 : 0,81 ‰	km 172 confluent du Mbam (R.D.)
km 148 à 129 : 3,5 ‰	rapides de Kikot
km 129 à 109 : 0,55 ‰	
km 109 à 70 : 2,8 ‰	km 107-109 rapides de Nkong Kwala
	km 96 chute de Ngodi
	km 88 chute d'Eweng
	km 86 chute de Kan
	km 81 chute de Sakbayeme
	km 77 station de Sakbayeme
km 70 à 60 : 7,8 ‰	rapides Herbert
	km 61 chutes de Song-Loulou station de Song-Loulou
km 60 à 25 : 0,46 ‰	km 25 station de Song Dong
km 25 à 0 : 1,9 ‰	km 0 chute et barrage d'Edéa (14 m)
km 0 à — 67 : 0,15 ‰	km — 2 échelle 0 d'Edéa
	km — 67 embouchure océan Atlantique

1.2.2.2. Les principaux affluents

Affluent en rive droite du Djerem, la Vina prend sa source à environ 1 450 m d'altitude et met 200 km pour rejoindre le Djerem à la cote approximative de 850 m ; la pente moyenne est de 3 ‰. Elle se décompose comme suit :

km 200 à 194 : 21,7 ‰	km 200 altitude 1 450 m
km 194 à 188 : 13,3 ‰	
km 188 à 177 : 7,3 ‰	
km 177 à 141 : 2,8 ‰	

km 141 à 117 : 0,37 ‰	km 120	station du Lahore
	km 118	ancienne échelle du pont
	km 117	chutes (10 m)
km 117 à 36 : 2,0 ‰		
km 36 à 0 : 0,81 ‰	km 0	confluence avec le Djerem

La rupture de pente du km 141 au km 117 est due à des coulées de basalte-andésite relativement récentes entraînant la présence d'une chute et d'une plaine marécageuse en amont.

Deuxième affluent important en rive droite du Djerem, le Meng parcourt 219 km pour une dénivelée de 1 145 m, soit une pente moyenne de 5,23 ‰.

La section aval (km 29 à 0) est noyée périodiquement par la retenue de Mbakaou mise en service en 1969 ; la station de Tibati a été doublée par la station de Djarya.

Le détail du profil est le suivant :

km 219 à 196 : 38,3 ‰	km 219	altitude 2 080 m
km 196 à 140 : 4,14 ‰		
km 140 à 130 : 6,80 ‰		
km 130 à 116 : 1,71 ‰		
km 116 à 29 : 0,53 ‰	km 48	station de Djarya
km 29 à 0 : 0,14 ‰	km 29	station de Tibati
		limite amont retenue de Mbakaou
	km 13	confluent du Maouor (R.G.)
	km 0	confluence avec le Djerem

Affluent en rive gauche du Meng, le Maouor, pour un parcours de 105 km, a une dénivelée de 340 m environ, soit une pente de 3,24 ‰.

Le Maouor présente une rupture de pente, comme le Meng, entre les cotes 1 100 et 1 000 m. La section aval (km 14 à 0) subit l'influence de la retenue de Mbakaou et l'échelle au pont est noyée périodiquement, aussi cette station a dû être doublée par celle de Djombi.

Le profil se décompose comme suit :

km 105 à 100 : 18 4 ‰		
km 100 à 75 : 3,2 ‰		
km 75 à 65 : 8,0 ‰		
km 65 à 54 : 3,63 ‰		
km 54 à 14 : 0,88 ‰	km 32	station de Djombi
km 14 à 0 : 0,71 ‰	km 14	limite amont retenue de Mbakaou
	km 8	station du pont
	km 0	confluence avec le Meng

La dénivelée du cours de la Mekay est de 234 m pour un parcours de 87 km, ce qui correspond à une pente de 2,69 ‰.

La Mékié a, pour un parcours de 147 km, une dénivelée de 531 m environ, soit une pente moyenne de 3,6 ‰.

km 147 à 145 : 90,0 ‰		
km 145 à 140 : 16,0 ‰		
km 140 à 105 : 3,42 ‰		
km 105 à 101 : 20,0 ‰	km 105	chutes
km 101 à 67 : 1,26 ‰		
km 67 à 38 : 0,24 ‰		
km 38 à 0 : 0,40 ‰	km 0	confluence avec le Djerem.

La dénivelée du cours du Lom est de 590 m pour un parcours de 380 km, ce qui correspond à une pente moyenne de 1,55 ‰.

Le profil en long présente deux décrochements : l'un, presque en tête du bassin, l'autre, aux chutes de Bangbel qui s'étagent sur 15 km avec une dénivelée totale de 120 m (cote 800 à 680). Le détail est donné ci-après :

km 380 à 365 : 9,35 ‰		
km 365 à 359 : 20,0 ‰		
km 359 à 330 : 2,76 ‰		
km 330 à 214 : 0,69 ‰		
km 214 à 199 : 8,0 ‰		chutes de Bangbel
km 199 à 58 : 0,28 ‰	km 154	station de Bétaré-Oya
km 58 à 0 : 0,21 ‰	km 23	confluent du Pangar (R.D.)
	km 0	confluence avec le Djerem-Sanaga.

Affluent en rive droite du Lom, le Pangar parcourt 210 km pour une dénivelée de 645 m. Sa pente moyenne est de 3,06 ‰.

Petit affluent en rive gauche de la Moyenne Sanaga, l'Avéa a une pente moyenne de 3,20 ‰ due à une dénivelée de 160 m pour un parcours de 50 km. Après une décroissance normale de la pente, l'Avéa présente une zone marécageuse du km 30 à 17, puis sa pente s'accentue jusqu'à son confluent avec la Sanaga.

Affluent en rive gauche de la Moyenne Sanaga, la Tere pour un parcours de 130 km a une dénivelée de 155 m environ, soit une dénivelée moyenne de 1, 19 ‰. Après une décroissance normale de la pente, le cours supérieur de la Tere présente une zone marécageuse (PK 94 à 75) puis sa pente s'accentue pour être à peu près constante à partir du PK 75.

Le Nianiang, petit affluent en rive gauche de la Moyenne Sanaga, a une dénivelée de 155 m environ pour un parcours de 55 km, soit une pente moyenne de 2,82 ‰.

Affluent en rive gauche de la Sanaga, la Sele a une pente moyenne de 2,32 ‰ due à une dénivelée de 220 m pour un parcours de 95 km.

La Ndjeke, affluent en rive droite de la Sanaga, a une dénivelée de 250 m environ pour un parcours de 195 km, soit une pente moyenne de 1,28 ‰. Le détail est le suivant :

km 195 à 188 : 19,0 ‰		
km 188 à 184 : 6,75 ‰		
km 184 à 116 : 0,75 ‰		
km 116 à 0 : 0,18 ‰	km 66	station de Ngongom.

Principal affluent de la Sanaga, le Mbam prend sa source sur le flanc sud du Tchabal Mbabo vers la cote 1 850. Son confluent avec la Sanaga est coté 380, d'où une dénivelée de 1 470 m pour un parcours de 494 km. La pente moyenne est de 2,98 ‰.

Après une décroissance de la pente à la sortie du plateau Tikar, nous trouvons une chute importante près de Tapare Pete ; puis nous avons un accroissement de la pente jusqu'à la hauteur de Bafia, entraînant la présence de rapides.

km 494 à 485 : 72,2 ‰		
km 485 à 480 : 32,0 ‰		
km 480 à 464 : 5,0 ‰		
km 464 à 355 : 1,05 ‰		
km 355 à 347 : 12,1 ‰	km 353	(chutes (80 m ?)
km 347 à 278 : 0,52 ‰		
km 278 à 220 : 0,36 ‰	km 245	confluent de la Mape (R.D.)
km 220 à 159 : 0,98 ‰	km 159	confluent du Kim (R.G.)
km 159 à 145 : 0,29 ‰		zones de rapides
km 145 à 93 : 1,71 ‰	km 93	confluent du Noun (R.D.)
km 93 à 58 : 2,69 ‰		zones de rapides
km 58 à 23 : 1,00 ‰	km 33	confluent du Ndjim (R.G.)
km 23 à 0 : 0,65 ‰	km 23	station de Goura
	km 0	confluence avec la Sanaga.

Affluent en rive droite du Mbam à la cote 688, la Mape prend sa source au Cameroun Occidental aux environs de 1 400 m d'altitude, son parcours est de 135 km environ et sa pente moyenne estimée est de 5,3 ‰. La station de Magba est à 1 km en amont du confluent.

Important affluent du Mbam en rive gauche, le Kim a une dénivelée de 600 m pour un parcours de 230 km, soit une pente moyenne de 2,6 ‰. Le profil est le suivant :

km 230 à 228 : 7,5 ‰		
km 228 à 215 : 3,08 ‰		
km 215 à 178 : 2,16 ‰		
km 178 à 122 : 0,74 ‰	km 134	chutes
km 122 à 31 : 1,93 ‰		
km 31 à 0 : 0,64 ‰	km 0	confluence avec le Mbam.

Principal affluent du Mbam, le Noun prend sa source aux environs de 2 600 m d'altitude ; il court sur 269 km avant d'atteindre le Mbam à l'altitude de 524 m, sa pente moyenne peut être estimée à 7,7 ‰.

Le Noun a dans l'ensemble un profil à forte pente et son cours présente de nombreuses chutes et rapides. Dans ce profil, nous distinguerons trois zones de pente moyenne ou faible : la traversée marécageuse de la région Bambalang-Njitapon, km 235 à 187, actuelle retenue de Bamendjin, la zone de confluence des deux Mifi et la section en aval du pont de la route Bafoussam-Foumbot, km 141 à 98. Le détail du profil est le suivant :

km 269 à 257 : 118 ‰		
km 257 à 235 : 15 ‰	km 245	confluent de la Monkie (R.D.)
km 235 à 187 : 0,04 ‰	km 235	échelle de Bambalang
km 187 à 176 : 4,09 ‰	km 187	échelle de Bamendjing-barrage
km 176 à 148 : 1,36 ‰	km 176	confluent de la Mifi Nord (R.D.)
km 163		confluent de la Mifi Sud (R.D.)
km 148 à 141 : 8,42 ‰	km 148	chutes (18 m)
km 141 à 98 : 0,91 ‰	km 141	échelle du pont de Bafoussam
km 98 à 96 : 17,0 ‰		rapides
km 96 à 78 : 2,56 ‰		
km 78 à 66 : 6,57 ‰		rapides
km 66 à 53 : 2,00 ‰		
km 53 à 25 : 6,07 ‰		rapides
km 25 à 13 : 2,5 ‰		
km 13 à 0 : 4,61 ‰	km 0	confluence avec le Mbam.

La Mifi-Sud prend sa source à l'altitude de 1 840 m environ, elle parcourt 76 km pour confluer avec le Noun en rive droite à la cote 1 080 m, soit une pente moyenne de 10 ‰. Le profil comprend les principaux tronçons suivants :

km 76 à 73 : 53,3 ‰		
km 73 à 65 : 20,0 ‰	km 55	confluent de la Nat
km 65 à 39 : 9,23 ‰	km 44	confluent de la Chris
km 39 à 17 : 6,67 ‰	km 35	échelle de Bamoungoum-cft. Meteu
	km 31	confluent de la Metchié (R.G.)
	km 30	échelle de Bafounda
km 17 à 0 : 2,4 ‰	km 0	confluence avec le Noun.

La Metchié-Choumi prend sa source dans les Monts Bamboutos vers 2 600 m d'altitude ; elle parcourt 47 km avant de confluer avec la Mifi en rive gauche vers l'altitude de 1 260 m, soit une pente moyenne de 28,5 ‰, suivant le détail ci-après :

km 47 à 42 : 104 ‰		
km 42 à 31 : 43,9 ‰		
km 31 à 9 : 3,33 ‰	km 13	échelle de Banok
km 9 à 6 : 13,3 ‰		
km 6 à 2 : 5,0 ‰		
km 2 à 0 : 20,0 ‰	km 2	station des Chutes chutes et rapides (25 m + 10 m)
	km 0	confluence avec la Mifi-Sud

On sait que ces rivières bamiléké, Mifi et Metchié, bien que modestes, ont fait l'objet d'études hydrologiques de détail sur lesquelles nous reviendrons.

Le Ndjim, affluent en rive gauche du Mbam, a une dénivelée de 550 m pour un parcours de 192 km, soit une pente moyenne de 2,86 ‰. Le détail du profil est le suivant :

km 192 à 185 : 34,2 ‰		
km 185 à 182 : 26,6 ‰		
km 182 à 178 : 10,0 ‰		
km 178 à 110 : 1,02 ‰		
km 110 à 72 : 0,53 ‰		
km 72 à 38 : 2,06 ‰	km 69	rapides
	km 60	rapides
	km 39	rapides
	km 0	confluence avec le Mbam.
km 38 à 0 : 0,52 ‰		

Tableau 5.1. – Caractéristiques principales du réseau hydrographique.

Cours d'eau	Longueur km	Dénivelée m	Pente moyenne ‰	Pente maximale ‰	Importance de la pente maximale km
La SANAGA - DJEREM	976	1 155	1,18	28,7	4
La VINA	200	600	3,00	21,7	6
Le MENG	219	1 145	5,23	38,3	23
Le MAOUOR	105	340	3,24	18,4	5
La MEKAY	87	234	2,69	46,6	3
La MEKIE	147	531	3,61	90,0	2
Le LOM	380	590	1,55	20,0	6
Le PANGAR	210	645	3,06	53,5	6
L'AVEA	50	160	3,20	18,4	3
La TERE	130	155	1,19	6,43	7
La NIANIANG	55	155	2,82	20,0	1
La SELE	95	220	2,32	21,0	3
La NDJEKE	195	250	1,28	19,0	7
Le MBAM	494	1 470	2,98	72,2	9
La MAPE	135	(700)	(5,3)	(11,0)	(62)
Le KIM	230	600	2,60	7,5	2
Le NOUN	269	(2 075)	(7,7)	(118)	12
La MIFI sud	76	760	10,0	53,3	3
La METCHIE	47	1 340	28,5	104	5
Le NDJIM	192	550	2,86	34,2	7

1.2.2.3. Remarques

Les caractéristiques principales des profils en long des cours d'eau du bassin de la Sanaga ont été rappelés dans le tableau 5.1.

L'examen de ce tableau et celui des profils donnés dans les figures 5.2 et 5.3 met en évidence les fait suivants :

Dans l'ensemble, la Sanaga et ses principaux affluents présentent une forte pente et les profils sont loin des conditions d'équilibre. Pour bien en juger, il est bon de se rappeler que la pente d'équilibre est fonction de la superficie du bassin versant ; sur un fleuve drainant 100 000 km², une pente de 1 ‰ est une pente forte avec des rapides ; pour un cours d'eau dont le bassin versant est de 500 km², la pente correspond à une petite rivière tranquille.

Outre les fortes pentes en tête des bassins alors que le bassin versant est encore inférieur à 1 000 km², l'on observe des pentes élevées aux différents décrochements entre les plateaux successifs avec chutes et rapides, les plus importants sont ceux du Djerem en aval de Mbakaou, du Lom à Bangbel, du Mbam au km 353, du Noun entre les km 98 et 96, de la Sanaga, enfin, à Nachtigal, et, en aval, entre Kikot et Edéa. Ces décrochements sont intéressants pour des aménagements hydro-électriques, particulièrement le dernier où le fleuve a une pente élevée alors que la totalité des apports du bassin est rassemblée.

A cela s'ajoute un autre fait : dans la traversée des différents niveaux des plateaux successifs, les pentes sont faibles et les plaines d'épandages nombreuses. Ce sont les cas du Djerem et du Meng dans la région de Tibati, du Lom à l'est de Bétaré-Oya, de la cuvette de la Ndjeke, des zones marécageuses du Noun. Du fait de ces cuvettes très importantes, le haut du bassin est particulièrement favorable aux aménagements de régularisation, dont les retenues de Mbakaou et de Bamendjin constituent une première illustration.

1.3. La végétation – De la forêt aux savanes

R. Letouzey (1958) a distingué deux zones sur le bassin de la Sanaga : la forêt dense humide, la zone soudano-guinéenne à formations mixtes forestières et graminéennes. Ces différentes zones se rattachent très régulièrement aux zones phytogéographiques reconnues au Cameroun. Une parenthèse peut être ajoutée pour les régions d'altitude.

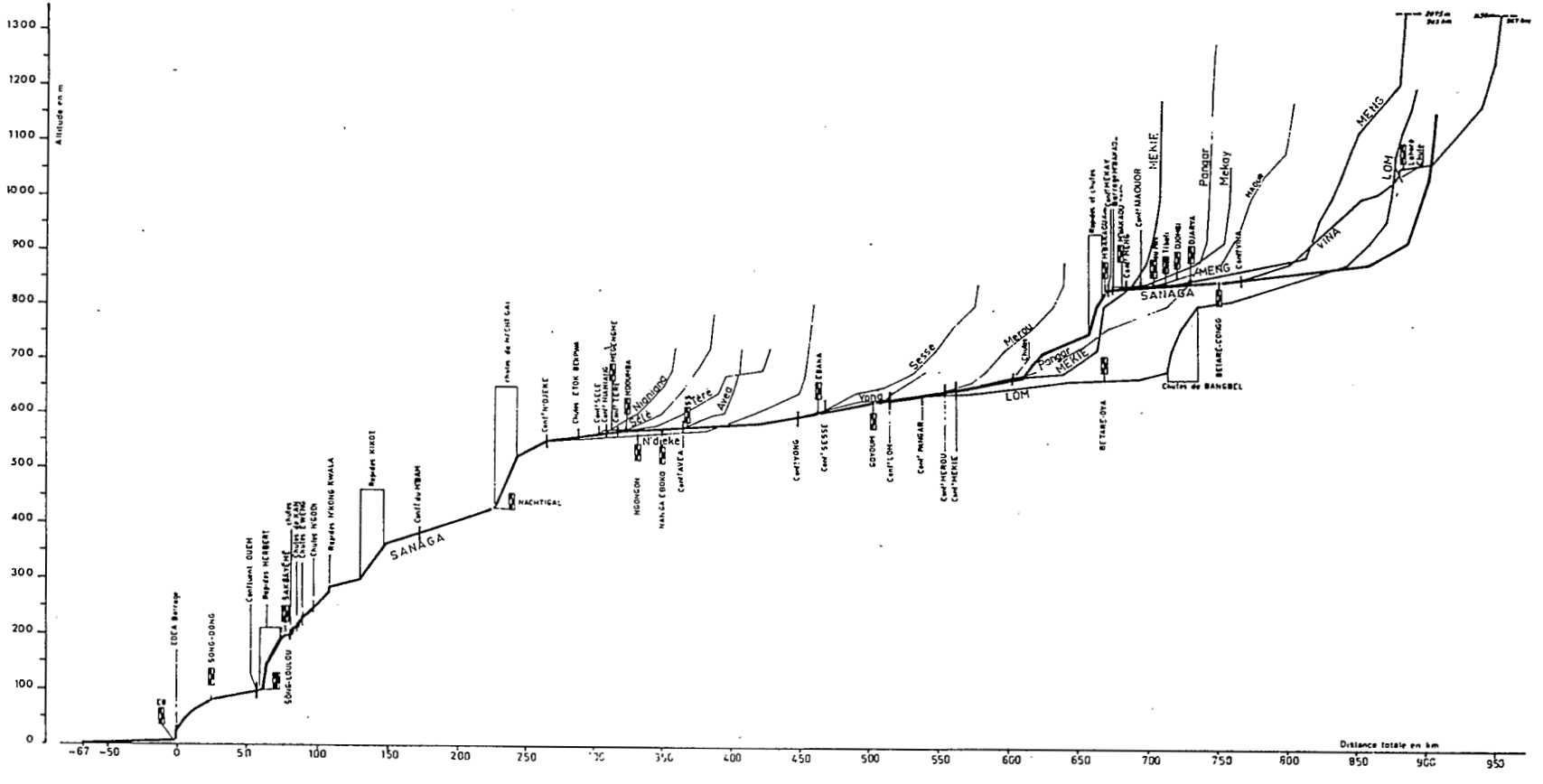


Fig. 5.2. – Profil en long de la Sanaga et de ses affluents.

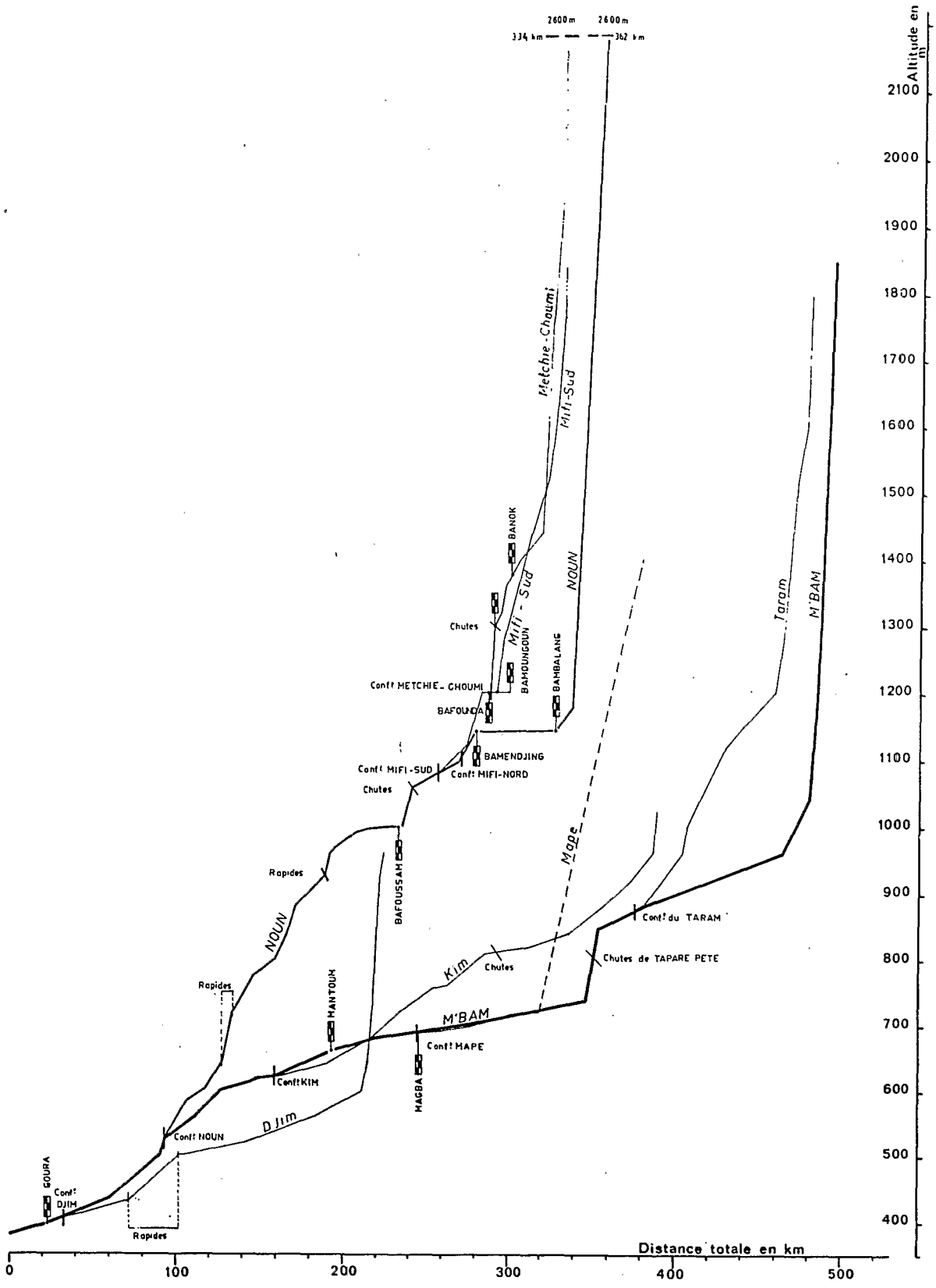


Fig. 5.3. – Profil en long du M'bam.

Le domaine de la forêt a fait l'objet d'une description détaillée lors de l'étude du Nyong et des fleuves côtiers ; nous en redonnons quelques grandes lignes concernant le bassin de la Sanaga.

La forêt

La forêt dense est présente à basse et moyenne altitude. Près de la mer, *Lophira alata* est abondant ainsi que *Sacoglotis gabonensis, Cynometra hankei* et *Coula edulis.* En moyenne altitude, cette forêt s'enrichit en légumineuses. La forêt ombrophile est ouverte par des clairières près des villes, des plantations de palmiers à huile, de bananiers, d'hévéa.

En s'éloignant davantage de la mer, la forêt dense, moins arrosée, devient semi-décidue. La bordure sud du bassin, avec deux appendices importants et morcelés s'étendant le long du Mbam et de la Sanaga, aux contours mal définis, est constituée par la forêt hémi-ombrophile à Celtis et Sterculiaciées. Cette forêt est moins haute que la forêt atlantique avec quelques arbres à fûts droits et au sous-bois envahi de grandes plantes herbacées (Maranthacées en particulier). Les arbres caractéristiques sont *Triplochiton scleroxylon, Sterculia oblonga, S. rhinopetale, S. tragacantha,* et *Pterygota kamerunensis,* avec des Ulmacées (plusieurs espèces de Celtis), des Moracées et diverses espèces de Ficus ; *Terminalia superba* est abondant. Cette zone attire l'homme ; des populations denses cultivent les palmeraies et étendent les cultures industrielles : cacaoyer, caféier, tabac, canne à sucre... Le recru secondaire est essentiellement à base de Sissongo *(Pennisetum purpureum)* et, en cas d'épuisement des terres, d'*Imperata cylindrica.* Le Fromager *(Cerba pentandra)* signale l'habitat humain, ancien ou actuel.

A cette zone de forêt dense ombrophile et hémi-ombrophile peuvent être associées deux formations particulières édaphiques : la mangrove à *Rhizophora racemosa, R. mangle, Avicennia nitida.* Les zones marécageuses de l'intérieur sont occupées par des *Pandanus, Raphia, Mitragyne, Uapaca.*

Les formations d'altitude

On observe à l'ouest et au nord du bassin de la Sanaga des formations végétales d'altitude sous plusieurs aspects.

En altitude, sur les flancs des massifs montagneux de l'Ouest, subsistent des îlots de forêts denses de montagne ou de haute montagne. On y observe des Guttifères, des Entendrophragma, des Albizzia, Ficus alors que des Podocarpus, Cyathea, Raphia colonisent certaines zones humides. Cette végétation des montagnes est souvent détruite pour y installer des cultures ou des pâturages ; elle est alors remplacée par des Sporobolus, des bambous *(Arundinaria alpina)* et *Adenocarpus mannii.*

Au-dessus de 1 200 m, l'ensemble du plateau bamiléké et une partie du plateau bamoun sont concernés par des formations montagnardes à semi-montagnardes dont les espèces caractéristiques sont *Albizzia gummifera, Carapa grandiflora* et *Syzigium standii.* Sur le plateau bamiléké, il ne subsiste plus aucune forme de la végétation naturelle sinon dans les « bois sacrés » des chefferies, ultimes témoins d'une couverture forestière dense. Le paysage a été entièrement transformé par l'homme en un bocage caractéristique du pays et de la personnalité de ses habitants. L'introduction de haies vives dans le paysage répond à deux nécessités : – isoler les champs et l'habitation tant sur le plan de la protection de la propriété que pour éviter la divagation du petit bétail dans les cultures, – fournir du bois de chauffage. Ces haies sont le plus souvent continues (l'accès aux cases ou aux champs se fait par des échaliers) et enserrent des chemins creux ; les espèces les plus communes sont des Ficus, Dracena, Pandanus, espèces bouturées et, d'introduction plus récente (1945, d'après J. Hurault), *Eucalyptus saligna* extrêmement répandu et qui a remodelé le paysage phytogéographique de cette région. Le fond des vallées est colonisé par les galeries de palmiers Raphia très denses *(Raphia vinifera, Raphia humilis).* Parfois associées aux cultures vivrières, les cultures pérennes, tel le café arabica, souvent accompagnées de leurs légumineuses d'ombrage, donnent à ces régions un aspect verdoyant permanent.

Sur les sommets de l'Ouest et de l'Adamaoua, on a des pâturages assez dégradés par les troupeaux de bovins et où domine *Sporobolus pyramidalis.* Au-dessus de 2 000 m, principalement vers les sommets des Bamboutos, de l'Okou ou du Tchabal Mabo, on a des pâturages à *Sporobolus montanus* et autres espèces herbacées caractéristiques des îlots subalpins.

Enfin, il faut ajouter que ces pâturages ou « prairies afro-subalpines » n'existent en dessous de 3 000 m que pour avoir remplacé la forêt originelle dans la bande 2 000-3 000 m soit qu'élevage et feux de brousse aient commandé cette disparition, soit, dans le cas du Mont Cameroun, que les coulées de lave l'aient anéantie.

Les savanes herbeuses et arbustives soudano-guinéennes

Mais l'essentiel du bassin de la Sanaga est couvert par les savanes périforestières se rattachant globalement à la zone soudano-guinéenne.

La zone post-forestière appelée aussi congo-guinéenne

La transition entre les peuplements forestiers et la savane qui s'étend au nord est très brutale. Il subsiste encore des îlots de forêt à Sterculiacées et des forêts galeries. Dans les savanes, le tapis graminéen est à base d'andropogonées (à *Hyparrhenia rufa* en premier lieu, parfois *Loudetia glabra*). Les arbres et arbustes sont des *Bauhinia thoningii, Annona senegalensis, Albizzia div.* (dont *A. Zygia*), *Entada abyssinica, Hymenocardia acida, Lannea sp., Lophira lanceolata, Psorospermum*

febrifugum. Cette savane est régulièrement parcourue par le feu pendant la saison sèche et s'étend vers le sud aux dépens de la forêt à Sterculiacées le long des routes. Il semble que, vers l'intérieur du pays, vallées de la Sanaga, du Pangar, Djerem, etc., les progrès de la savane soient ralentis et même que la forêt reprenne possession de son domaine perdu.

Le survol de ces régions met en évidence de larges interfluves de savanes arbustives, le réseau hydrographique étant dessiné par des forêts galeries dont la largeur diminue quand on remonte vers le nord. On peut faire les distinctions suivantes :

1° savanes herbeuses à *Pennisetum purpureum* (sissongo) résultant de la destruction des lisières de la forêt ;
2° savanes herbeuses à *Imperata* d'origine agricole ;
3° savanes chétivement arbustives à *Annona senegalensis* et *Bridelia ferruginea*, arbustes isolés au milieu d'un tapis de grandes herbes *(Hypparhenia)* qui dépassent 2 m de hauteur en fin de saison des pluies ;
4° savanes arbustives à *Terminalia glaucescens* au feuillage cendré avec tapis herbeux plus diversifié et plus important et arbustes plus variés avec quelques éléments plus communs dans l'Adamaoua ou plus au nord avec, par exemple, des peuplements de rôniers au confluent Mbam-Sanaga.

Les galeries forestières comprennent nombre d'espèces de la forêt semi-décidue (semi-caducifoliée) à Sterculiacées et on peut légitimement penser que les limites des savanes arbustives décrites ici qui se situent *grosso modo* vers 6° de latitude nord correspondent aux limites septentrionales de destruction ancienne de la forêt à Sterculiacées.

Les savanes arbustives soudano-guinéennes de transition et de l'Adamaoua

Au nord de cette limite, on convient de distinguer une zone de savane imprécise où l'on voit disparaître les îlots forestiers. Quelques espèces s'avançant en savane périforestière deviennent ici plus fréquentes, *Daniellia oliveri* (kaharlahi) ; de nouvelles espèces apparaissent annonçant la flore de l'Adamaoua ou même une flore soudanienne, *Burkea africana* (kokobi). Les galeries forestières s'étirent au fond de ravins encaissés, ne comprennent plus que quelques espèces ligneuses de forêt plus méridionales. Des espèces particulières, telles *Aubrevillea kerstingii, Cynometra sp., Syzygium guineense*, apparaissent. Isolées dans leurs bas-fonds, ces galeries sont protégées des feux de brousse mais attaquées depuis peu par l'homme qui les soumet à des défrichements agricoles importants.

Plus au nord, entre 800 à 1 000 m d'altitude, le plateau de l'Adamaoua est creusé de petites dépressions boisées, mais surtout couvert de vastes savanes herbeuses souvent anthropiques ou de prairies à graminées parsemées d'arbres ou d'arbustes se rattachant par les espèces soit à la zone de transition située au sud, soit aux savanes arborées soudaniennes. Ce dernier paysage est parfois illustré par des peuplements purs de grands *Daniellia oliveri.* La flore herbacée est encore essentiellement à base d'Andropogonées ; des pelouses à Sporobolus en constituent une forme dégradée due au pâturage. Le passage avec les formations d'altitude de l'Adamaoua est insensible. En effet la zone située entre 1 000 et 1 200 m est favorable au développement du bétail (500 000 bœufs, chevaux, chèvres...) en raison de bonnes conditions sanitaires et de l'absence de glossines. Cette forte densité de l'élevage conduit à observer un paysage uniformisé de savanes herbeuses et prairies consacrées d'autant plus au pâturage que les zones favorables à l'agriculture sont rares (abondance de cuirasses et de sols ferrallitiques très évolués). Au-dessus de 1 000 m, toute trace de forêt a aujourd'hui disparu ; c'est le seul critère distinctif apparent d'une zonalité altitudinale à ce niveau.

Citons enfin les formations purement édaphiques comme celles des « bowe » [1] de Meiganga avec une maigre végétation de graminées et de xérophiles *(Allotrepsis semialata)*, des prairies à *Urelytrum tyrsioïdes.* Les galeries forestières rappellent celles de la zone de transition mais sont moins étendues.

1.4. Esquisse géologique du bassin de la Sanaga

Le socle précambrien ou « formation de base » domine dans le bassin de la Sanaga. Les « formations de couverture » sont en proportion d'assez faible étendue et datent au plus du Crétacé ; elles sont constituées pour l'essentiel de roches volcaniques.

Nous ne revenons pas sur l'histoire géologique de ces régions et limiterons cette esquisse géologique à une description sommaire des formations observées.

I. Le socle précambrien

A) La série du Lom

Cette série est localisée à l'est du bassin de la Sanaga, presque exclusivement dans la vallée du Lom, d'où son nom. Elle forme une vaste bande orientale nord-est, sud-ouest, de 10 à 30 km de large et 200 km de long.

(1) Un bowal, des bowe : sol tropical induré en surface ; cuirassement ferralitique en affleurement (mots empruntés au Poular, langue parlée dans le Fouta-Djalon en Guinée).

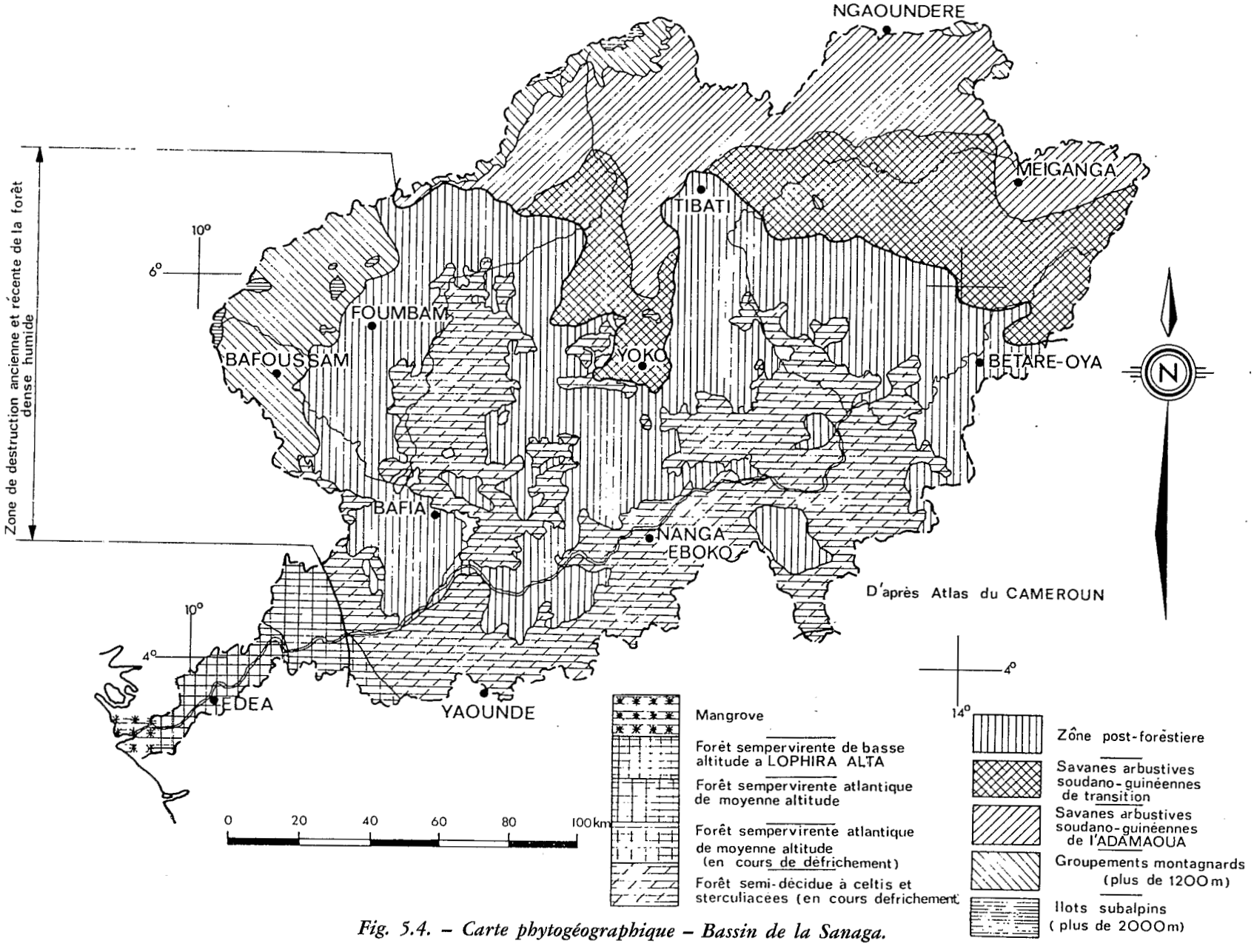


Fig. 5.4. – Carte phytogéographique – Bassin de la Sanaga.

Elle comprend d'anciennes formations sédimentaires, probablement continentales, qui n'ont subi qu'une légère action de métamorphisme peu profond. Très intensément plissées, ces formations ont une direction assez constante, mais il n'en est pas de même de leur pendage.

La série du Lom est discordante sur le complexe de base. Les contacts entre les roches de cette série et du complexe de base laissent supposer un jeu de failles qui aurait provoqué un léger fossé d'effondrement asymétrique, ayant joué après le dépôt de ces formations soit pendant, soit après le métamorphisme.

La série du Lom comprend deux faciès principaux (Soba Djallo – 1969, 1971) :

- Faciès phylliteux : ce sont les séricitoschistes, chloritoschistes et schistes qui prédominent très largement. Cette hétérogénéité donne à la plaine du Lom un relief très caractéristique de schistes compacts ou tendres ;
- Faciès siliceux : ce sont les quartzites qui sont en général interstratifiés dans les schistes. On note une alternance fréquente de ces bancs qui sont plus compacts et forment un relief caractéristique.

Les quartzites de la falaise du Mari, au nord-est de Bétare-Oya forment une entité géologique plus importante.

Ces quartzites du Mari se trouvent stratigraphiquement au-dessous des schistes proprement dits avec mêmes directions et même pendange vers l'est. Il n'est pas impossible que ces niveaux forment une série plus jeune que celles des schistes du Lom et appartiennent à un étage supérieur du Précambrien.

Ces formations du Lom ont été traversées par des intrusions granitiques et aussi doléritiques. En relation avec ces intrusions, il existe dans tout le complexe du Lom un réseau dense de filons.

A cause de leur discordance avec le complexe de base, on a rapproché les conglomérats de Tibati de la série du Lom, bien qu'il n'a pu leur être donné d'âge ; leurs affleurements sont situés au nord-ouest de Tibati. Ces formations se présentent en grands blocs semblant posés sur la pénéplaine latéritique. La roche est très hétérogène : les galets sont de forme, de nature et de taille très diverses, le ciment est arkosique, il est peu métamorphique et écrasé.

B) Le complexe de base

Le complexe de base est formé d'un grand ensemble de schistes cristallins constitués d'ectinites et migmatites et de roches éruptives anciennes concordantes ou subconcordantes représentées essentiellement par des granites syntectoniques.

Ce complexe forme la presque totalité du bassin.

a) Les roches cristallophylliennes

Cette série comprend essentiellement les ectinites et les migmatites. Il s'agit d'anciens sédiments probablement marins, si l'on considère la grande étendue de leur dépôt. A ces sédiments, se sont associées des roches éruptives, simultanément et postérieurement à l'époque où l'ensemble a été entièrement transformé en roches cristallophylliennes par un métamorphisme profond et des plissements intenses.

Une partie de ces ectinites a été fortement migmatisée en embréchites et anatexites, le terme le plus poussé de la migmatisation étant le granite d'anatexie.

Les ectinites et migmatites sont observés à la périphérie de l'Adamaoua, constitué lui-même principalement de roches granitiques :

1°) Ectinites

Les micachistes inférieurs sont représentés par une large bande est-ouest au nord de Nanga-Eboko, auprès des villes de Saa au nord de Yaoundé et de Ngambé. Les faciès de ces roches sont constants, faciès micaschistes et faciès quartzites. Ces roches ont en général les mêmes directions de plissement que les autres ectinites du complexe de base.

Les gneiss supérieurs et inférieurs sont représentés de part et d'autre de la vallée du Lom et principalement à l'est de Nanga-Eboko et au nord d'Abong-Mbang, ainsi qu'une large bande partant de Ndikiniméki que la Sanaga entaille de Kikot à Edéa.

Ces roches sont finement liées et de compositions très voisines. Les éléments essentiels sont la biotite seule ou la biotite et la muscovite avec de nombreuses passées à amphibolite. Les principaux faciès rencontrés sont : gneiss à amphiboles, gneiss à grenats, leptynites, leptynites grenatifères, grenatites, quartzites à minéraux.

Les ortogneiss sont peu représentés, l'on en trouve au coude du Pangar et au nord de Bafia. Il faut également rattacher à ce groupe les ortho-amphibolites et les orthopyroxénites qui dérivent de roches basiques transformées et recristallisées par la métamorphose générale.

2°) Migmatites

Les migmatites sont très étendues, particulièrement dans les régions au nord de Yaoundé, Bafia, Foumbam, Banyo, Tibati.

Le front des migmatites ne semble pas avoir dépassé la zone des gneiss supérieurs.

Elles se présentent avec deux types de texture : la texture œillée et la texture rubannée passant à une texture d'anatexite.

Le faciès le plus banal est constitué par les embréchites dont on voit l'importante extension sur la carte (hors-texte).

Dans la région de Yaoundé, ces formations donnent un relief assez particulier de collines en « pain de sucre » ou en coupoles arrondies.

Les anatexites passent parfois progressivement à un granite franc qui paraît être un granite d'anatexie. Sur la carte, ces massifs ne sont pas toujours séparés des anatexites, on en distingue néanmoins au nord de Bangangté et de Foumbam.

Les embréchites ou anatexites sont à deux micas ou à biotite et amphibole avec les mêmes minéraux accessoires que les ectinites.

Quant au complexe calco-magnésien du sud Cameroun, il n'intéresse que très faiblement le bassin de la Sanaga à la hauteur d'Edéa.

Toutes les formations du complexe de base ont subi les effets d'une orogénèse puissante. Cette tectonique se manifeste soit par des plissements, soit par des systèmes de fractures. La direction des plissements dans le bassin de la Sanaga est nord-nord-est avec de très nombreuses virgations locales. Sur la carte ressort une grande zone faillée depuis Foumbam jusqu'à la Mbere, passant par Tibati.

b) Les roches éruptives et intrusives anciennes

Les formations cristallophylliennes du Précambrien ont été traversées de roches éruptives qui sont principalement des roches granitiques.

Sur la carte apparaît l'extension considérable de ces formations qui englobent la presque totalité du horst de l'Adamaoua et de ses contreforts.

On y distingue :

1°) Les granites syntectoniques anciens

Ces granites sont très importants en étendue. Il est inutile de les localiser : l'étude de la carte est suffisante.

Ce groupe de granites présente les caractères communs suivants :

- concordance ou subconcordance avec les terrains encaissants. Il est rare de trouver une séparation nette entre le cristallophyllien et l'immense batholite. Les contours sont difficiles sinon impossibles à suivre ;
- hétérogénéité de texture et structure sur un même affleurement et *a fortiori* dans tout le massif ;
- hétérogénéité de composition minéralogique. Le type dominant est un granite calco-alcalin et comme pour la structure on observe dans un même massif des roches à faciès variés ;
- enclaves fréquentes. Très caractéristiques, parfois minuscules, parfois en « panneaux », ce sont des lambeaux résiduels de formations cristallophylliennes dans lesquelles les roches granitiques se sont mises en place ;
- orientation de la roche. Cette orientation peut être un simple alignement des ferro-magnésiens, mais plus poussée, elle va jusqu'à la schistosité cristallophyllienne. Elle est due à un écrasement plus ou moins important provenant de la mise en place du batholite lui-même et surtout de la tectonique résultant des phases plus ou moins intenses de l'orogenèse. Les écrasements ont pu être importants allant jusqu'à la recristallisation (orthogneiss) ou simplement à la mylonite.

Enfin dernier trait commun : c'est le cortège des pegmatites et alites qui les accompagnent.

Trois faciès principaux ont été reconnus : faciès grenu banal à biotite, faciès porphyroïde, faciès à deux micas.

2°) Les granites syntectoniques tardifs

Ces granites présentent avec les précédents des caractères communs et, notamment, une composition moyenne, plutôt à tendance alcaline. Comme eux, ils sont parfois concordants et montrent localement quelques enclaves de roches métamorphiques anciennes. Ils en diffèrent cependant par une homogénéité beaucoup plus grande et des orientations beaucoup moins fréquentes ; enfin leurs limites paraissent parfois indépendantes des lignes structurales générales qu'ils recoupent suivant des directions quelconques.

Dans le bassin de la Sanaga, ils se présentent en massifs d'une certaine étendue, les plus importants étant situés l'un au sud-est du bassin de la Sesse, l'autre entre Yoko et Mankim.

On note deux faciès : grenu et porphyroïde.

L'âge des granites syntectoniques anciens et tardifs est mal connu. Mais, d'une part, ces granites sont nettement intrusifs dans la série du Lom, d'autre part, ils n'ont pas été retrouvés dans les séries supérieures du Précambrien. On peut donc penser que ces intrusions sont du Précambrien moyen.

D'autres roches non granitiques se sont également mises en place dans les séries précambriennes :

- les syénites dont deux grands massifs bien individualisés sont situés au nord de Linte,
- les diorites qui sont observés au nord de Nanga-Eboko.

3°) Les granites post-tectoniques

Ce sont des granites nettement discordants, très homogènes, sans orientation ni fracture importante. La roche a une texture normale et la composition chimique est différente des types moyens de granites anciens : ce sont des granites alcalins et hyperalcalins.

Ces massifs n'ont subi aucune tension et sont donc postérieurs au métamorphisme général, à la mise en place des granites concordants et aux phases de plissement : ce sont des granites récents.

Dans le bassin de la Sanaga on connaît quelques pointements de cette série dite série ultime : au nord de Bétaré-Oya, le massif de Kongolo, intrusif dans la série du Lom et les granites syntectoniques anciens et dans la région de Mayo Darle et sur le bassin de la Mape.

Toutes les roches précambriennes et particulièrement celles du complexe de base ont été affectées de plissements, de failles et d'écrasements dus à plusieurs orogenèses et mises en place des batholites de roches éruptives.

Ces écrasements se sont traduits sur ces formations par des structures cataclastiques et des broyages dont les termes les plus poussés sont les mylonites.

Les roches mylonitisées sont donc très banales dans les séries cristallophylliennes et les roches éruptives (sauf pour celles des venues ultimes).

II. LES FORMATIONS DE COUVERTURE

A) Les roches intrusives et effusives récentes

Le Tertiaire et le Quaternaire ont vu une grande activité volcanique, localisée surtout le long de la fracture du Cameroun et aussi à l'est de cette ligne dans la région de Ngaoundere.

Pour cet ensemble, il a été distingué, par ordre chronologique, les trois grandes phases éruptives suivantes :

a) *La série noire inférieure,* composée de basaltes et d'andésites reconnaissables par leur altération très avancée, s'est épanchée à une distance assez grande des centres d'émission présumés. Ces venues de type fissural ne montrent pas d'appareil volcanique. Les quatre cinquièmes des surfaces recouvertes de laves peuvent lui être attribués. Son âge doit se situer au Crétacé tout à fait terminal ou peut-être à l'Éocène.

b) *La série blanche moyenne,* essentiellement composée de trachytes et phonolites, avec des faibles intercalations rhyolitiques et basaltiques, recouvre partiellement la précédente ; peu altérée et formant des reliefs bien conservés, elle doit être attribuée au Néogène.

c) *La série noire supérieure,* exclusivement composée de roches à faciès basaltique. Elle se distingue par la prédominance des produits pyroclastiques non altérés et par la parfaite conservation de ses édifices. Son âge est certainement Quaternaire.

A l'ouest du bassin de la Sanaga, le long de la fracture du Cameroun, la Série noire inférieure est représentée par le manteau volcanique qui recouvre les hauts plateaux de Dschang et Bafoussam et le haut plateau de lave de Jakiri à Nkambe. Cette série noire inférieure sert de base à la Série blanche moyenne, représentée par les Monts Bamboutos, les Monts de Bamenda dans leur prolongement vers le nord et une partie du haut-plateau avec la base du Mont Oku. A l'inverse de ce dernier, les Monts Bamboutos et de Bamenda ne semblent pas avoir été affectés par le volcanisme Quaternaire.

A l'est du manteau volcanique, on distingue trois massifs au relief surimposé et bien individualisé où les trois Séries se retrouvent : le Mbam, le Nkogam et le Mbapit, ce dernier ayant recouvert la région avoisinante sur une épaisseur pouvant dépasser 2 m de matériaux pyroclastiques de la Série noire supérieure.

Il semble que la mise en place du Mbam et du Nkogam ait été accompagnée de mouvements verticaux du socle et que ces massifs constituent des horsts.

Dans la région de Banyo-Mayo Darle, dykes, necks et coulées représentent les trois Séries. Ces épanchements sont dus au rejeu des grandes cassures qui ont provoqué l'effondrement de la plaine de Tikar et le soulèvement du Haut-Plateau.

A la hauteur de Ngaoundere, des Monts Gotel au fossé de la Mbere s'étend presque sans interruption une couverture basaltique qui, dans le bassin de la Sanaga, intéresse le Tchabal Mbabo, les hauts bassins de la Vina et du Djerem. Des coulées récentes s'observent dans certaines vallées actuelles et se reconnaissent à leur manque d'altération (Vina). Entre basaltes anciens et basaltes récents doivent se situer les trachytes et phonolites, observés surtout en pointements péléens. A ces trachytes et phonolites, il faut associer un pointement de rhyolite entre la Vina et Ngaoundere.

B) Les formations sédimentaires

a) Série sédimentaire côtière – La Sanaga inférieure découpe une étroite bande dans le bassin sédimentaire côtier de Douala.

Au contact sédimentaire-cristallin, on observe une série d'affleurements de petites dimensions formés de marnes et calcaires fossilifères épais d'une quarantaine de mètres ; allant du Turonien au Campanien inférieur, la succession paraît continue bien que peu épaisse.

Le recouvrement en concordance apparente par les grès et argiles continentaux de Dizangue, semble indiquer qu'au régime marin du Campanien inférieur succèdent une régression et un épisode continental dès le Campanien supérieur.

La série de Dizangue est essentiellement continentale, débute par un petit conglomérat et se poursuit par des grès friables, fins ou grossiers avec intercalation de grès kaolinique, d'argile et grès ferrugineux. Les stratifications entrecroisées sont la règle dans ces grès.

Cette série dépourvue de fossiles peut correspondre au sommet du Crétacé, au Paléocène et peut-être à l'Éocène inférieur.

Puis viennent des sables souvent grossiers, parfois marneux à intercalations ferrugineuses fréquentes, passant à des argiles peu bariolées. Dépourvus de fossiles, ils reposent en discordance sur toutes les séries et donc datés, pour cette raison, par analogie avec les régions voisines, du Plio-Pleistocène.

Sables côtiers, vases noires de la mangrove et alluvions récentes des fleuves représentent les sédiments actuels.

b) Formations en dehors de la zone côtière – Le Crétacé moyen est représenté par des formations continentales dans le bassin du Haut-Djerem. Il s'étend sur 65 km de long et une dizaine de large. On y distingue une succession de grès noirs très fins, de grès fins beiges et de grès conglomératiques, grossier arkosique.

Quant aux autres formations, elles sont récentes, ce sont des alluvions, éluvions et latérites.

Les alluvions ont une faible extension, elles constituent les flats dans les multiples biefs successifs coupés de chutes et rapides et ne sont bien représentées que dans les plaines de Ndop, Mbo, Tikar, de la Vina et les cuvettes marécageuses : Tibati, etc.

1.5. Pédologie du bassin de la Sanaga

C'est aux cartes pédologiques au 1/1 000 000, du Cameroun Oriental, dressées par D. Martin et P. Segalen, et du Cameroun Occidental, dressées par M. Vallerie, que sera emprunté, ici aussi, l'essentiel des données ci-après.

De l'interaction des facteurs pédogénétiques résulte un certain nombre de processus de formation du sol qui vont intéresser, à des degrés divers, les sols du bassin de la Sanaga. Ces processus ont été décrits dans la première partie.

La comparaison des conditions géographiques générales qui intéressent le bassin à l'heure actuelle avec la répartition des sols permet d'aboutir aux conclusions suivantes.

Les sols ferrallitiques occupent la quasi-totalité du bassin. Quelle que soit l'altitude, le détail des conditions climatiques, la ferrallitisation est le processus dominant. En altitude, l'accumulation de la matière organique se superpose à ce processus. Dans l'est, et dans l'Adamaoua, le cuirassement envahit le paysage. En différents points, l'ensemble des caractéristiques propres à la ferrallitisation n'est pas rempli et l'on aura des sols faiblement ferrallitiques. Dans différents secteurs de l'ouest et de l'Adamaoua, la jeunesse des sols (dérivés de matériaux récents) fait qu'ils sont rangés dans la classe des sols peu évolués ou dans celle des sols à mull. Dans quelques vallées ou plaines inondées, se développent des sols hydromorphes.

Il a paru intéressant de décrire les répartitions géographiques des sols sur le bassin de la Sanaga, illustrée par ailleurs dans la carte de la figure 1.5, suivant la classification retenue.

La classification des sols utilisée est celle mise au point à l'ORSTOM par G. Aubert (1963). Elle dérive de celle présentée par Aubert et Duchaufour lors de la VI[e] Conférence Internationale des Sols à Paris en 1956. Des dix classes qu'elle comporte, cinq sont présentes sur le bassin. Mais c'est de loin la classe VIII des sols à sesquioxydes qui est la plus largement représentée avec la sous-classe des sols ferrallitiques.

Les sols hydromorphes ont été ordonnés suivant la nouvelle présentation de cette classe à la suite de la réunion des pédologues ORSTOM qui s'est tenue en septembre 1964 et qui a préconisé la subdivision en trois sous-classes : sols hydromorphes organiques, moyennement organiques et minéraux.

A) Classe I : les sols minéraux bruts

Les sols appartenant à cette classe sont des sols d'origine non climatique et sont le résultat de *l'érosion.* Deux unités ont été reconnues.

a) I_1 – *Les sols minéraux bruts non climatiques d'érosion sur roches diverses*

Les roches sont le plus souvent des roches plutoniques (granites) ou métamorphiques (migmatites). Elles affleurent très largement dans le bassin. Elles peuvent constituer des inselbergs isolés (un peu partout dans le nord-ouest, mais également dans différentes autres parties du pays). Elles ne peuvent être représentées alors sur la carte. Différents massifs de faible étendue, constitués d'autres roches, existent ailleurs : rhyolites en bordure de la plaine Tikar, par exemple. Ces roches se présentent sous forme de vastes dômes lisses, ou bien d'un amoncellement de boules juxtaposées, auxquelles sont associés des sables grossiers provenant de la desquamation de ces roches.

b) I_3 – *Sols minéraux bruts non climatiques d'érosion sur cuirasse ancienne alumineuse*

Dans diverses parties du bassin, affleurent sur de vastes surfaces des cuirasses qui, par le jeu de l'érosion, se trouvent constituer des ensembles à bord net et dominant le reste du pays de quelques mètres ou de quelques centaines de mètres. Cette situation topographique fait que ces formations ne peuvent résulter d'une pédogenèse actuelle, mais constituent un héritage d'un passé lointain. Ces cuirasses peuvent être observées dans la moitié nord.

Le cuirassement alumineux est une caractéristique de la partie de l'Adamaoua située entre Ngaoundere et Tibati et proche des localités de Bagodo, Minim et Martap. Ces cuirasses couronnent des plateaux assez allongés fortement disséqués par l'action des rivières, profondément enfoncées (100 à 200 m environ). Elles forment sur les bords une véritable corniche d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Elles sont occupées par une savane assez lâche dont les arbres poussent leurs racines dans les interstices des blocs. Ces cuirasses, par leurs teneurs élevées en alumine, peuvent être qualifiées de bauxitiques. Elles ont fait l'objet de sondages par le B.R.G.M.

La très faible épaisseur de sol meuble en surface, la très forte épaisseur de la cuirasse, la situation topographique font que cette formation doit être considérée comme très ancienne et, de ce fait, a été rangée dans les sols minéraux bruts sur cuirasse ancienne.

B) Classe II : les sols peu évolués

Ces sols sont caractérisés par un profil AC où les horizons A et C sont déjà bien individualisés. Les sols de cette classe appartiennent à la sous-classe des sols d'origine non climatique et ils dérivent des roches en place ou apportées par les eaux ou les vents. Ce sont les sols d'érosion et les sols d'apport.

Les sols d'érosion lithiques sont divisés en deux familles sur roches acides et sur roches basiques.

a) II_1 – *Sols peu évolués d'érosion sur roches acides*

Ces sols sont répandus dans le nord du bassin, dans les zones où les pentes sont fortes, la couverture végétale assez clairsemée et l'action dégradante de l'homme importante, tandis que la pluie tombe en orages puissants.

b) II_2 – *Sols peu évolués d'érosion sur roches basiques*

Les sols peu évolués sur roches basiques peuvent être observés dans différentes zones où affleurent les basaltes dont dérivent des sols peu épais caillouteux. On peut en observer dans le pays Bamoun.

c) II_3 – *Sols d'apport sur cendres basiques*

Dans la vallée du Noun et aux alentours, des volcans au dynamisme vulcanien ont émis en abondance des cendres (de nature basaltique) qui se sont déposées autour des centres d'émission où leur épaisseur atteint plusieurs mètres. Transportées par les vents, elles ont « saupoudré » des étendues considérables. En particulier, le pays Bamiléké a vu ses sols rajeunis superficiellement par des apports minéraux nouveaux, ce qui explique en partie le développement de l'agriculture dans ce pays. Ces matériaux cendreux ont été déposés à une époque assez récente, leur altération est encore peu avancée, et les profils sont généralement peu épais. Ils sont développés entièrement sur la cendre ou bien constituent une épaisseur modeste sur un sol ferrallitique déjà fortement développé. Leur indication sur la carte à 1/1 000 000^e n'était pas possible, mais ces sols sont très importants à connaître. Leur mise en culture est effectuée pour la plantation des caféiers ou cultures vivrières diverses.

d) II_6 – *Sols à tendance hydromorphe sur alluvions marines*

Il s'agit de sols occupés par la mangrove, fréquents à l'embouchure de tous les estuaires depuis le Wouri au nord jusqu'au Ntem au sud. Ils n'ont pas fait l'objet de travaux particuliers.

C) Classe IV : les sols à mull

Dans cette classe, on a reconnu des sols bruns eutrophes modaux dérivés de roches volcaniques basiques. Il s'agit de sols dérivés de basalte (en coulées généralement peu étendues) dont l'âge est assez récent. Ces sols présentent une évolution beaucoup moins avancée que ceux de la classe VIII, mais plus que celle de la classe II, tant par le développement morphologique que par les propriétés physiques et chimiques. Ils sont situés dans la zone tropicale d'altitude (Bamiléké, Bamoun et Adamaoua).

D) Classe VIII : les sols à sesquioxydes

Ils sont représentés par les sols ferrallitiques comprenant différents groupes qui sont détaillés successivement ci-après :

a) Sols faiblement ferrallitiques

1°) $VIII_{11}$ et $_{13}$ – *Sols faiblement ferrallitiques modaux sur roches acides*

Ces sols sont bien représentés dans l'est-Cameroun et dans l'Adamaoua, depuis le nord de Bertoua jusqu'à Banyo en passant par Ngaoundere.

Ils paraissent occuper le plus souvent des zones de raccordement entre surfaces d'aplanissement d'âges différents ou des surfaces intermédiaires. Le relief de collines irrégulières est toujours très accidenté, les affleurements rocheux sont fréquents et la pédogenèse semble récente.

La végétation est toujours une savane assez ouverte.

2°) Sous-groupe des sols faiblement ferrallitiques ferrisoliques

$VIII_{14}$ – *Sols sur roches acides*

Ces sols n'occupent que de faibles superficies dispersées dans le sud, particulièrement au nord de Yaoundé. On trouve ces sols sur des types de relief très variés, aussi bien sur des collines à fortes pentes que sur des pentes faibles, dans un modelé d'aplanissement.

La végétation n'est pas caractéristique et peut être aussi bien la forêt que la savane.

$VIII_{15}$ – *Sols sur roches basiques*

Dans la partie ouest du Cameroun oriental, aux dernières nappes hawaïennes très fluides ont succédé des manifestations de type strombolien qui ont émis, dans les vallées, des coulées filiformes de plusieurs kilomètres de long. Ce basalte de vallée supporte des sols beaucoup plus évolués que ceux de la classe III, mais beaucoup moins que celui des plateaux qui appartiennent à la classe VIII. Ils sont assez fréquents dans la région Bamoun et sont généralement très bien drainés. La végétation est du type savane.

b) Groupe des sols ferrallitiques typiques

1°) Sous-groupe des sols brun-jaune

$VIII_{16}$ – *Sols sur roches diverses*

Ces sols ont été reconnus en divers secteurs du Centre-Cameroun, particulièrement au nord de Yoko, autour de Garoua-Boulaï et au sud de Ngaoundere. Jusqu'à présent, on ne les a vus que sur la surface d'aplanissement 900-1 100 m, où l'on observe un modelé de collines ou de plateaux fortement disséqués par le réseau hydrographique ; les profils les plus typiques sont observés en topographie plane.

La végétation est une savane arborée, souvent à *Lophira alata* et à forte végétation graminéenne d'*Hyparrhenia rufa.*

2°) Sous-groupe de sols ferrallitiques typiques rouges

$VIII_{17}$ – *Sols sur roches acides*

Les sols ferrallitiques typiques rouges sur roche acide sont très bien représentés dans tout le centre

et le sud, entre Foumbam et Abong-Mbang, en passant par Nanga-Eboko et Bertoua. Il est cependant possible qu'à la suite d'études plus approfondies, certains secteurs de cette vaste région passent dans la catégorie des sols ferrallitiques indurés.

La morphologie de toute la région occupée par ces sols est très homogène : il s'agit le plus souvent d'une succession monotone de collines en demi-oranges qui, par leur forme et leur altitude relativement constante sur de grandes surfaces, sont typiques de cette région de la zone équatoriale.

La végétation n'est pas caractéristique de ces sols, que l'on trouve aussi bien en forêt qu'en savane.

$VIII_{18}$ – *Sols sur rochers basiques*

Les sols ferrallitiques rouges se développent sur tous les « vieux basaltes », c'est-à-dire sur les anciennes nappes hawaïennes que l'on observe sur les plateaux Bamiléké, Bamoun ou de l'Adamaoua. L'âge de ces basaltes est variable et va du Crétacé, pour les plus anciennes, à une période relativement récente qu'on peut estimer au quaternaire ancien.

Ces sols occupent donc généralement des sommets de plateaux où le drainage est toujours bon, sans qu'on identifie de traces d'hydromorphie. La végétation actuellement observée est une savane arborée très lâche. Les feux de brousse y passent tous les ans.

3°) Sous-groupe des sols jaunes

$VIII_{19}$ – *Sols sur roches sédimentaires*

Ces sols occupent toute l'auréole du bassin sédimentaire de Douala, coupé par la Sanaga inférieure.

Morphologiquement, la région est caractérisée par une succession de plateaux, plus rarement de collines à sommet aplani, présentant facilement des dénivellations de 30 à 50 m par rapport au réseau hydrographique.

La végétation naturelle est forestière, mais les plantations (palmier à huile, hévéa) sont nombreuses.

$VIII_{20}$ – *Sols sur roches acides*

Ces sols intéressent le bassin de la Sanaga en aval de Kikot jusqu'à Edéa.

Le relief est assez variable dans toute cette zone, mais on observe les sols les plus typiques sur des modelés d'aplanissement généralement très bien disséqués par un réseau hydrographique dense.

La végétation est toujours forestière avec tous les intermédiaires possibles entre la grande forêt et les plantations arbustives, en passant par des forêts secondaires et des brousses et jachères forestières.

c) Groupe des sols ferrallitiques humifères

$VIII_{21}$ – *Sols sur basalte*

Les sols ferrallitiques humifères existent sur les hauteurs volcaniques de la partie ouest du Cameroun oriental, là où l'on observe des roches basiques, des pluviométries élevées (2 à 3 000 mm) et des températures assez fraîches, à une altitude généralement supérieure à 2 000 m (Monts Bamboutos, de Bamenda, Mont Oku). La végétation est une forêt dense assez basse qui disparaît pour faire place à la savane d'altitude.

Le drainage est normalement assuré.

d) Groupe des sols ferrallitiques indurés

$VIII_{22}$ – *Sols sur roches acides*

Ces sols sont particulièrement bien représentés dans la partie est du bassin.

Ces sols ferrallitiques indurés peuvent occuper des positions topographiques particulières dans certains paysages, mais le plus souvent ils représentent l'ensemble des sols en dehors des bas-fonds : dans ce dernier cas, le modelé de détail peut prendre aussi bien la forme « plateau » que la forme colline à profil convexe (demi-orange).

On trouve ces sols aussi bien en forêt qu'en savane ; ces sols résultent souvent d'une pédogenèse ancienne sans rapport avec le climat et la végétation actuelle.

$VIII_{23}$ – *Sols sur roches basiques*

Des sols indurés ont été observés sur roches basiques sur les plateaux Bamiléké ou Bamoun. De nombreux sols présentent une induration à une profondeur plus ou moins importante. La position topograpique est soit un plateau, soit un ensellement.

E) Classe X : les sols hydromorphes

a) X_1 – *Sous-classe des sols hydromorphes organiques ou tourbeux*

Ces sols sont assez répandus et finissent par représenter des surfaces assez importantes dans certaines vallées où le drainage est fortement contrarié pour des causes d'ordre essentiellement géologique. Le plan d'eau se maintient constamment élevé, mais est suffisamment mince pour ne pas empêcher le développement de végétaux : forêt marécageuse ou bien prairie aquatique. Le sol se constitue par accumulation de matière organique peu décomposée reposant sur des horizons de gley. Ce type de sols correspond aux grands marais de la partie centrale de la vallée du Haut-Noun (plaine de Ndop), et de la Vina, etc.

X_2– *Sols hydromorphes moyennement organiques*
– *Groupe des sols humiques à gley*
– *Sous-groupe à pédoclimat chaud*

Les sols moyennement organiques occupent des sites voisins et analogues aux précédents. Toutefois, ils en diffèrent par le fait qu'ils sont évacués par les eaux, pendant une période assez courte de deux mois environ. La végétation est actuellement de type prairie aquatique susceptible d'être mise à feu lors de la période d'assèchement. Une zone caractéristique est la vallée du Noun et celles de plusieurs de ses affleuents (Nafoumba, Maouat).

Ces sols, une fois drainés et assainis, peuvent être utilisés pour des pâturages ou bien en riziculture.

b) Sous-classe des sols hydromorphes minéraux d'ensemble

Groupe des sols à pseudo-gley

X_3 – *Sols à pseudo-gley d'ensemble*

Dans les divers biefs n'ayant pas de lit majeur défini, les sols sont périodiquement inondés et présentent, dans l'ensemble de leur profil, des marques d'hydromorphie : taches, concrétion, qui permettent de les ranger dans les sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley. Les différences y sont nombreuses, car les matériaux originels varient suivant les zones d'alluvionnement. On observe des sols argileux à sableux grossiers. Les sols sont envahis par les eaux au moment des crues ; ils se ressuient assez bien pendant la saison sèche.

2. FACTEURS CLIMATIQUES

Le bassin de la Sanaga se trouve dans une zone climatique de transition ; il est principalement intéressé par les régions climatiques suivantes :

- la région des plateaux de l'Adamaoua, au climat tropical (variété de montagne) ;
- la région montagneuse de l'ouest au climat tropical d'altitude avec influence océanique ;
- la région des savanes du Centre au climat tropical de transition à grande saison sèche ;
- la région forestière du sud au climat équatorial ;
- les régions côtières du nord et du sud, de part et d'autre de la Sanaga inférieure, subissant des variantes océaniques du climat équatorial.

Nous ne revenons pas sur les variations saisonnières de la position du FIT et les mécanismes déterminants du climat. La situation latitudinale des différentes zones (A, B, C, D) définies dans la première partie est cependant précisée ci-après pour le bassin de la Sanaga.

La position extrême nord atteinte par la limite entre les zones C et D est environ 5° 30'N (Yoko – Betare-Oya). Il y aura donc pour la région située au nord de ce parallèle une saison des pluies et une saison sèche dans l'année, la passage des zones A et B donnant la saison sèche et celui de la zone C donnant la saison des pluies : **c'est le régime tropical.**. On note qu'au voisinage nord du parallèle 5° 30' il peut y avoir, avec les fluctuations du FIT autour de sa position moyenne, influence de la zone D, c'est-à-dire un palier dans la courbe des précipitations vers le mois de juin ou juillet. C'est la **transition** entre le régime tropical et le régime équatorial.

Au sud de ce parallèle, il y aura deux saisons des pluies et deux saison sèches, de durées inégales.

On observe, en effet deux passages de la zone pluvieuse C, séparés par celui de la zone D de faibles précipitations qui donne la petite saison sèche : c'est le régime équatorial.

La pluie étant le phénomène météorologique principal, intéressant les hydrologues, on est amené à distinguer de la même façon un climat tropical et un climat équatorial. Des conditions locales de relief (Dorsale camerounaise) ou la proximité de l'Océan peuvent modifier plus ou moins les caractéristiques des deux régimes. Nous aboutissons ainsi, par une simplification du schéma des météorologistes, à définir pour le bassin de la Sanaga trois types de régimes pluviométriques : tropical de l'ouest, tropical de transition, équatorial de transition.

On traitera successivement de l'étude des principaux paramètres climatologiques puis de celle des précipitations.

Les caractéristiques des stations sont données dans le tableau 5.2 (a et b).

2.1. Étude des principaux paramètres climatologiques

2.1.1. Vents

Vitesse des vents

Les mesures sont effectuées trois fois par jour à 6 h 00, 12 h 00 et 18 h 00, les vitesses notables étant le plus souvent enregistrées à 12 h 00.

Le tableau 5.3 rassemble en six classes de vitesses, allant de $V \leqslant 1$ m/s à $V < 21$ m/s, les résultats en % des observations totales. D'après ce tableau on peut noter une tendance à la diminution de la durée des calmes $V < 1$ m/s pour les stations les plus septentrionales où l'action de l'harmattan est la plus sensible. Mais l'on ne peut tirer de conclusion nette du fait de l'hétérogénéité du parc de l'appareillage et la hauteur au-dessus du sol. En plus s'ajoutent les influences orographiques locales : altitude et exposition.

On peut noter que les vents sont rarement très violents (sauf avant les « tornades »).

Directions des vents

L'étude de la fréquence des directions des vents conduit à dresser le tableau 5.4. indiquant les directions et quadrants prépondérants en saison sèche (grande saison sèche pour le sud du bassin) et en saison des pluies et les deux directions les plus observées au cours de l'année.

Tableau 5.2a. – Caractéristiques des stations pluviométriques et météorologiques.

Station	Latitude N	Longitude E	Altitude m	Nature des observations autres que la pluviométrie
Makak	03°33'	11°02'	650	*
Eséka	03°37'	10°47'	423	* T V U P
Edéa	03°48'	10°08'	31	T V U P
Yaoundé	03°50'	11°32'	783	T V U P B I
Manoka	03°51'	09°37'	4	
Abong-Mbang	03°58'	13°12'	694	* T V U P
Sakbayeme	04°02'	10°34'	230	
Douala	04°04'	09°41'	12	* T V U P I
Evodoula	04°05'	11°12'	574	
Obala	04°10'	11°33'	540	
Ngambe	04°13'	10°37'	650	T V U P
Batschenga	04°17'	11°39'	522	
Nachtigal	04°21'	11°38'	465	
Saa	04°23'	11°27'	570	
Ndom	04°25'	10°50'	550	
Ntui	04°27'	11°37'	538	
Batouri	04°30'	14°24'	660	* T V U P B I
Yingui	04°32'	10°19'	200	
Bertoua	04°36'	13°41'	668	T V U P
Nanga-Eboko	04°41'	12°22'	624	T V U P
Bafia	04°44'	11°15'	499	T V U P
Ndikinimeki	04°46'	10°50'	830	
Bombi	04°51'	13°29'	650	
Nkonjock	04°52'	10°15'	200	
Mankim	05°01'	12°00'	606	

* : Données pluviométriques non utilisées ici – T : températures – V : vents – U : humidité et tension de vapeur – P : évaporation Piche – B : évaporation sur bac – I : insolation.

Tableau 5.2b. – Caractéristiques des stations pluviométriques et météorologiques (suite).

Station	Latitude N	Longitude E	Altitude m	Nature des observations autres que la pluviométrie
Bangangté	05°09'	10°31'	1 340	
Dschang	05°27'	10°03'	1 382	T V U P
Bafoussam	05°30'	10°24'	1 410	T V U P
Banok	05°29'	10°17'	1 385	* B
Foumbot	05°30'	10°38'	1 100	
Yoko	05°32'	12°19'	1 031	T V U P I
Betare-Oya	05°36'	14°05'	805	T V U P
Koundja	05°37'	10°45'	1 217	T V U P B I
Mantoum	05°39'	11°09'	700	
Kounden	05°42'	10°40'	1 290	
Babadjou	05°42'	10°12'	1 580	
Foumban	05°44'	10°53'	1 238	
Baboua	05°48'	14°50'	994	
Bamenda	05°57'	10°09'	1 618	
Bouar (R.C.A.)	05°57'	15°38'	936	T V U P
Bambui	06°01'	10°17'	1 520	
Ndop	06°01'	10°25'	1 247	
Jakiri	06°06'	10°35'	1 767	
Banso	06°12'	10°40'	1 740	
Mayo-Darle	06°27'	11°32'	1 200	
Tibati	06°27'	12°37'	874	T V U P
Meiganga	06°31'	14°17'	1 027	T V U P
Banyo	06°45'	11°49'	1 110	T V U P
Sarki	06°57'	15°21'	1 081	
Ngaoundere	07°19'	13°35'	1 138	T V U P B I
Tignere	07°23'	12°39'	1 160	

* : Données pluviométriques non utilisées ici – T : température – V : vents – U : humidité et tension de vapeur – P : évaporation Piche – B : évaporation sur bac – I : insolation.

Si pendant la saison des pluies la « mousson » du SW s'étend sur tout le bassin, il n'en est pas de même pour l'« harmattan » de NE en saison sèche, il ne descend que rarement au-dessous d'une ligne Bafoussam, Yoko, Betare-Oya.

Il importe cependant de souligner un fait d'autant plus intéressant qu'il n'est observé que dans certaines portions de la zone équatoriale et présente au Cameroun une netteté remarquable ; il s'agit des fameux vents d'W équatoriaux, qui constituent dans la partie sud du bassin un trait quasi-permanent de la circulation au sein des basses couches atmosphériques. Plutôt que de vents bien définis, il vaut mieux, en fait, parler d'un flux léger de secteur W à SW, compte tenu de la faiblesse et de la variabilité générale des vents. Ce flux se précise, se renforce durant la saison des pluies grâce à la mousson ; mais existe tout aussi bien en grande saison sèche. Ce régime de circulation W en toutes saisons reste difficile à expliquer, peut-être est-il lié à la présence du FEA (Front Équatorial Africain) ?

D'autre part, on note pour les stations du nord du bassin une certaine dispersion ou une déviation par rapport à la direction générale des flux qui semblent dues à des effets orographiques.

2.1.2. Température de l'air

Les valeurs caractéristiques étudiées sont les suivantes :

$\bar{T}_x$: moyenne mensuelle des températures maximales journalières

$\bar{T}_n$: moyenne mensuelle des températures minimales journalières

$\frac{\bar{T}_x + T_n}{2}$: température moyenne mensuelle ou T moy

$\bar{T}_x - \bar{T}_n$: écart diurne moyen mensuel.

Les tableaux résument les variations de ces quatre caractéristiques durant l'année (5.5 et 5.6).

Tableau 5.3. – Vitesse des vents en %.

Station V m/s	⩽ 1	2 - 4	5 - 6	7 - 14	15 - 21	> 21
ESEKA	69,2	26,8	2,99	1,00	6,03	0
EDEA	74,5	23,2	1,99	0,20	0,08	0
YAOUNDE	52,1	40,5	6,31	1,27	0,05	0,05
ABONG-MBANG	84,4	15,9	0,59	0,14	0,03	0
DOUALA	54,1	41,3	4,34	0,33	0	0
NGAMBE	70,2	22,3	5,21	0,02	0	0
BATOURI	63,9	29,2	5,35	1,47	0,08	0,02
BERTOUA	80,4	18,7	1,0	0,1	0	0
NANGA-EBOKO	72,0	25,3	2,21	0,45	0,05	0
BAFIA	67,1	31,4	1,9	0,26	0,08	0
DSCHANG	67,5	28,2	3,31	1,00	0	0
BAFOUSSAM	67,8	24,3	6,62	1,21	0,03	0
YOKO	42,3	47,3	8,39	1,93	0,02	0
BETARE-OYA	44,2	43,5	9,95	2,19	0,19	0
KOUNDJA	37,9	52,3	7,29	2,36	0,13	0
BOUAR	42,1	38,2	11,9	6,8	0,93	0,07
TIBATI	54,4	33,8	7,27	4,14	0,04	0
MEIGANGA	54,2	33,7	9,44	2,68	0,05	0
BANYO	55,2	31,8	9,54	3,99	0,13	0,03
NGAOUNDERE	40,9	42,0	11,8	5,24	0,05	0,01

Les variations spatiales des moyennes annuelles des températures maximales et minimales ont été représentées sur les cartes des figures 5.5 et 5.6.

Température moyenne mensuelle

Les variations des températures moyennes mensuelles ont été reportées dans les figures 5.7 et 5.8 par stations regroupées suivant un découpage en quatre bandes verticales d'ouest en est ; ce même découpage sera conservé pour la représentation des variations d'autres paramètres.

On constate que :
- les valeurs du mois le plus chaud (février et mars) varient peu dans l'ensemble sauf pour les stations d'altitude où une influence négative se fait sentir ;
- l'apparition d'un maximum secondaire ou d'un palier en octobre et novembre pour les stations de l'est (Abong-Mbang, Batouri, Bertoua, Betare-Oya, Meiganga) et du nord (Tibati, Banyo, Ngaoundere) ;
- les valeurs du mois, en moyenne, le plus froid (juillet-août) diminuent en fonction de la latitude et de l'altitude. Cette valeur moyenne minimale est due principalement au minimum des températures maximales $\bar{T}_x$.

En général le minimum des températures minimales $\bar{T}_n$ est situé en décembre-janvier sauf pour :
- les stations d'Eséka, Edea, Yaoundé, Douala, Ngambe, où il y a simultanéité avec le minimum des températures maximales $\bar{T}_x$ (juillet-août),
- et pour les stations de Yoko et Bouar où ce minimum a lieu en septembre.

A titre indicatif le tableau 5.7 ci-après donne les maximums et minimums journaliers relevés aux différentes stations durant les périodes d'observations prises en considération.

Écarts diurnes moyens mensuels

Les écarts diurnes moyens mensuels montrent tous un minimum au mois de juillet ou août et un maximum qui se déplace de mars vers janvier en allant du sud au nord.

Les maximums et minimums croissent en fonction de la latitude.

Rappelons que les stations de la zone équatoriale océanique ont des écarts diurnes moyens mensuels maximum inférieurs à 10° C et minimum inférieurs à 6° C.

2.1.3. Humidité de l'air

Humidité relative

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative ont été calculées à 6 h 00, 12 h 00 et 18 h 00 ; un tableau rassemble les valeurs obtenues en % (tableau 5.8 et figure 5.9).

Tableau 5.4. – Direction des vents.

Station	Saison sèche		Saison des pluies		Année		
	Vent prépon-dérant	Quadrant	Vent prépon-dérant	Quadrant	Vent prépon-dérant	% d'observation	Calmes % d'observation
ESEKA	W	SW - W	W	SW - W	W E	21,3 4,0	69,2
EDEA	W	SW - W	W	SW - W	W SW	9,6 7,0	74,4
YAOUNDE	W	SW - W	W	SW - W	W SW	18,5 8,7	51,6
ABONG-MBANG	W	SW - W	W	SW - W	W SW	7,1 2,2	83,4
DOUALA	SW	SSW- W	SW	S - WSW	SW SSW	14,9 8,2	54,9
NGAMBE	W	SW - W	W	SW - W	W SW	14,7 8,7	70,2
BATOURI	W	SW - NW	W	SW - NW	W NW	8,3 6,9	62,4
BERTOUA	W	W - NW	W	W - NW	W E	13,9 2,4	80,4
NANGA-EBOKO	-	-	SW	SW - W	SW W	8,6 6,6	72,0
BAFIA	SW	E - SW	SW	SE - SW	SW SE	8,2 6,5	67,2
DSCHANG	N	NW - NE	NW	SW - NW	NW N	8,7 5,6	67,5
BAFOUSSAM	NE	N - SE	SW	SE - W	SE SW	7,4 6,3	69,3
YOKO	S	N - S	S	SE - W	S SW	13,2 8,5	37,1
BETARE-OYA	N	N - NE	SW	S - W	SW N	26,3 7,7	44,1
KOUNDJA	E	NE - E	W	SE - NW	E NE	12,6 10,6	38,0
BOUAR	NE	N - E	SW	S - W	E SW	9,5 7,2	42,1
TIBATI	NE	N - E	SW	S - W	NE SW	11,3 6,6	54,4
MEIGANGA	N	N - NE	S	S - SW	S N	17,2 15,6	54,1
BANYO	NE	N - E	SE	SE - SW	NE N	10,3 8,0	52,5
NGAOUNDERE	N	NW - NE	S	S - W	N NE	11,2 10,1	40,9

L'humidité relative présente un maximum à 6 h 00 et passe par un minimum à 12 h 00.

Au sud de la ligne Bafoussam – Yoko – Betare-Oya :
- l'humidité relative moyenne présente une plage maximale qui s'étale de juillet à septembre. Quant au miminum il est situé au mois de février lors de la grande saison sèche ;
- l'humidité relative à 6 h 00 varie très peu au cours de l'année, à peine présente-t-elle un léger fléchissement de 1 à 5 % pendant la saison sèche. Les brouillards matinaux et la rosée sont fréquents ;
- les humidités relatives de 12 h 00 et 18 h 00 ont une plus grande variation, la maximum de juillet-août ainsi que le minimum de février sont mieux marqués. Leurs écarts, sauf pour Douala, sont de 16 à 23 % pour 12 h 00 et de 11 à 20 % pour 18 h 00. Ceux de Douala, sous influence maritime, sont respectivement de 7 et 9 %.

Au nord de la ligne Bafoussam – Betare-Oya, les variations saisonnières sont plus marquées : l'humidité relative moyenne ainsi que celles de 6 h 00, 12 h 00 et 18 h 00 présentent leurs maximums en juillet-août

Tableau 5.5. – Températures (°C).

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DSCHANG (20 ans)	$\overline{T}_x$	26,9	27,4	26,7	26,0	25,1	24,0	22,5	22,3	23,4	24,3	25,4	26,4	25,0
	$\overline{T}_n$	13,6	14,6	15,6	16,2	16,2	15,5	15,5	15,5	15,4	15,4	14,6	13,4	15,1
	Moy.	20,3	21,0	21,2	21,1	20,7	19,8	19,0	18,9	19,4	19,9	20,0	19,9	20,1
	Ecart	13,3	12,8	11,1	9,8	8,9	8,5	7,0	6,8	8,0	8,9	10,8	13,0	9,9
BAFOUSSAM (13 ans)	$\overline{T}_x$	26,8	27,4	27,0	26,0	25,1	24,1	23,3	23,3	23,4	23,5	24,8	25,8	25,0
	$\overline{T}_n$	14,8	15,2	15,7	15,8	15,4	14,8	14,9	15,2	15,0	15,0	15,1	14,5	15,1
	Moy.	20,8	21,3	21,4	20,9	20,3	19,5	19,1	19,3	19,2	19,3	20,0	20,2	20,1
	Ecart	12,0	12,2	11,3	10,2	9,7	9,3	8,4	8,1	8,4	8,5	9,7	11,3	9,9
YOKO (27 ans)	$\overline{T}_x$	29,5	30,3	29,5	27,9	27,0	25,8	24,4	24,5	25,6	26,5	27,8	28,8	27,3
	$\overline{T}_n$	18,1	18,5	18,6	18,5	18,1	17,4	17,4	17,3	17,1	17,2	17,9	18,1	17,8
	Moy.	23,8	24,4	24,1	23,2	22,6	21,6	20,9	20,9	21,4	21,9	22,9	23,5	22.6
	Ecart	11,4	11,8	10,9	9,4	8,9	8,4	7,0	7,2	8,5	9,3	9,9	10,7	9,4
BETARE-OYA (27 ans)	$\overline{T}_x$	30,8	31,7	31,1	29,7	28,8	27,4	26,1	26,1	27,4	28,3	30,0	30,6	29,0
	$\overline{T}_n$	16,1	17,2	18,8	19,0	18,7	18,2	18,3	18,2	17,9	17,8	17,0	15,9	17,7
	Moy.	23,5	24,5	25,0	24,4	23,8	22,8	22,2	22,2	22,7	23,1	23,5	23,3	23,4
	Ecart	14,7	14,5	12,3	10,7	10,1	9,2	7,8	7,9	9,5	10,5	13,0	14,7	11,2
KOUNDJA (19 ans)	$\overline{T}_x$	29,0	29,8	28,9	27,5	26,4	25,2	24,5	24,5	24,8	25,5	26,9	28,2	26,7
	$\overline{T}_n$	15,0	15,6	16,8	16,9	16,6	15,9	16,1	15,7	15,8	15,8	15,5	15,0	15,8
	Moy.	22,0	22,7	22,9	22,2	21,5	20,6	20,3	20,1	20,3	20,7	21,2	21,6	21,3
	Ecart	14,0	14,2	12,1	10,6	9,8	9,3	8,4	8,8	9,0	9,7	11,4	13,2	10,8
BOUAR (19 ans)	$\overline{T}_x$	31,6	32,1	31,1	29,6	28,7	27,4	26,3	26,0	26,7	27,5	29,8	31,2	29,0
	$\overline{T}_n$	18,3	19,1	19,8	19,4	19,1	18,4	18,3	18,0	17,8	18,0	18,2	18,1	18,5
	Moy.	25,0	25,6	25,5	24,5	23,9	22,9	22,3	22,0	22,3	22,8	24,0	24,7	23,7
	Ecart	13,3	13,0	12,3	10,2	9,6	9,0	8,0	8,0	8,9	9,5	11,6	13,1	10,5
TIBATI (23 ans)	$\overline{T}_x$	32,4	33,2	32,7	30,5	29,4	28,1	27,1	27,1	28,0	29,0	30,8	32,3	30,0
	$\overline{T}_n$	13,7	14,6	17,4	18,7	18,2	17,6	17,9	17,5	17,5	17,4	15,4	13,6	16,6
	Moy.	23,1	23,9	25,1	24,6	23,8	22,9	22,5	22,3	22,8	23,2	23,1	23,0	23,3
	Ecart	18,7	18,6	15,3	11,8	11,2	10,5	9,2	9,6	10,5	11,6	15,4	18,7	13,4
MEIGANGA (24 ans)	$\overline{T}_x$	31,4	31,9	31,7	29,6	28,3	27,1	26,0	26,0	26,7	27,8	29,8	31,1	28,9
	$\overline{T}_n$	14,1	15,4	17,9	18,5	18,1	17,5	17,6	17,6	17,1	16,8	15,1	14,0	16,6
	Moy.	22,8	23,7	24,8	24,1	23,2	22,3	21,8	21,8	21,9	22,3	22,5	22,6	22,8
	Ecart	17,3	16,5	13,8	11,1	10,2	9,6	8,4	8,4	9,6	11,0	14,7	17,1	12,3
BANYO (12 ans)	$\overline{T}_x$	31,1	32,1	31,5	29,2	28,0	26,7	25,9	25,8	26,5	27,4	29,2	30,6	28,6
	$\overline{T}_n$	14,6	15,9	18,3	18,7	18,2	17,4	17,5	17,4	17,2	17,2	15,7	14,4	16,8
	Moy.	22,9	24,0	24,9	24,0	23,1	22,1	21,7	21,6	21,9	22,3	22,5	22,5	22,7
	Ecart	16,5	16,2	13,2	10,5	9,8	9,3	8,4	8,4	9,3	10,2	13,5	16,2	11,7
NGAOUNDERE (26 ans)	$\overline{T}_x$	30,4	31,4	31,7	30,1	28,4	27,1	25,9	25,7	26,5	27,9	29,4	30,1	28,7
	$\overline{T}_n$	12,8	14,2	16,7	17,6	17,2	16,7	16,9	16,9	16,4	16,0	14,0	12,7	15,6
	Moy.	21,6	22,8	24,2	23,9	22,8	21,9	21,4	21,3	21,5	22,0	21,7	21,4	22,2
	Ecart	17,6	17,2	15,0	12,5	11,2	10,4	9,0	8,8	10,1	11,9	15,4	17,4	13,0

Les valeurs maximales pour $\overline{T}_x$ et minimales pour $\overline{T}_n$ sont soulignées

Tableau 5.6. – Températures (°C) (suite).

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ESEKA (37 ans)	$\overline{T}_x$	29,9	31,0	30,9	30,5	29,7	28,1	26,1	26,0	27,4	28,3	29,1	29,6	28,8
	$\overline{T}_n$	22,0	22,0	21,6	21,3	21,3	20,9	20,3	20,1	20,4	20,4	21,0	21,8	21,0
	Moy.	25,9	26,5	26,3	25,9	25,5	24,5	23,2	23,1	23,9	24,4	25,1	25,7	25,0
	Ecart	7,9	9,0	9,3	9,2	8,4	7,2	5,8	5,9	7,0	7,9	8,1	7,8	7,7
EDEA (27 ans)	$\overline{T}_x$	32,0	32,7	32,5	32,5	32,0	30,0	27,6	27,3	28,8	30,3	31,2	31,9	30,7
	$\overline{T}_n$	22,5	23,1	22,6	22,6	22,7	21,9	21,6	21,7	21,9	21,9	22,4	22,6	22,2
	Moy.	27,3	27,9	27,6	27,6	27,4	25,9	24,6	24,5	25,4	26,1	26,8	27,3	26,5
	Ecart	9,5	9,6	9,9	9,9	9,3	8,1	6,0	5,6	6,7	8,4	8,8	9,3	8,4
YAOUNDE (29 ans)	$\overline{T}_x$	28,9	29,7	29,7	29,2	28,4	27,3	25,8	26,2	27,2	27,5	28,2	28,4	28,0
	$\overline{T}_n$	19,1	19,4	19,4	19,3	19,2	19,0	18,7	18,5	18,8	18,5	18,9	19,0	18,9
	Moy.	24,0	24,6	24,6	24,3	23,8	23,2	22,3	22,4	23,0	23,0	23,5	23,7	23,5
	Ecart	9,8	10,3	10,3	9,9	9,2	8,3	7,1	7,7	8,4	9,0	9,3	9,4	9,0
ABONG-MBANG (29 ans)	$\overline{T}_x$	28,2	29,7	29,9	29,7	28,9	28,1	26,2	26,4	27,7	28,1	28,6	28,1	28,3
	$\overline{T}_n$	17,3	17,8	18,9	19,0	18,9	18,8	18,6	18,6	18,8	18,6	18,3	17,6	18,4
	Moy.	22,8	23,8	24,4	24,4	23,9	23,5	22,4	22,5	23,3	23,4	23,5	22,9	23,4
	Ecart	10,9	11,9	11,0	10,7	10,0	9,3	7,6	7,8	8,9	9,5	10,3	10,5	9,8
DOUALA (29 ans)	$\overline{T}_x$	31,2	31,8	31,8	31,7	31,1	29,2	27,2	27,1	28,4	29,5	30,3	31,0	30,0
	$\overline{T}_n$	23,0	23,5	23,3	23,1	23,2	22,9	22,4	22,4	22,5	22,4	22,8	23,0	22,8
	Moy.	27,1	27,7	27,6	27,4	27,2	26,1	24,8	24,8	25,5	26,0	26,6	27,0	26,4
	Ecart	8,2	8,3	8,5	8,6	7,9	6,3	4,8	4,7	5,9	7,1	7,5	8,0	7,1
NGAMBE (16 ans)	$\overline{T}_x$	28,7	29,7	29,2	29,0	28,5	26,4	24,2	24,0	25,8	27,1	28,1	28,2	27,4
	$\overline{T}_n$	20,7	21,3	20,7	20,5	20,5	19,8	19,2	19,2	19,4	19,5	20,3	20,6	20,1
	Moy.	24,7	25,5	25,0	24,8	24,5	23,1	21,7	21,6	22,6	23,3	24,2	24,4	23,7
	Ecart	8,0	8,4	8,5	8,5	8,0	6,6	5,0	4,8	6,4	7,6	7,8	7,6	7,2
BATOURI (29 ans)	$\overline{T}_x$	29,7	31,1	30,9	30,8	29,9	28,5	27,0	27,0	27,6	28,8	29,6	29,4	29,1
	$\overline{T}_n$	17,1	18,0	19,3	19,5	19,3	18,8	18,6	18,6	18,6	18,6	18,1	17,1	18,4
	Moy.	23,4	24,6	25,1	25,2	24,6	23,7	22,8	22,8	23,1	23,7	23,9	23,3	23,8
	Ecart	12,6	13,1	11,6	11,3	10,3	9,7	8,4	8,4	9,0	10,2	11,5	12,3	10,7
BERTOUA (27 ans)	$\overline{T}_x$	29,7	30,9	30,9	30,5	29,8	28,4	26,8	27,2	28,3	28,8	29,7	29,6	29,2
	$\overline{T}_n$	16,4	17,3	18,8	18,9	18,8	18,3	18,4	18,5	18,6	18,5	17,8	16,6	18,0
	Moy.	23,1	24,1	24,9	24,8	24,3	23,4	22,6	22,9	23,5	23,7	23,8	23,1	23,6
	Ecart	13,3	13,6	12,1	11,6	11,0	10,1	8,4	8,7	9,7	10,3	11,9	13,0	11,1
NANGA-EBOKO (27 ans)	$\overline{T}_x$	30,0	31,5	31,1	30,1	29,3	28,0	26,8	27,1	28,1	28,3	29,2	29,7	29,1
	$\overline{T}_n$	18,6	19,1	19,9	19,8	19,7	19,5	19,4	19,4	19,3	19,1	19,1	19,1	19,3
	Moy.	24,3	25,3	25,5	25,0	24,5	23,8	23,1	23,3	23,7	23,7	24,2	24,4	24,2
	Ecart	11,4	12,4	11,2	10,3	9,6	8,5	7,4	8,7	8,8	9,2	10,1	10,6	9,8
BAFIA (23 ans)	$\overline{T}_x$	30,9	32,6	31,9	31,0	30,2	29,0	27,7	27,8	28,8	29,2	29,9	30,8	29,9
	$\overline{T}_n$	19,7	20,6	21,0	20,7	20,6	20,4	20,0	19,9	19,9	19,7	19,9	19,8	20,1
	Moy.	25,3	26,6	26,5	25,9	25,4	24,7	23,9	23,9	24,4	24,5	24,9	25,3	25,1
	Ecart	11,2	12,0	10,9	10,3	9,6	8,6	7,7	7,9	8,9	9,5	10,0	11,0	9,8

Les valeurs maximales pour $\overline{T}_x$ et minimales pour $\overline{T}_n$ sont soulignées

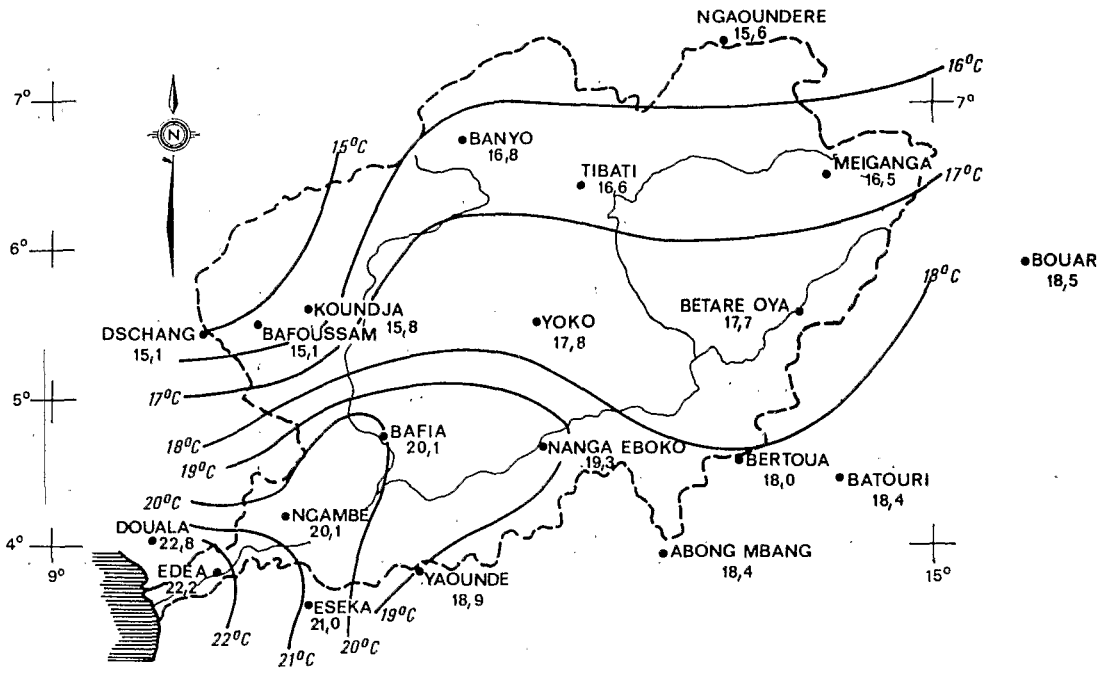


Figure 5.5. – Répartition des températures minimales moyennes annuelles.

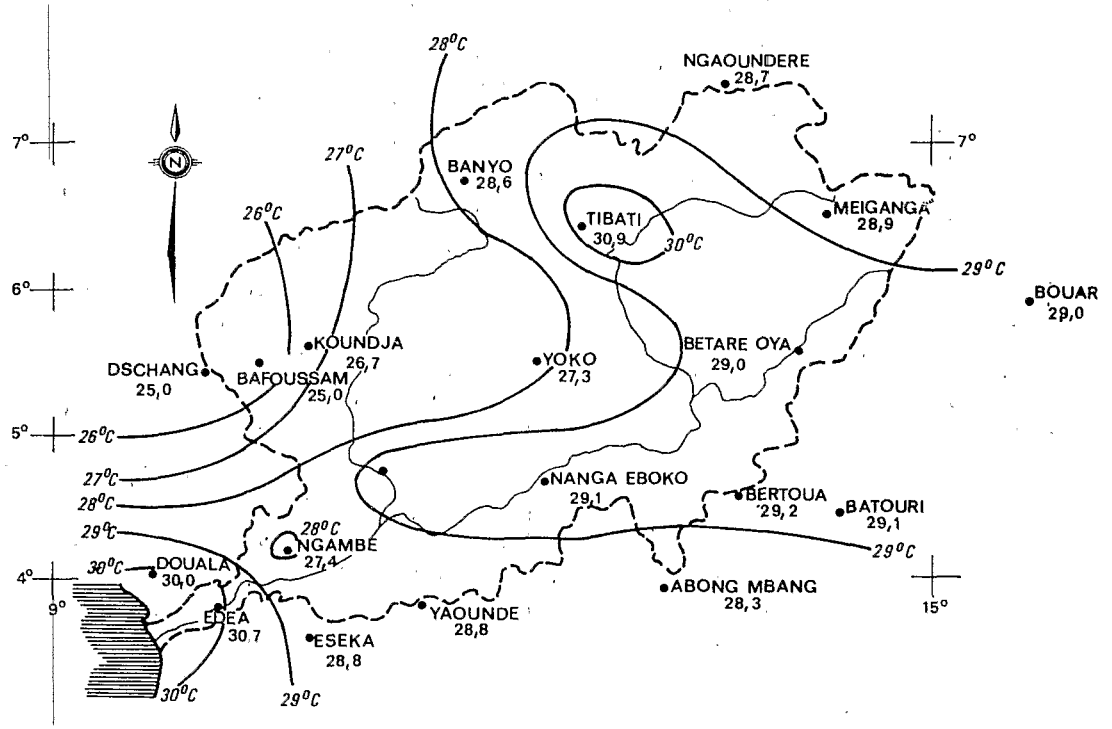


Figure 5.6. – Répartition des températures maximales moyennes annuelles.

Tableau 5.7. – Températures extrêmes.

Station	Maximum absolu		Minimum absolu	
	Date	T °C	Date	T °C
ESEKA	9 Mars 1959	34,8	Août 1954	17,2
EDEA	Mars 1945	36,3	Avril 1950	14,5
YAOUNDE	12 Mars 1958	34,1	Janvier 1950	13,3
ABONG-MBANG	Février 1953	34,6	Janvier 1956	11,6
DOUALA	Avril 1951	36,0	Janvier 1941-1943 - Décembre 1945-1955	19,0
NGAMBE	Février 1969	34,3	Décembre 1964	16,8
BATOURI	Mars 1966	36,2	Janvier 1941	11,2
BERTOUA	Mars 1960	38,2	Janvier 1962	9,4
NANGA-EBOKO	Mars 1945	36,6	Février 1950	11,2
BAFIA	Février 1960	37,8	Décembre 1945	14,0
DSCHANG	Février 1969	32,6	Janvier 1941	9,5
BAFOUSSAM	Mars 1951	31,8	Avril - Mai - Juin 1952	10,0
YOKO	Avril 1945	34,6	Janvier 1957	13,6
BETARE-OYA	Mars 1943	36,6	Janvier 1962	10,4
KOUNDJA	Mars 1966	33,5	Novembre 1967	11,2
BOUAR	Juin 1951	40,5	Janvier 1957	12,3
TIBATI	Décembre 1945	39,3	Février 1957	8,0
MEIGANGA	Avril 1945	36,8	Février 1950	7,1
BANYO	26 Mars 1958	35,5	Décembre 1966	10,6
NGAOUNDERE	Mars 1943-1951	35,9	Novembre 1969	7,2

et leurs minimums en janvier-février. Les écarts vont du sud ou nord :
- pour 06 h 00, de 10 à 45 %,
- pour 12 h 00, de 36 à 51 %,
- pour 18 h 00, de 30 à 62 %.

L'humidité relative moyenne annuelle varie en fonction inverse de la latitude ainsi que le montre la figure 5.10 ; elle passe de 89 % à Ngambe à 66 % à Ngaoundere (tableau 5.9).

Tension de vapeur

La tension de vapeur en millibars est calculés d'après la moyenne des températures à 6 h 00, 12 h 00 et 18 h 00, et la moyenne des humidités relatives aux mêmes heures.

Les variations de la tension de vapeur mensuelle moyenne sont données dans le tableau 5.10.

Au sud du bassin la tension de vapeur présente deux maximums : l'un en avril-mai, l'autre secondaire en septembre-octobre et deux minimums : l'un en janvier, l'autre secondaire en juillet-août. Pour les stations les plus proches de l'océan (Douala, Edea, Ngambe, Eséka) le minimum de janvier n'existe pas.

En remontant vers le nord le minimum de janvier s'accentue et celui de juillet-août disparaît progressivement à son tour, la tension de vapeur est alors à peu près constante d'avril à octobre avec toutefois un maximum en mai.

En résumé les variations de la tension de vapeur suivent dans leurs grandes lignes celles de la pluviométrie.

2.1.4. Évaporation

Évaporation Piche

Les valeurs mensuelles moyennes de l'évaporation Piche aux stations sont rassemblées dans le tableau 5.11 ; ces valeurs sont en mm. Leurs variations type sont illustrées dans la figure 5.11.

L'évaporation mensuelle maximale se déplace de mars pour les stations méridionales vers janvier-février pour les stations septentrionales et elle passe de 57 mm pour Eséka à 307 mm pour Ngaoundere, soit un rapport de 1 à 5.

Le minimum est situé en juillet ou août ; il apparaît assez constant : 40 à 50 mm, sauf pour quelques stations.

L'évaporation annuelle moyenne varie dans le même sens que la latitude avec une certaine influence orographique. Les valeurs extrêmes sont de 432 mm pour Ngambe à 1 900 mm pour Ngaoundere. Les écarts correspondants d'évapotranspiration potentielle ou d'évaporation à la surface d'un grand réservoir sont bien inférieurs (peut-être de 1 000 à 1 600 mm).

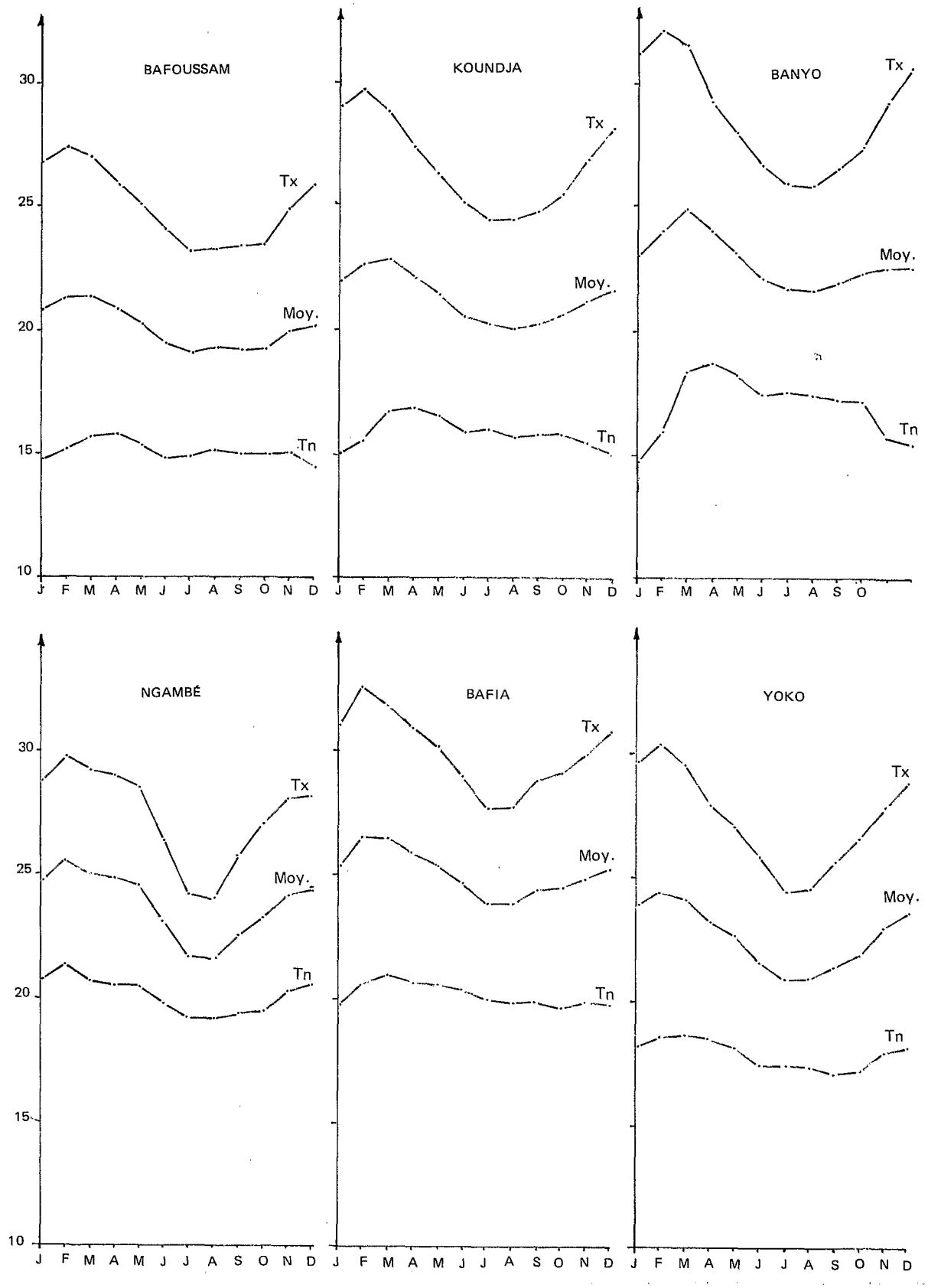


Fig. 5.7. – Variation des températures moyennes mensuelles.

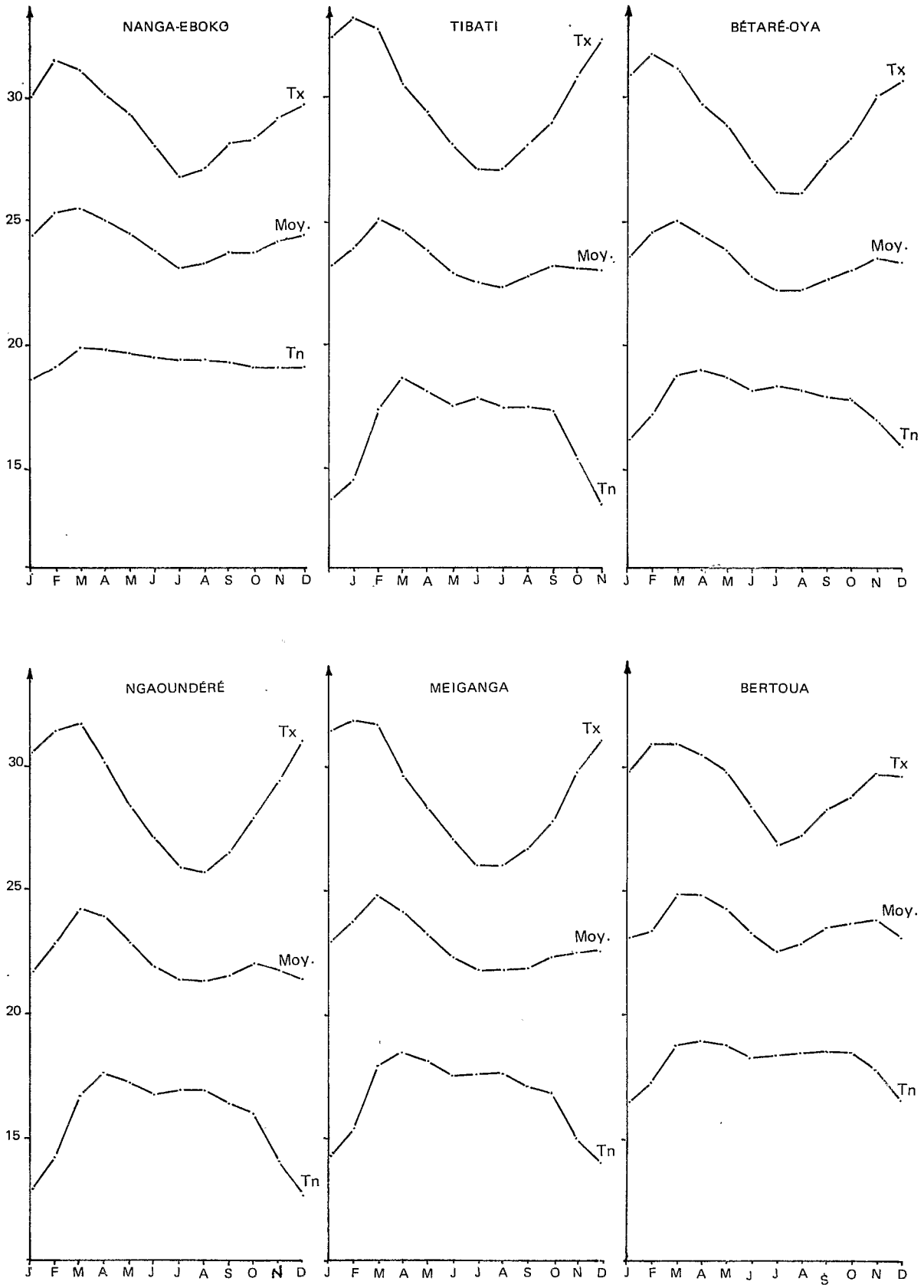


Fig. 5.8. – Variation des températures moyennes mensuelles.

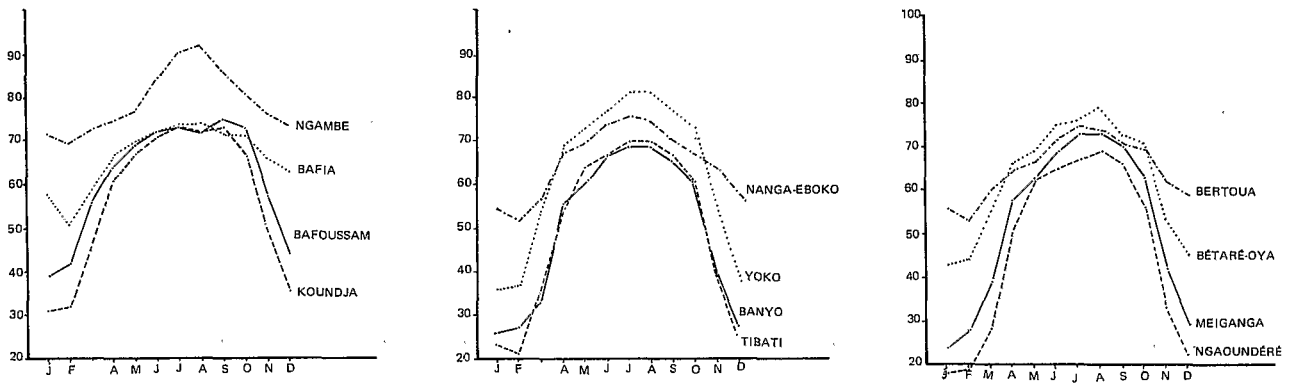


Fig. 5.9. – Variations mensuelles de l'humidité relative à 12 h.

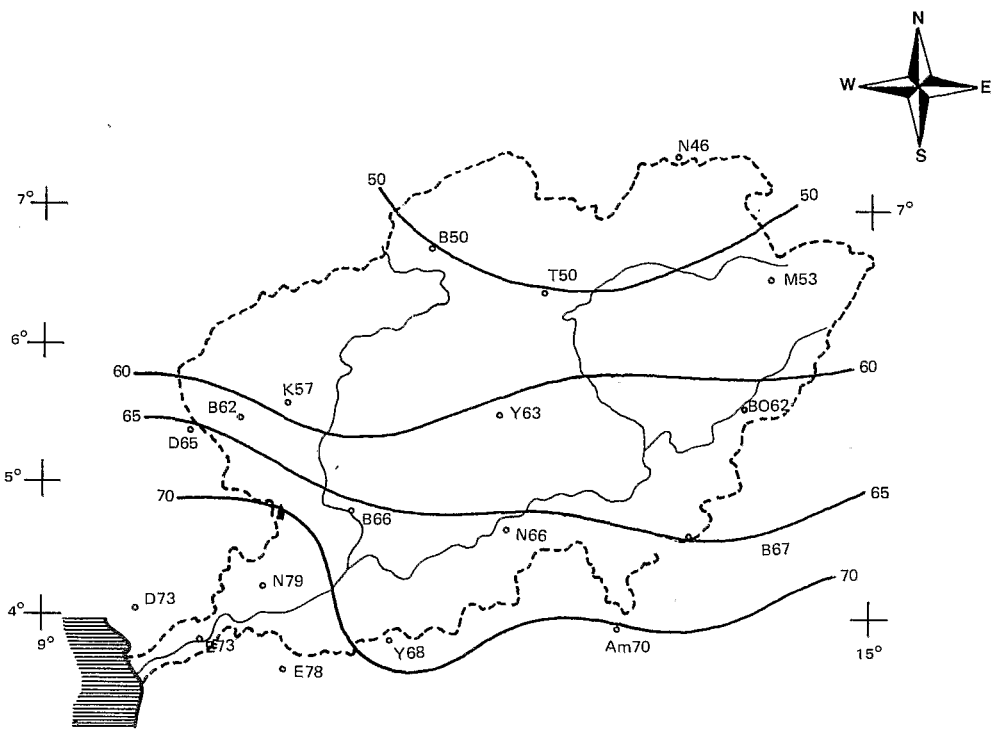


Fig. 5.10. – Humidité relative moyenne annuelle à 12 h.

Tableau 5.8. – Humidité relative (%).

Station	Heure	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ESEKA (17 ans)	U 06	96	95	95	96	97	97	97	97	98	98	97	96	97
	U 12	72	70	71	74	77	83	86	86	84	81	77	74	78
	U 18	84	81	84	87	89	92	93	94	95	93	90	87	89
EDEA (14 ans)	U 06	97	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97
	U 12	66	64	67	70	70	76	81	83	80	75	71	68	73
	U 18	83	80	82	84	86	89	91	92	91	90	88	86	87
YAOUNDE (17 ans)	U 06	98	97	97	97	98	98	97	97	98	98	98	98	98
	U 12	61	59	63	67	70	73	75	75	73	72	67	65	68
	U 18	76	73	79	83	86	88	87	87	89	90	86	82	84
ABONG-MBANG (16 ans)	U 06	98	97	97	97	98	98	97	97	97	98	98	99	98
	U 12	66	63	64	67	70	74	77	74	72	72	67	68	70
	U 18	86	79	81	85	89	90	89	88	88	90	89	88	86
DOUALA (17 ans)	U 06	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
	U 12	66	67	69	69	72	77	83	84	80	75	68	69	73
	U 18	84	82	83	83	84	86	89	91	90	88	87	85	86
NGAMBE (16 ans)	U 06	96	97	96	96	95	98	99	100	99	97	97	97	97
	U 12	72	70	73	75	77	84	90	92	86	81	76	73	79
	U 18	86	83	85	86	89	93	96	98	96	93	90	88	90
BATOURI (17 ans)	U 06	97	95	95	97	97	98	98	98	98	98	97	97	97
	U 12	57	55	61	66	68	73	76	76	71	71	64	60	67
	U 18	77	69	74	79	82	86	87	87	88	89	85	82	82
BERTOUA (16 ans)	U 06	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	98	97
	U 12	56	53	60	65	67	72	75	74	71	70	62	59	65
	U 18	76	69	74	80	82	86	87	86	86	89	85	81	82
NANGA-EBOKO (17 ans)	U 06	95	94	94	96	97	96	96	95	97	97	97	96	96
	U 12	55	52	57	68	70	74	76	74	71	71	64	58	66
	U 18	72	64	71	79	83	86	85	84	85	87	84	78	79
BAFIA (12 ans)	U 06	98	96	96	97	98	98	97	98	98	98	98	99	98
	U 12	58	51	59	67	70	72	74	74	72	71	66	63	66
	U 18	67	59	67	76	79	82	86	86	85	84	80	75	77
DSCHANG (7 ans)	U 06	91	92	93	94	93	95	98	98	97	95	94	87	94
	U 12	42	49	60	68	71	77	81	81	79	73	57	47	65
	U 18	86	85	88	90	90	93	94	93	94	93	90	89	90
BAFOUSSAM (6 ans)	U 06	86	88	88	91	93	96	96	96	96	95	91	88	92
	U 12	39	42	56	64	69	72	73	72	75	73	57	44	62
	U 18	62	65	73	81	84	89	90	89	92	87	75	66	79
YOKO (17 ans)	U 06	71	76	89	93	94	96	99	99	98	95	82	72	89
	U 12	36	37	54	69	73	77	81	81	77	73	55	39	63
	U 18	53	48	63	78	87	87	91	91	89	87	72	62	76
BETARE-OYA (16 ans)	U 06	86	83	90	95	97	98	99	99	99	98	94	89	94
	U 12	43	44	55	66	69	75	76	79	73	71	53	45	62
	U 18	56	51	64	78	81	86	89	90	89	89	73	65	76
KOUNDJA (17 ans)	U 06	82	79	87	94	96	97	97	97	98	97	93	86	92
	U 12	31	32	46	61	67	71	74	72	73	67	50	35	57
	U 18	57	52	66	82	87	90	93	94	93	90	81	65	79
BOUAR (19 ans)	U 06	59	63	79	88	92	93	94	95	94	93	77	63	83
	U 12	27	33	49	62	67	70	74	75	72	66	45	29	56
	U 18	33	37	59	72	79	83	85	87	87	84	65	42	60
TIBATI (11 ans)	U 06	74	72	86	95	97	98	98	98	98	98	94	83	91
	U 12	23	21	35	54	64	67	70	70	67	61	39	26	50
	U 18	34	32	52	78	84	87	89	90	91	89	67	47	70
MEIGANGA (12 ans)	U 06	65	62	79	93	95	96	97	97	97	96	87	74	87
	U 12	24	28	39	58	63	69	73	73	70	63	42	29	53
	U 18	33	33	51	76	81	86	88	89	89	79	63	41	67
BANYO (11 ans)	U 06	69	64	76	91	94	95	96	95	96	95	87	78	86
	U 12	26	27	33	55	60	66	68	68	65	60	39	27	50
	U 18	40	37	53	75	82	84	88	88	88	85	69	52	70
NGAOUNDERE (17 ans)	U 06	55	55	72	90	95	96	98	98	98	97	84	66	84
	U 12	18	19	29	51	62	65	67	69	66	56	33	22	46
	U 18	33	29	44	72	84	89	90	91	90	86	62	40	68

Tableau 5.9. – Humidité moyenne.

Station	Humidité en %	Station	Humidité en %
ESEKA	88	DSCHANG	83
EDEA	86	BAFOUSSAM	78
YAOUNDE	83	YOKO	76
ABONG-MBANG	85	BETARE-OYA	77
DOUALA	85	KOUNDJA	76
NGAMBE	89	BOUAR	69
BATOURI	82	TIBATI	70
BERTOUA	81	MEIGANGA	69
NANGA-EBOKO	80	BANYO	69
BAFIA	80	NGAOUNDERE	66

Évaporation sur bac

Nous disposons de séries de mesures sur deux types de bac : bac Colorado et bac de classe « A ».

Pour les mesures sur bac Colorado nous disposons de données pour Yaoundé (5 ans), Mbakaou (2 ans) et Banok (sur le plateau bamiléké à 1 385 m d'altitude) suivie de 1969 à 1972.

Les mesures sur bac de classe « A » proviennent de stations installées récemment (1968) par la Météorologie Nationale, elles intéressent Yaoundé, Nkolbisson (très proche de Yaoundé), Batouri, Koundja et Ngaoundere.

Les moyennes mensuelles en mm/j et le total annuel moyen en mm sont consignés dans les tableaux 5.12 et 5.13 pour les mesures sur bac Colorado et pour les mesures sur bac de classe « A ».

Il ne nous est pas possible de faire une comparaison entre les bacs de classe « A » et bac Colorado de Yaoundé, ces bacs étant installés dans des micro-climats différents : le bac Colorado était sur le bord d'une petite retenue au fond d'une vallée alors que le bac de classe « A » se trouve à la station météorologique sur un plateau.

En général, le rapport entre évaporation sur grande nappe d'eau libre et sur bac est de 0,9 pour le bac Colorado et de 0,8 pour le bac de classe « A ».

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée mois par mois suivant la formule de Turc varie de 1 200 mm dans l'Ouest et à Yaoundé, à 1 500 mm à Ngaoundere.

2.1.5. Insolation

Les variations mensuelles de la durée d'insolation pour six stations ont été reproduites figure 5.12.

Les valeurs moyennes (en heures) correspondantes sont rassemblées dans le tableau 5.14 ci-après.

L'insolation totale annuelle varie avec la latitude et aussi avec l'altitude. Douala présente la valeur très faible de 1 316 heures et un écart avec Koundja et Ngaoundere de 1 000 heures environ.

Les stations septentrionales ont un maximum d'ensoleillement en décembre et un minimum en juillet, avec un maximum secondaire, ou un replat (Ngaoundere), en mai.

Pour les stations méridionales, si le minimum est stable dans le temps (août), il n'en est pas de même pour le maximum qui est en janvier à Yaoundé, avril à Douala et mai à Batouri.

2.2. Précipitations

2.2.1. Étude de la pluviométrie annuelle

Pour déceler les erreurs systématiques dues à un changement d'exploitation éventuel du pluviomètre, les observations aux différentes stations ont été testées suivant les méthodes déjà exposées.

Quand une erreur était décelée la courbe des doubles masses était reprise graphiquement afin de permettre le calcul du coefficient de correction.

Le coefficient de correction a été calculé en prenant comme référence la plus longue période apparemment homogène dans l'intervalle 1950-1970, pour laquelle le coefficient est donc égal à 1 par définition. La correction est effectuée sur la période 1930-1970.

La période d'homogénéisation a été choisie égale à 40 ans : du 1er avril 1930 au 31 mars 1970 ; elle couvre entièrement les données hydrologiques de la Sanaga à Edea de 1943 à 1970.

Pour cette période le nombre de stations-années observées est de 1 377, soit 63,8 % des 2 160 de la période.

Tableau 5.10. – Tension de vapeur (mb).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ESEKA (19 ans)	27,0	26,9	26,8	27,2	27,1	26,3	25,0	25,0	25,7	25,9	26,7	27,2	26,4
EDEA (16 ans)	29,3	29,3	29,4	29,7	29,5	28,7	27,6	27,6	28,2	28,5	29,2	29,6	28,9
YAOUNDE (19 ans)	22,5	22,7	23,5	23,8	23,9	23,2	22,2	22,2	22,8	23,1	23,2	23,1	23,0
ABONG-MBANG (20 ans)	22,4	22,5	23,7	24,1	24,2	23,8	23,1	22,9	23,4	23,5	23,5	22,8	23,3
DOUALA (20 ans)	29,2	29,6	29,0	29,4	29,5	28,4	27,5	27,4	27,9	28,0	28,9	29,4	28,6
NGAMBE (18 ans)	25,3	25,5	25,5	25,9	25,7	25,0	24,0	23,9	24,6	24,8	25,4	25,5	25,1
BATOURI (20 ans)	21,6	21,8	23,7	24,6	24,7	24,0	23,4	23,4	23,6	23,8	23,3	22,2	23,3
BERTOUA (15 ans)	20,6	20,8	22,9	24,0	24,1	23,7	23,2	23,2	23,4	23,5	22,8	22,0	22,9
NANGA-EBOKO (19 ans)	22,1	22,1	23,9	25,0	25,0	24,4	23,5	22,0	23,9	24,1	23,6	22,7	23,5
BAFIA (17 ans)	23,0	23,0	24,6	25,9	26,1	25,3	24,7	24,5	24,7	24,8	25,0	24,3	24,7
DSCHANG (9 ans)	16,5	17,4	19,0	19,8	19,6	19,4	18,8	18,7	18,9	18,9	18,0	16,8	18,5
BAFOUSSAM (5 ans)	14,8	15,8	17,7	18,5	18,6	18,4	18,2	17,9	18,3	18,2	16,9	15,0	17,4
YOKO (19 ans)	15,0	15,7	19,8	21,7	21,9	21,6	21,3	21,2	21,2	21,0	18,7	16,1	19,6
BETARE-OYA (19 ans)	17,2	17,3	21,1	23,2	23,5	23,2	22,8	22,6	22,7	22,6	20,6	18,2	21,3
KOUNDJA (19 ans)	14,5	14,3	17,9	20,3	20,6	20,0	19,7	19,7	19,7	19,6	17,7	15,2	18,2
BOUAR (19 ans)	11,6	13,6	19,2	21,8	22,4	22,0	21,7	21,7	21,5	20,3	17,6	13,0	18,9
TIBATI (14 ans)	11,0	11,4	17,7	22,2	22,8	22,3	22,2	22,2	21,8	21,5	17,4	13,3	18,8
MEIGANGA (14 ans)	11,0	11,7	17,2	21,5	21,8	21,6	21,6	21,5	21,0	20,4	16,5	12,2	18,2
BANYO (13 ans)	11,5	11,7	16,6	20,5	21,1	20,6	20,5	20,4	20,3	20,0	16,6	13,0	17,1
NGAOUNDERE (19 ans)	8,5	8,8	14,0	19,7	20,9	20,6	20,5	20,6	20,2	19,7	14,7	10,2	16,5

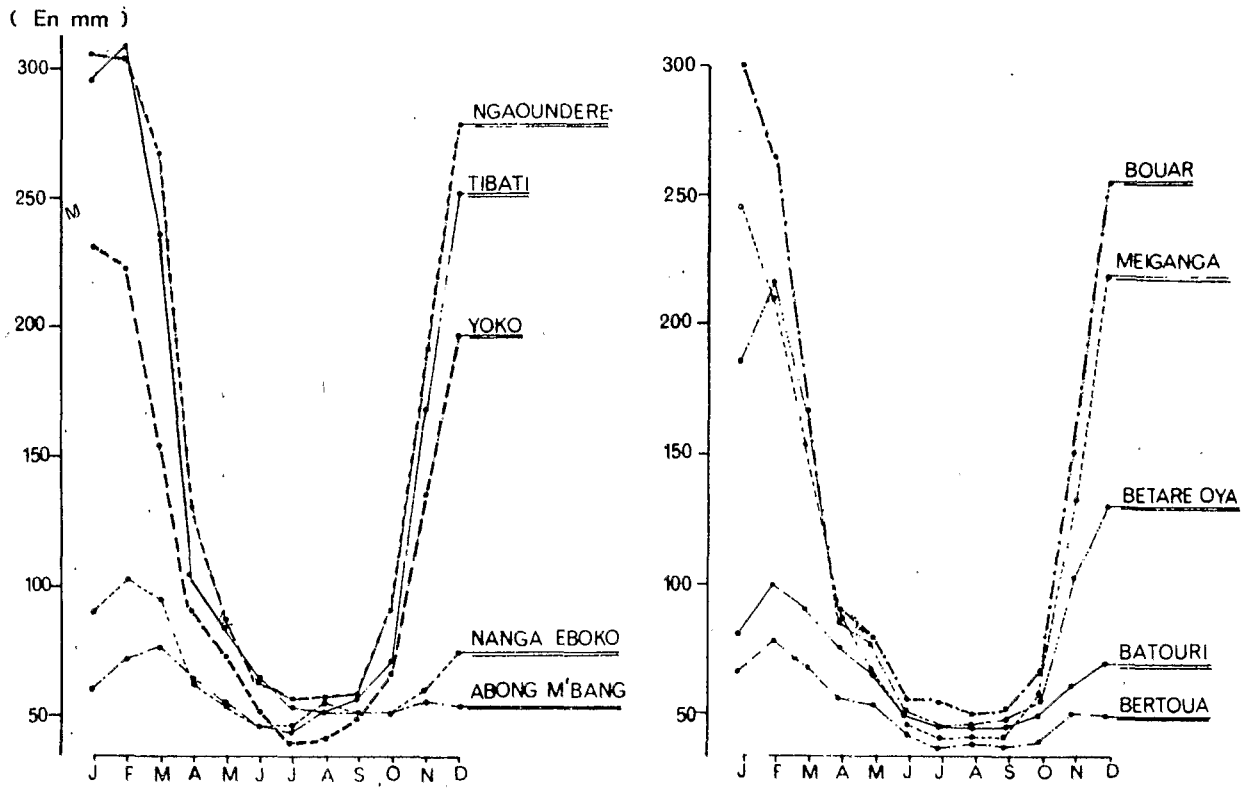


Figure 5.11. – Variations de l'insolation moyenne mensuelle.

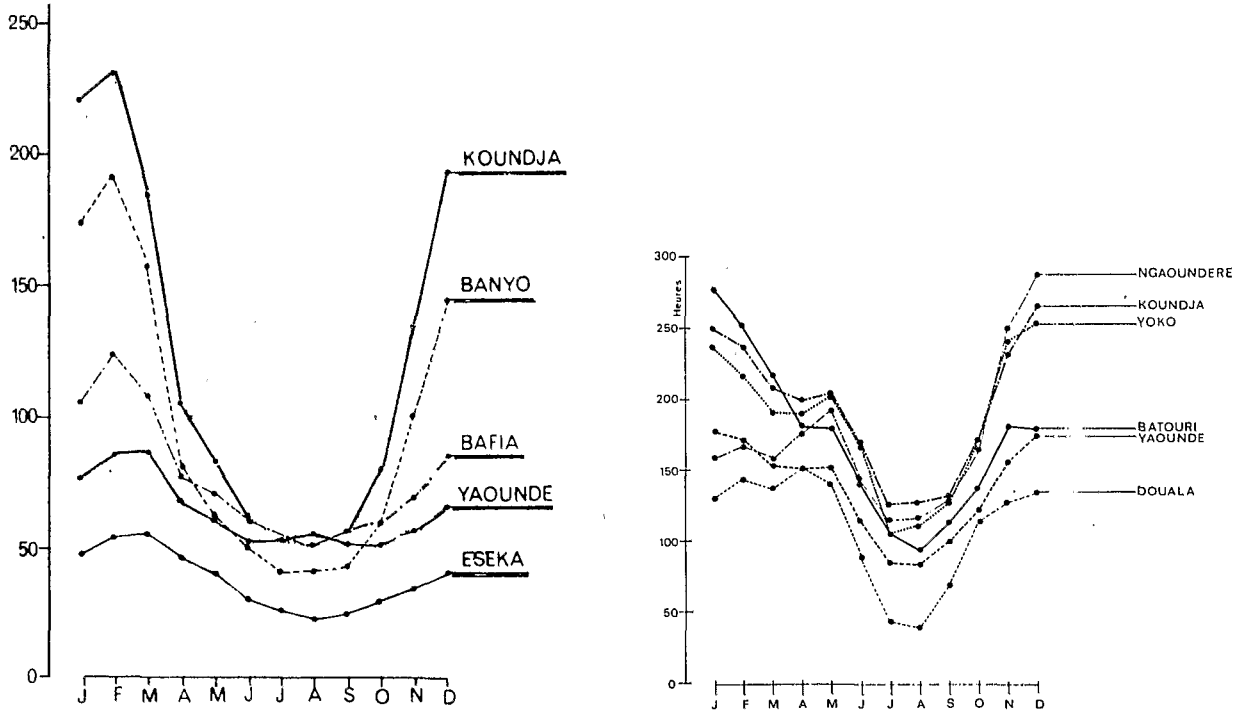


Figure 5.12. – Variations de l'insolation moyenne mensuelle.

Tableau 5.11. – Évaporation piche (mm).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ESEKA (24 ans)	48,5	54,8	57,2	46,1	40,9	30,1	25,2	22,7	24,5	29,3	34,5	40,9	454,7
EDEA (14 ans)	67,6	73,7	79,2	69,6	66,0	47,1	35,2	32,4	37,1	52,0	56,2	61,4	677,5
YAOUNDE (29 ans)	77,5	85,7	86,3	68,3	61,3	52,2	53,1	55,6	51,4	50,3	55,2	65,4	762,3
ABONG-MBANG (18 ans)	61,5	74,1	78,0	65,0	55,6	45,4	44,7	50,9	51,3	50,6	56,3	54,5	687,9
DOUALA (29 ans)	57,7	63,3	66,6	60,6	55,9	45,8	34,2	32,5	39,0	47,5	49,0	54,6	606,7
NGAMBE (19 ans)	49,2	52,2	50,9	47,0	41,5	26,6	17,7	14,7	21,2	31,6	36,9	42,6	432,1
BATOURI (24 ans)	82,5	101,0	91,9	76,8	66,1	50,4	47,0	46,6	47,0	50,5	62,2	71,0	793,0
BERTOUA (10 ans)	68,6	79,5	73,3	57,5	54,0	41,1	38,1	40,5	39,7	41,8	51,8	51,6	637,5
NANGA-EBOKO (19 ans)	90,0	103,6	95,2	63,9	54,5	46,7	47,2	55,5	51,0	50,2	60,8	75,5	794,1
BAFIA (18 ans)	107,1	124,3	110,6	78,9	69,5	60,6	53,8	54,4	57,7	62,8	69,2	85,4	934,3
DSCHANG (13 ans)	90,8	85,7	71,2	53,3	53,1	36,7	29,2	28,9	30,8	51,4	79,1	101,3	711,5
BAFOUSSAM (9 ans)	116,4	115,3	105,4	77,7	64,6	48,6	47,0	48,1	41,9	48,4	75,1	112,6	901,1
YOKO (21 ans)	230,8	223,1	157,3	90,3	73,8	51,8	40,4	41,4	49,2	67,9	135,8	197,5	1 359,3
BETARE-OYA (12 ans)	188,9	218,1	168,4	87,9	79,8	52,2	45,7	46,4	48,3	56,7	103,4	131,8	1 227,6
KOUNDJA (19 ans)	220,2	231,5	184,1	106,4	84,8	63,3	52,9	51,8	55,3	80,1	134,0	193,7	1 458,1
BOUAR (17 ans)	301,2	266,5	165,9	89,9	81,3	57,4	55,4	51,0	53,7	67,0	151,7	255,0	1 596,0
TIBATI (12 ans)	295,1	309,9	235,4	107,6	84,0	64,2	54,6	53,6	57,7	73,3	169,6	251,4	1 756,4
MEIGANGA (19 ans)	245,9	210,2	155,1	86,5	66,4	47,5	41,5	42,9	43,7	57,6	133,0	219,9	1 350,2
BANYO (12 ans)	174,0	190,5	158,8	81,1	63,1	49,9	40,9	41,3	43,6	59,1	100,1	144,5	1 146,9
NGAOUNDERE (23 ans)	307,4	304,2	268,2	130,7	87,4	63,1	57,8	58,6	59,0	93,1	191,2	279,2	1 899,9

Tableau 5.12. – Évaporation sur bac Colorado – type Orstom (mm/j).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel mm
Yaoundé (1954-1959)	2.7	2.9	2.7	2.8	3.0	2.1	2.1	1.9	1.6	2.3	2.5	2.7	891
Mbakaou (2 ans)	4.6	5.9	5.1	4.7	5.0	4.2	4.8	3.8	3.4	4.6	4.7	4.4	1 670
Banok (3 ans)	3.8	4.5	3.9	4.1	4.0	3.6	3.3	3.2	3.6	4.0	4.0	4.1	1 395

Tableau 5.13. – Évaporation sur bac de classe « A » (mm/j).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel mm
Yaoundé	3.3	4.4	3.9	3.9	3.6	3.0	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2	3.0	1 205
Nkolbisson	3.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.0	2.4	2.7	3.1	3.3	3.3	2.8	1 176
Batouri	2.8	4.2	4.6	4.3	4.4	3.5	2.9	2.9	3.4	3.5	3.7	3.2	1 317
Koundja	5.6	7.3	5.8	5.3	4.6	4.1	3.1	3.2	3.9	4.9	5.0	5.2	1 752
Ngaoundere	6.4	7.5	6.9	5.3	4.4	4.1	3.5	3.1	3.5	4.4	5.4	6.5	1 852

Tableau 5.14. – Insolation (heures).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel (heures)
Yaoundé (28 ans)	178	172	154	151	152	116	85	84	100	122	156	175	1 645
Douala (29 ans)	130	144	137	151	140	89	43	39	69	113	127	134	1 316
Batouri (26 ans)	159	167	159	177	193	141	106	93	113	137	181	179	1 805
Yoko (15 ans)	238	218	192	190	203	167	106	110	128	172	241	254	2 219
Koundja (19 ans)	249	238	209	200	205	170	126	127	132	173	232	266	2 327
Ngaoundere (18 ans)	277	253	218	181	180	143	114	115	129	166	250	288	2 314

Les années manquantes ont été reconstituées par corrélation interpostes des pluies annuelles établies par programme de calcul automatique sur ordinateur.

Ces corrélations sont, en général, bonnes sauf pour quelques postes (six) dont trois sur le bassin offrant des microclimats particuliers ; la topographie accidentée entraîne une compartimentation de la pluviométrie dont l'homogénéisation se trouve fortement affectée.

Considérant justement cette localisation des événements pluvieux, il a paru préférable de se servir du plus grand nombre possible de postes pluviométriques pour le calcul de la pluie moyenne qui est totalement faussé si l'on prend un réseau à mailles trop larges dans les régions les plus arrosées du bassin.

Pour un bon nombre de postes les premières années ont été reconstituées. On ne doit pas attacher une trop grande valeur absolue à chacune des valeurs annuelles reconstituées, tout au moins dans les dix premières années, mais les moyennes qu'elles permettent de calculer sont assez sûres.

Les moyennes sur la période d'homogénéisation figurent aux tableaux 5.16 a et b et permettent de tracer la carte [1] des isohyètes interannuelles.

(1) Se reporter à la figure 1.12.

Tableau 5.15. – Répartition statistique des pluies annuelles.

Station	Nombre années	H max	H méd	H min	Ecart type	Années humides		Année moyenne	Années sèches		K_3
						20 ans	10 ans		10 ans	20 ans	
Edéa	50	3 386	2 679	1 804	367	3 233	3 101	2 631	2 161	2 029	1.43
Yaoundé	49	2 142	1 592	1 151	218	1 955	1 877	1 598	1 319	1 240	1.42
Ngambe	33	3 316	3 064	2 597	205	3 364	3 290	3 027	2 764	2 690	1.19
Nachtigal	26	1 651	1 324	1 070	167	1 637	1 577	1 363	1 148	1 088	1.37
Bertoua	36	2 083	1 713	1 270	210	2 016	1 940	1 671	1 402	1 326	1.38
Nanga-Eboko	37	2 398	1 623	1 246	196	1 962	1 891	1 640	1 389	1 318	1.36
Bafia	36	2 076	1 498	990	227	1 865	1 783	1 492	1 200	1 118	1.48
Ndikiniméki	36	1 855	1 469	1 253	157	1 761	1 704	1 502	1 300	1 243	1.31
Bangangté	34	1 758	1 415	1 118	181	1 738	1 673	1 441	1 209	1 144	1.38
Dschang	41	2 288	1 922	1 413	212	2 269	2 193	1 921	1 650	1 574	1.33
Bafoussam	35	2 321	1 792	1 493	202	2 137	2 064	1 805	1 546	1 473	1.33
Foumbot	38	2 219	1 718	1 387	209	2 066	1 990	1 722	1 453	1 378	1.37
Yoko	38	1 894	1 559	1 272	166	1 870	1 810	1 597	1 384	1 325	1.31
Betare-Oya	33	1 991	1 599	1 315	143	1 815	1 763	1 580	1 396	1 344	1.26
Koundja	20	2 585	2 050	1 624	253	2 480	2 389	2 065	1 741	1 650	1.37
Foumban	34	2 339	1 875	1 552	155	2 142	2 086	1 887	1 687	1 631	1.24
Bamenda	27	3 146	2 531	2 200	222	2 899	2 819	2 534	2 249	2 168	1.25
Bouar	24	2 205	1 486	877	295	1 957	1 851	1 473	1 095	989	1.69
Bambui	21	2 850	2 409	1 736	282	2 852	2 750	2 389	2 028	1 926	1.36
Banso	34	2 360	1 926	1 644	190	2 262	2 194	1 951	1 707	1 639	1.28
Mayo-Darle	30	2 334	1 937	1 423	193	2 291	2 222	1 975	1 728	1 658	1.28
Tibati	34	2 363	1 688	1 385	214	2 069	1 991	1 716	1 441	1 364	1.38
Meiganga	33	2 043	1 756	1 473	168	2 048	1 987	1 771	1 556	1 495	1.28
Banyo	34	2 827	1 820	1 469	252	2 291	2 200	1 876	1 553	1 462	1.42
Ngaoundere	40	2 187	1 635	1 203	188	1 967	1 899	1 658	1 418	1 350	1.34

Tableau 5.16 a. – Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (mm) sur la période d'homogénéisation.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Edéa	41	59	149	236	275	248	240	340	472	374	153	41	2 628
Yaoundé	26	53	149	190	211	159	59	75	225	304	122	27	1 600
Manoka	202	195	358	384	507	683	725	624	721	541	330	197	5 467
Sakbayeme	22	39	141	218	262	229	200	315	414	343	152	23	2 358
Evodoula	11	44	160	218	253	107	49	56	215	303	129	23	1 568
Obala	17	62	135	163	201	148	47	55	169	275	141	25	1 438
Ngambe	21	55	168	191	246	283	361	552	556	455	128	24	3 040
Batschenga	23	48	119	204	209	148	67	65	239	296	132	20	1 570
Nachtigal	19	37	112	177	191	128	49	74	161	270	120	17	1 355
Saa	13	44	124	176	185	137	40	51	159	288	106	13	1 336
Ndom	9	33	122	131	176	96	86	148	267	297	100	9	1 474
Ntui	13	33	126	195	172	148	53	68	188	307	94	9	1 406
Yingui	19	21	133	184	236	225	196	287	325	362	137	23	2 148
Bertoua	24	54	124	155	178	186	106	147	243	311	111	35	1 674
Nanga-Eboko	24	40	114	177	212	153	93	127	269	302	103	26	1 640
Bafia	12	33	117	163	182	140	102	136	231	280	86	11	1 493
Ndikinimeki	15	39	119	167	169	153	85	112	262	286	86	12	1 505
Bombi	13	53	80	131	185	193	114	101	149	243	130	19	1 411
Nkongjock	46	52	169	224	241	288	417	504	539	371	133	19	3 004
Mankim	13	34	140	207	190	182	113	110	285	385	140	10	1 809
Bangangté	8	25	102	141	138	146	133	151	257	256	69	15	1 441
Dschang	15	50	138	198	184	231	223	250	340	242	52	13	1 936

D'après cette carte, la pluviométrie décroît du sud-ouest vers le nord-ouest avec des variations dues aux influences orographiques. Le bassin est compris entre les isohyètes 5 000 et 1 500 mm.

Répartition statistique des pluies annuelles

L'étude de la répartition statistique des pluies annuelles hydrologiques a été faite sur les données observées durant au moins 20 ans en 32 stations réparties sur le bassin. Les résultats font l'objet du tableau 5.15. Le classement de la pluviométrie a permis d'établir la première partie de ce tableau avec les valeurs maximales et minimales observées et la médiane.

La distribution étant très sensiblement normale dans tous les postes du bassin un ajustement de la loi de Gauss donne les pluviométries des années « sèches » et « pluvieuses » de récurrence 10 et 20 ans, et la moyenne observée.

Le coefficient de variation des hauteurs des précipitations semble s'imposer pour caractériser l'irrégularité interannuelle. Cependant, nous lui avons préféré le coefficient K_3 : rapport entre les hauteurs de précipitations de l'année décennale sèche et de l'année décennale humide ; ce coefficient est plus parlant. Il varie sur le bassin de 1,2 à 1,4, ce qui dénote une faible irrégularité interannuelle.

Tableau 5.16 b. – Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (mm) sur la période d'homogénéisation (suite).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Bafoussam	10	30	105	176	185	191	231	234	292	278	65	9	1 806
Foumbot	8	26	94	142	163	171	230	258	303	253	65	11	1 723
Yoko	11	25	83	124	181	165	151	186	299	295	73	11	1 604
Betare-Oya	12	25	71	137	173	179	166	229	276	249	56	11	1 584
Koundja	5	31	111	165	199	202	319	314	365	265	64	10	2 050
Mantoum	3	12	90	169	192	147	224	191	266	317	80	13	1 704
Kounden	6	30	109	160	194	228	356	313	355	270	60	16	2 097
Babadjou	15	28	93	165	183	223	220	222	285	253	59	12	1 758
Foumban	4	25	94	146	190	175	275	304	327	268	73	10	1 891
Baboua	7	26	79	111	171	197	188	240	261	219	92	8	1 549
Bamenda	22	52	166	185	194	303	426	367	477	246	74	26	2 537
Bouar	5	20	71	117	130	157	188	293	270	178	39	6	1 474
Bambui	14	41	144	194	221	276	365	348	398	296	54	13	2 364
Ndop	10	26	127	160	175	194	195	221	268	171	39	6	1 592
Jakiri	8	40	122	159	172	240	278	337	305	260	51	6	1 978
Bansoa	10	31	128	144	184	215	291	294	336	252	57	11	1 953
Mayo-Darle	11	27	91	176	207	220	269	283	353	269	54	11	1 971
Tibati	3	11	63	129	180	203	280	266	292	242	46	5	1 720
Meiganga	5	10	68	124	195	215	296	275	307	222	39	7	1 763
Banyo	4	21	86	170	226	230	295	268	310	230	39	10	1 889
Sarki	0	5	31	81	128	208	272	285	247	153	13	0	1 423
Ngaoundere	2	2	44	154	223	243	276	292	257	151	12	2	1 658
Tignere	0	4	46	115	179	193	230	258	248	140	19	1	1 433

2.2.2. Étude de la pluviométrie mensuelle

Les précipitations moyennes annuelles sont calculées, d'une part, sur la période d'observation et, d'autre part, sur la période d'homogénéisation et sont rassemblées dans les tableaux 5.16 a et b.

Pour obtenir les valeurs mensuelles sur la période d'homogénéisation, on a multiplié les valeurs mensuelles par le rapport du total moyen homogène au total moyen observé.

Pour matérialiser la répartition saisonnière des précipitations, l'on a reporté pour la Sanaga dans les figures 5.13 et 5.14 les histogrammes des précipitations mensuelles moyennes pour les stations les plus représentatives.

Les histogrammes d'Obala, Yoko, Tibati et Ngaoundere montrent le passage classique du régime équatorial au régime tropical avec la disparition progressive de la petite saison sèche, l'élargissement da la grande saison sèche et le passage du maximum d'octobre à août.

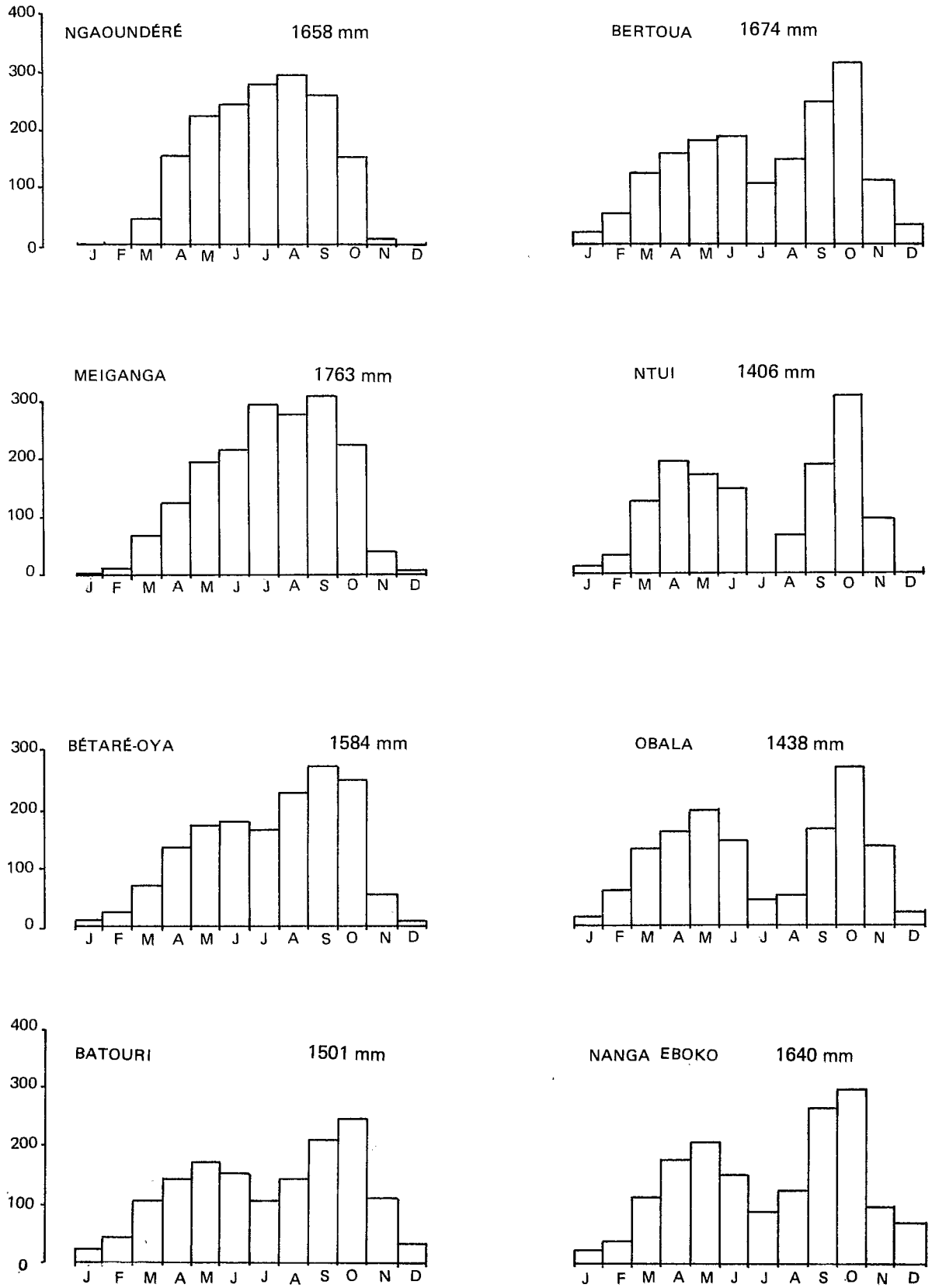


Fig. 5.13. – Histogrammes moyens des précipitations mensuelles.

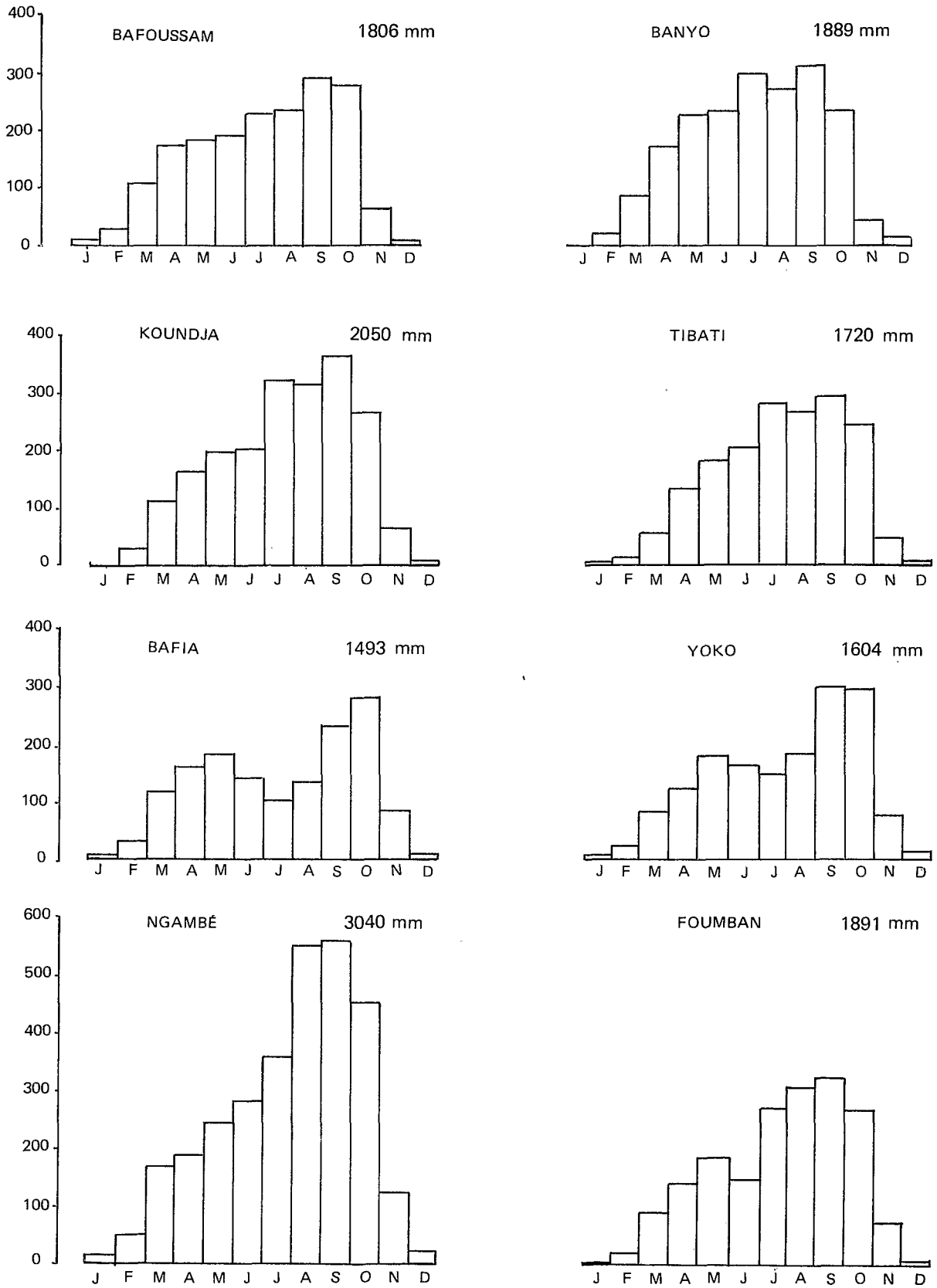


Fig. 5.14. – Histogrammes moyens des précipitations mensuelles.

Tableau 5.17 a. – Valeurs classées des pluviométries mensuelles (mm).

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EDEA	H max	261	198	366	408	403	520	540	594	823	655	303	193
	Q sup	64	76	208	292	335	325	316	427	553	431	182	59
	H méd	33	44	133	249	278	243	207	335	489	381	157	29
	Q inf	12	30	116	208	257	195	164	293	378	311	120	17
	H min	0	1	68	92	171	73	57	86	204	152	30	0
YAOUNDE	H max	113	197	314	366	393	299	193	245	386	526	270	98
	Q sup	37	81	182	232	246	214	89	99	273	374	167	30
	H méd	21	55	145	195	219	134	52	60	227	312	132	23
	Q inf	12	24	113	150	189	120	32	49	200	252	94	12
	H min	0	0	79	76	121	41	4	5	113	177	32	0
BERTOUA	H max	67	166	279	263	312	348	246	297	459	522	233	131
	Q sup	43	76	151	176	203	237	169	185	276	359	148	52
	H méd	16	55	115	156	170	142	83	144	233	318	97	27
	Q inf	6	20	94	132	138	133	49	90	191	271	74	6
	H min	0	0	46	62	76	54	9	10	120	122	0	0
NANGA-EBOKO	H max	99	145	277	295	384	383	233	269	541	472	235	80
	Q sup	32	68	148	213	252	182	135	170	305	354	116	41
	H méd	9	31	100	177	202	139	84	131	280	296	90	20
	Q inf	1	8	75	137	174	118	46	77	200	234	75	3
	H min	0	0	31	99	79	76	10	7	106	183	32	0
BAFIA	H max	60	128	319	348	576	296	246	317	436	466	179	47
	Q sup	16	50	147	205	209	171	143	167	282	333	113	17
	H méd	7	20	105	161	169	146	84	131	227	276	77	4
	Q inf	0	5	62	105	148	96	49	100	159	218	46	0
	H min	0	0	3	42	76	34	4	54	79	160	0	0
NDIKI-NIMEKI	H max	100	143	344	283	298	239	171	189	441	477	199	101
	Q sup	27	50	147	201	191	184	108	157	282	342	107	15
	H méd	8	22	123	171	161	148	89	97	248	274	80	2
	Q inf	0	8	67	127	133	125	56	84	237	241	55	0
	H min	0	0	10	62	95	77	14	55	149	166	0	0
BAN-GANGTE	H max	44	84	248	259	285	268	222	253	390	435	170	170
	Q sup	10	42	142	173	160	197	177	188	296	289	103	21
	H méd	2	9	81	136	127	130	136	146	230	261	49	0
	Q inf	0	4	61	107	104	115	104	105	203	205	34	0
	H min	0	0	0	30	34	52	11	42	164	131	0	0
DSCHANG	H max	80	137	269	358	331	390	355	377	522	429	195	61
	Q sup	26	76	160	215	195	259	232	293	398	259	66	15
	H méd	6	33	137	181	168	226	212	226	301	224	45	7
	Q inf	0	20	106	147	139	185	171	189	275	205	23	0
	H min	0	0	31	92	67	125	130	131	123	152	1	0
BAFOUSSAM	H max	58	155	295	342	297	296	476	456	422	436	155	53
	Q sup	12	45	129	196	227	227	279	299	340	315	86	12
	H méd	2	19	96	159	178	201	236	213	294	269	65	1
	Q inf	0	3	59	139	154	169	185	167	248	236	47	0
	H min	0	0	17	95	89	53	84	101	149	158	0	0
FOUMBOT	H max	52	116	234	256	310	290	452	447	460	439	163	63
	Q sup	9	50	120	158	200	209	273	307	345	307	105	17
	H méd	0	18	91	135	153	165	228	241	301	244	59	1
	Q inf	0	0	48	112	123	140	174	210	259	207	33	0
	H min	0	0	25	55	59	77	82	111	176	125	0	0
YOKO	H max	77	104	218	209	366	409	294	315	400	439	189	69
	Q sup	18	36	113	154	221	187	187	257	336	354	102	13
	H méd	1	17	72	120	175	159	144	181	304	302	59	0
	Q inf	0	2	52	89	138	124	107	133	272	232	41	0
	H min	0	0	16	47	65	53	43	35	174	154	0	0
BETARE-OYA	H max	54	79	157	301	368	345	319	389	456	389	163	44
	Q sup	19	34	85	162	223	219	212	280	309	280	90	18
	H méd	1	23	71	131	151	159	163	215	268	244	46	7
	Q inf	0	5	39	99	124	131	118	164	242	213	20	0
	H min	0	0	9	29	91	33	51	66	99	124	0	0
KOUNDJA	H max	44	145	239	271	378	340	427	443	553	449	152	86
	Q sup	3	49	134	185	248	230	382	369	458	298	66	6
	H méd	0	13	91	152	180	213	336	316	345	251	55	0
	Q inf	0	0	75	133	176	162	268	262	278	246	47	0
	H min	0	0	27	93	85	113	115	169	188	132	0	0

Tableau 5.17 b. – Valeurs classées des pluviométries mensuelles (mm).

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
FOUMBAN	H max	29	130	198	303	399	290	463	424	524	463	193	78
	Q sup	5	34	133	176	222	206	327	357	364	304	99	14
	H méd	0	8	83	141	168	174	264	298	324	256	66	1
	Q inf	0	3	61	116	139	150	221	265	284	225	34	0
	H min	0	0	15	48	78	64	152	183	167	152	0	0
BAMENDA	H max	135	162	321	301	409	474	728	569	656	461	164	101
	Q sup	32	81	217	211	246	334	477	450	518	304	116	48
	H méd	10	49	149	179	164	291	429	348	472	244	68	15
	Q inf	0	11	128	152	152	253	380	306	426	183	36	0
	H min	0	0	45	87	44	131	251	181	342	87	0	0
BOUAR	H max	31	103	167	233	199	272	358	485	531	297	250	54
	Q sup	7	21	85	151	149	183	230	333	368	223	42	4
	H méd	0	4	57	108	129	135	178	286	241	170	24	0
	Q inf	0	0	47	86	112	112	141	228	197	134	6	0
	H min	0	0	6	31	34	48	36	131	142	0	0	0
BAMBUI	H max	103	227	270	302	358	453	625	478	712	604	163	94
	Q sup	13	19	213	218	291	298	413	429	446	345	67	16
	H méd	3	10	130	191	220	270	364	346	385	291	49	0
	Q inf	0	10	84	182	149	246	282	337	341	256	29	0
	H min	0	0	19	102	90	125	218	176	218	24	0	0
BANSO	H max	57	170	462	295	395	528	466	437	480	361	146	136
	Q sup	15	38	147	176	216	230	332	354	385	311	89	10
	H méd	3	7	114	141	170	204	297	306	339	244	48	0
	Q inf	0	0	79	110	144	174	253	225	288	200	21	0
	H min	0	0	17	45	89	119	150	144	193	119	0	0
MAYO-DARLE	H max	63	137	240	277	322	319	482	405	544	477	228	99
	Q sup	10	53	125	207	242	260	283	326	390	312	67	10
	H méd	0	3	81	164	180	221	250	270	364	259	39	0
	Q inf	0	0	57	141	176	174	212	249	312	226	20	0
	H min	0	0	6.	84	117	145	146	160	197	144	0	0
TIBATI	H max	48	120	213	206	281	322	552	494	466	404	161	48
	Q sup	0	6	98	161	205	248	325	323	358	291	65	4
	H méd	0	0	49	126	168	190	264	260	292	236	36	0
	Q inf	0	0	22	93	150	158	184	202	216	206	13	0
	H min	0	0	0	43	55	95	132	90	53	84	0	0
MEIGANGA	H max	53	74	183	199	438	378	534	465	488	429	157	54
	Q sup	3	16	96	153	236	246	357	312	366	254	47	6
	H méd	0	0	64	129	173	200	285	256	294	216	38	0
	Q inf	0	0	33	94	147	162	223	211	254	169	14	0
	H min	0	0	0	34	85	114	135	131	138	91	0	0
BANYO	H max	46	159	206	282	381	484	465	581	468	473	125	62
	Q sup	2	23	134	208	275	251	354	323	357	267	63	11
	H méd	0	0	82	156	199	216	260	234	298	224	34	0
	Q inf	0	0	33	131	164	188	236	207	245	177	11	0
	H min	0	0	0	88	74	116	124	105	165	83	0	0
NGAOUN-DERE	H max	29	23	161	296	366	368	537	522	462	322	90	19
	Q sup	0	0	66	202	235	275	330	343	307	175	15	0
	H méd	0	0	37	134	212	237	261	259	240	140	6	0
	Q inf	0	0	12	107	198	215	229	240	199	107	0	0
	H min	0	0	0	52	72	109	100	132	125	74	0	0
NGAMBE	H max	79	161	325	353	493	583	552	768	900	642	254	150
	Q sup	33	78	194	230	319	338	411	623	651	503	142	36
	H méd	14	51	162	191	229	263	337	552	546	446	120	16
	Q inf	1	22	118	160	177	201	287	480	445	382	92	4
	H min	0	3	69	74	103	153	207	341	184	312	42	0
NACHTIGAL	H max	70	124	320	309	394	257	133	272	308	483	376	100
	Q sup	34	50	135	205	221	157	61	84	201	315	161	30
	H méd	8	33	101	161	186	121	37	57	141	256	109	11
	Q inf	0	15	65	152	135	89	29	32	124	216	61	0
	H min	0	0	11	78	80	26	5	0	68	166	21	0

Nous retrouvons le même processus à l'est du bassin avec un léger décalage vers le sud, dans les hyétogrammes de Bertoua, Betare-Oya et Meiganga.

Le trait le plus spécifique du régime de mousson littoral est l'ampleur sans égale du paroxysme de juin à septembre ; Douala-Météo en fournit une excellente illustration. En effet en partant de Yaoundé et en allant vers l'ouest, outre une augmentation générale du total pluviométrique, l'on note surtout la transformation progressive de la petite saison sèche en un fléchissement de la pluviométrie (Eséka, Edea) pour arriver à un hyétogramme de type tropical dissymétrique : montée progressive avec maximum de juillet à septembre et chute en octobre-décembre. Douala présente son maximum en août, ce qui justifie l'appellation de « pseudo-tropical » parfois donnée à son régime. A Ngambe, on retrouve ce type de régime avec maximum en septembre et un mois de juillet plus faible.

Tableau 5.18. – Précipitations journalières (mm).

Station	N ans	1 fois par an	1 fois en 2 ans	1 fois en 5 ans	1 fois en 10 ans	1 fois en 20 ans	1 fois en 50 ans	1 fois en 100 ans
Edéa	37	98.8	114	134	150	165	186	201
Yaoundé	34	68.5	79.3	93.8	105	116	130	141
Ngambe	19	82.5	93.7	108	120	131	146	157
Batschenga	15	73.2	83.8	97.8	108	119	133	143
Yingui	12	71.8	81.0	93.1	102	111	123	132
Bertoua	28	72.6	84.1	99.3	111	122	138	150
Nanga-Eboko	27	72.2	83.5	98.6	110	122	137	148
Bafia	21	64.9	74.7	87.6	97.4	107	120	130
Ndikinimeki	19	64.4	73.6	85.6	94.7	104	116	125
Bangangté	18	57.5	65.3	75.6	83.4	91.1	101	109
Dschang	21	58.5	66.6	77.3	85.5	93.6	104	113
Bafoussam	24	58.3	66.2	76.7	84.6	92.5	103	111
Foumbot	22	54.3	61.5	71.0	78.1	85.3	94.7	102
Yoko	25	67.0	77.3	90.8	101	112	125	136
Bétare-Oya	17	67.0	77.6	91.7	102	113	128	139
Koundja	20	66.4	75.4	87.4	96.4	105	117	126
Kounden	17	70.2	79.7	92.3	102	111	124	133
Foumban	16	63.2	71.6	82.7	91.1	99.5	111	119
Mayo-Darle	13	62.8	71.1	82.1	90.4	98.7	110	118
Tibati	14	71.3	82.6	97.8	109	121	136	148
Meiganga	23	68.4	79.1	93.3	104	115	130	141
Banyo	21	66.9	76.9	90.3	101	111	124	135
Ngaoundere	28	61.9	71.4	83.9	93.5	103	116	125

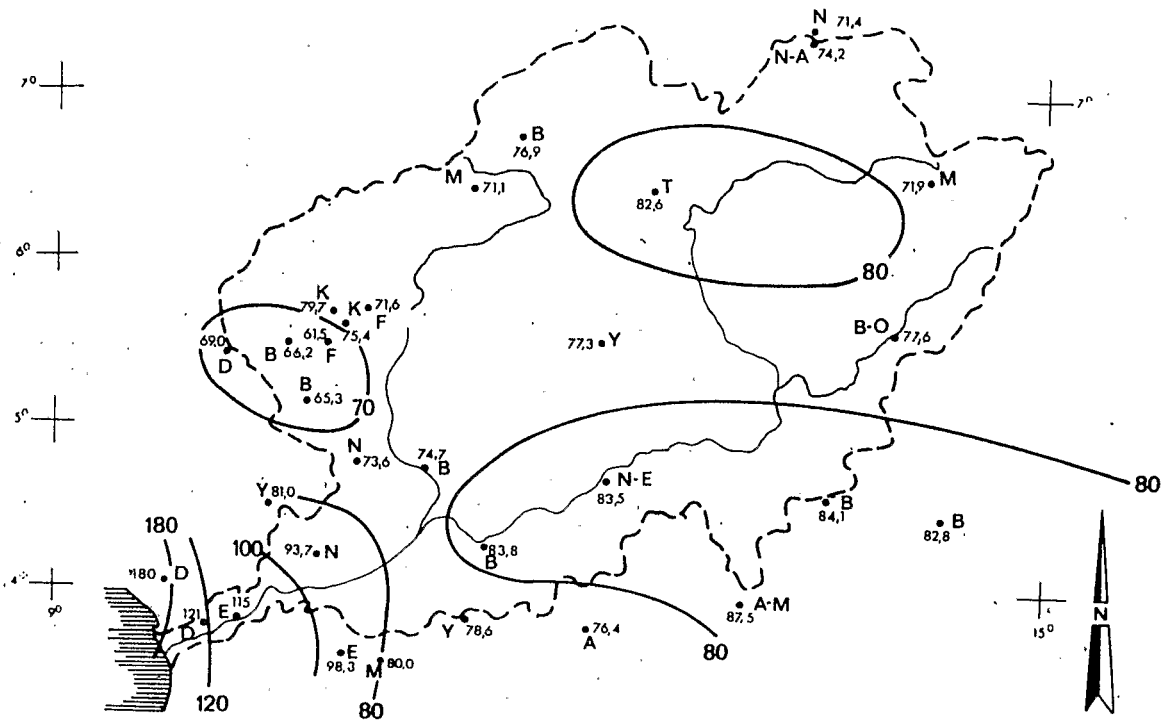


Fig. 5.15. – Lignes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité : une fois en 2 ans (Hauteur en mm).

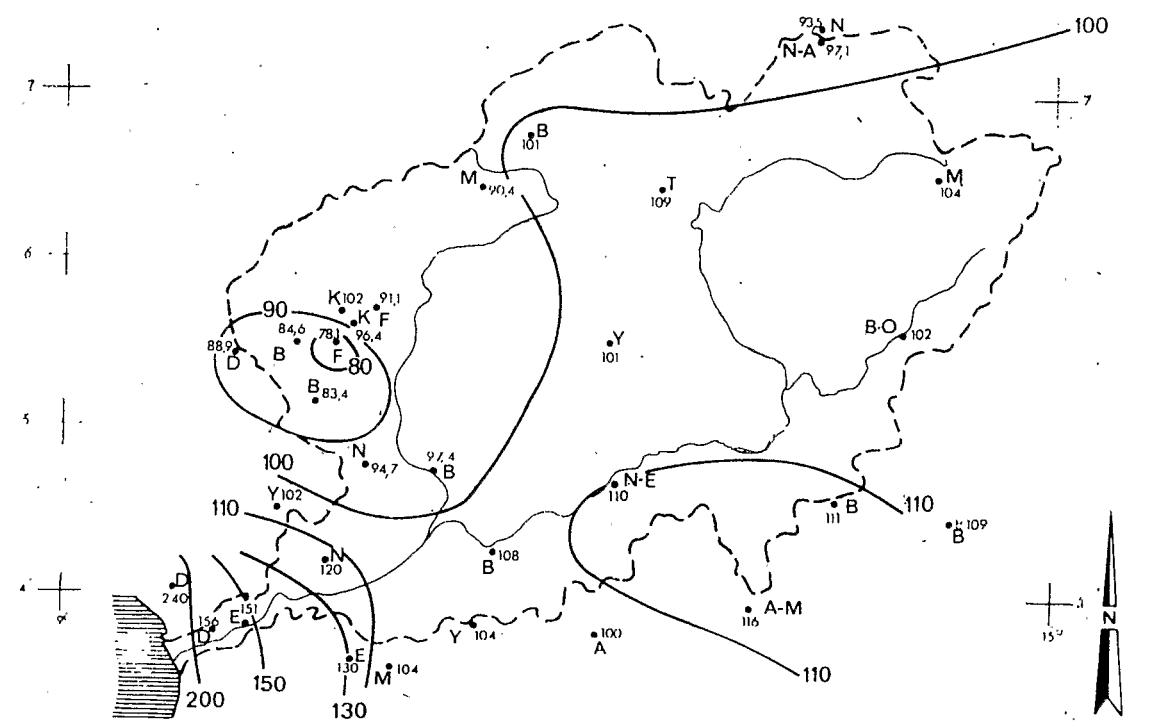


Fig. 5.16. – Lignes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité : une fois en 10 ans (Hauteur en mm).

Nous retrouvons les caractères océaniques dans toute la Dorsale camerounaise ; ils diminuent au fur et à mesure que l'on avance vers l'intérieur où cependant les effets normaux de la latitude et de la continentalité ne parviennent à s'imposer exclusivement : la mousson reprend le pas à la faveur du relief ; signalons aussi que le décalage entre les deux côtés de la Dorsale est particulièrement accusé ; l'intensité des pluies peut varier en fonction des conditions du site.

Ainsi en pays Bamiléké (Bafoussam, Bangangté), nous avons quatre à cinq mois d'une pluviosité approximativement égale, avant la pointe de septembre. A Bamenda, sur le flanc ouest de la Dorsale, le maximum juillet-septembre se maintient ; maximum que nous retrouvons à Koundja.

Maoy-Darle est le dernier poste à présenter une influence du fait de son site favorable : sommet d'une falaise exposé au sud-ouest dominant la plaine Tikar de plus de 500 m, à une centaine de kilomètres des derniers massifs susceptibles de faire écran aux vents océaniques. Banyo, un peu plus au nord, à l'abri, présente le même hyétogramme que Tibati et Meiganga.

Fréquence des précipitations mensuelles

On a rassemblé ci-après les valeurs des précipitations mensuelles qui ont respectivement 25, 50 ou 75 chances sur 100 d'être atteintes ou dépassées, cela pour les mêmes 32 stations de longue durée ; il s'agit de valeurs extraites des séries classées sans ajustement statistique.

Les écarts jouent dans de larges proportions, principalement en saisons sèches en régime équatorial, en saison des pluies en zone tropicale de transition ; cela est dû à une montée et descente plus ou moins précoce ou plus ou moins septentrionale du FIT.

2.2.3. Les précipitations journalières

On a déterminé pour 31 stations, les pluviométries journalières de diverses probabilités en utilisant une loi de Pearson III tronquée. Les valeurs obtenues et le nombre d'années complètes d'observation utilisées pour cette étude figurent au tableau 5.18 et les figures 5.15 et 16 représentent les lignes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité une fois en 2 et 10 ans.

CHAPITRE VI

Hydrologie du bassin de la Sanaga
Les données et leur interprétation

Il aurait été trop long de reprendre ici dans le détail l'information fournie dans la Monographie de la Sanaga, plus long encore d'actualiser les données pour l'ensemble des stations hydrométriques et des postes pluviométriques. D'ailleurs il n'est pas certain que l'on ait pu mieux cerner les caractéristiques des régimes hydrologiques étant donné le caractère déficitaire des années 70. De surcroît, la régularisation de l'écoulement des stations principales ne permettait plus pour elles une mise à jour facile puisqu'elle aurait impliqué une reconstitution des données journalières naturelles avec des méthodes rigoureuses.

Dès lors, si nous avons tenu à prendre en considération l'ensemble de l'étude d'interprétation des données, à discuter les résultats et leur éventuelle actualisation, il n'a pas paru nécessaire de donner ici pour toutes les stations l'ensemble des données de base élaborées. La Monographie de la Sanaga d'une part, les annuaires hydrologiques et météorologiques d'autre part pourront fournir cette information.

La carte schématique de la figure 6.1 indique l'articulation des différents bassins intermédiaires et des stations de mesure dont les résultats sont étudiés ici.

1. CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS ET DONNÉES DE BASE

1.1. Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques

Les observations de 25 stations hydrologiques ont été étudiées. Ces vingt cinq stations contrôlent l'écoulement de 24 bassins intermédiaires et l'exutoire à Edéa de la quasi-totalité du bassin de la Sanaga.

Les caractéristiques géométriques de chaque bassin, c'est-à-dire : superficie, périmètre stylisé, coefficient de forme de Gravelius, longueur du rectangle équivalent, indice de pente de Roche, indice global de pente [1], altitudes extrêmes et moyennes ont été indiquées dans le tableau 6.1.

La répartition hypsométrique de ces différents bassins n'a pas été rappelée ici ; la figure 6.2 donne cependant les courbes hypsométriques du bassin de la Sanaga à Edéa et de ceux des branches principales contrôlées à Goura et Nachtigal.

Un rapide examen de ces résultats montre que sur vingt cinq bassins, six d'entre eux ont un coefficient de forme supérieur ou égal à 1,40 (pour trois bassins, K_C et supérieur ou égal à 1,50). Les bassins les plus longiformes sont ceux de la Nianiang à Megengme $K_C = 1,65$ et du Choumi à Banok $K_C = 1,52$.

Ceux qui présentent les meilleurs indices de compacité sont :

- le Noun à Bamendjing $K_C = 1,03$,
- le Noun à Bafoussam $K_C = 1,10$.

---

(1) A représentant la superficie du bassin en km² et P la longueur du périmètre en km, on rappelle ci-après les expressions mathématiques de ces caractéristiques :

- le coefficient de forme de Gravelius $K_c = 0,282\ P\ A^{-1/2}$
- la longueur du rectangle équivalent

$$L\ km = A^{1/2}\frac{K_c}{1,128}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c}\right)^2}\right]$$

- l'indice de pente de Roche

$$I_p = L^{-1/2}\sum_{i=1}^{n}(a_i\ d_i)^{1/2}$$

où

- a_i représente la portion de la surface A du bassin comprise entre les courbes de niveau cotées c_i et c_{i-1}
- $d_i = c_i - c_{i-1}$
- l'indice global de pente, à partir des altitudes occupant 5 et 95 % du bassin sur la courbe de répartition hypsométrique

$$I_G = \frac{H\ 95\ \% - H\ 5\ \%}{L}\ \text{en m/km}$$

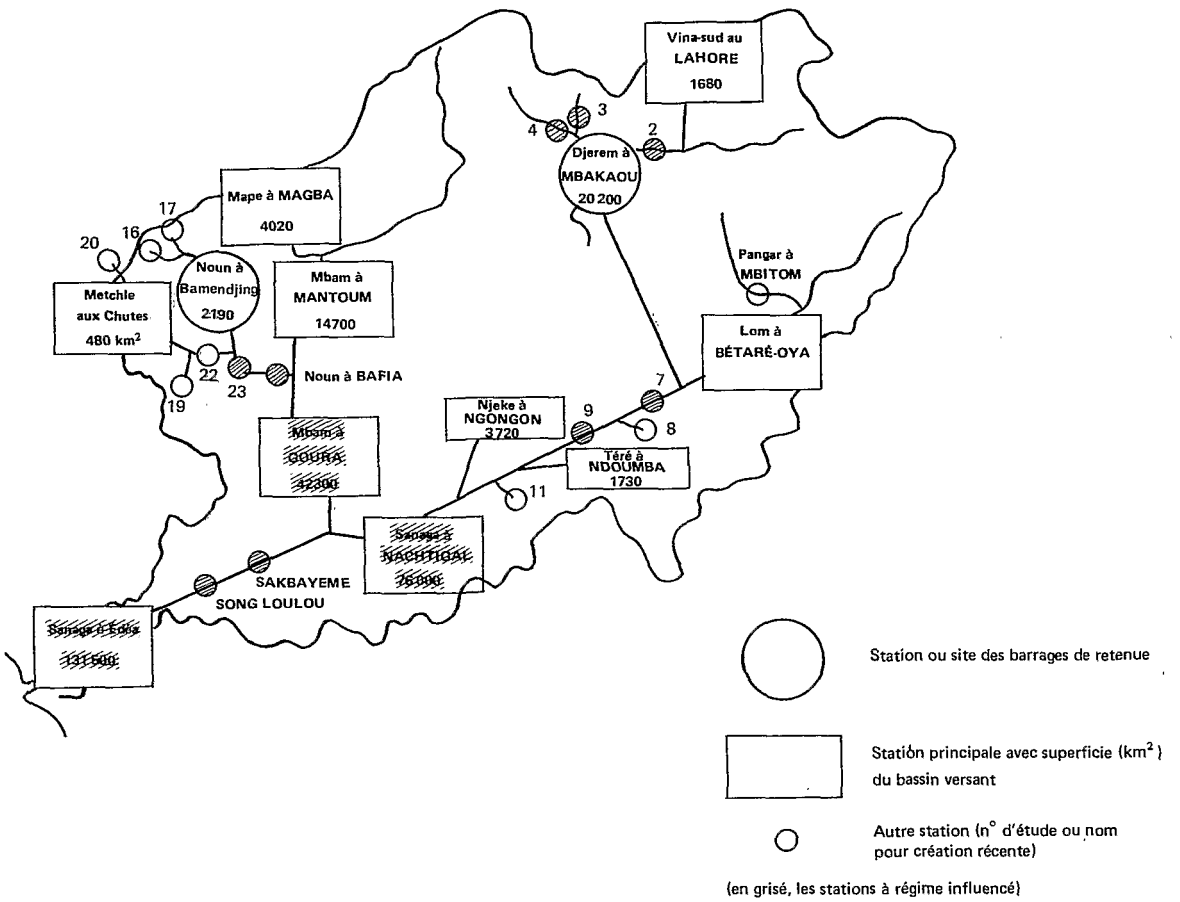


Fig. 6.1. – Le Bassin de la Sanaga (Principaux bassins étudiés).

Les altitudes moyennes sont élevées, variant de 1 560 m pour le Choumi à Banok à 630 m pour la Ndjeke à Ngongom. Plus de 2/3 des bassins ont une altitude moyenne supérieure à 900 m.

L'altitude aura donc une influence sur le régime hydrologique. Les pentes, dans l'ensemble fortes, sauf pour les bassins des affluents de la Moyenne Sanaga : Avea, Tere, Nianiang, Ndjeke, sont favorables à de forts débits spécifiques de crues.

Pour l'ensemble du bassin de la Sanaga à Edéa, il est à noter que près de la moitié du bassin se trouve entre les altitudes 600 et 900 m (46,9 %) et un tiers entre 900 et 1 500 m.

1.2. Données de base sur les précipitations

1.2.1. Précipitations moyennes reçues par le bassin de la Sanaga à Edéa de 1949-50 à 1969-70

A titre purement indicatif nous indiquons la chronologie des précipitations reçues par le bassin de la Sanaga à Edéa pendant les 26 années d'observations hydrologiques effectuées en absence de toute régularisation du fleuve. Ces précipitations moyennes établies sur l'année hydrologique ont été calculées par la méthode de Thiessen. Les résultats sont donnés ci-après :

Tableau 6.1. – Caractéristiques de forme des bassins.

N°	Bassin	Superficie km²	Périmètre km	Forme C	L km	I_G	I_p	Altitudes en m		
								maximale	moyenne	minimale
1	VINA au LAHORE	1 680	184	1,27	67	6,19	0,093	1 923	1 290	1 050
2	DJEREM à BETARE GONGO	11 000	419	1,12	105	4,76	0,078	1 923	1 050	840
3	MAOUOR au PONT	2 250	218	1,30	81,0	4,05	0,073	1 290	1 170	840
4	MENG à TIBATI	4 900	300	1,21	102	9,50	0,101	2 460	1 153	850
5	DJEREM à MBAKAOU	20 200	760	1,50	315	1,92	0,051	2 460	1 059	829
6	LOM à BETARE OYA	11 100	430	1,15	128	9,48	0,061	1 263	936	675
7	SANAGA à GOYOUM	50 500	1 010	1,27	370	1,59	0,049	2 460	925	630
8	AVEA à S 5	375	96	1,40	38,8	3,20	0,069	870	670	580
9	SANAGA à NANGA EBOKO	65 100	1 207	1,34	465	1,27	0,044	2 460	870	570
10	TERE à NDOUMBA	1 730	204	1,38	80,1	1,62	0,048	820	665	571
11	NIANIANG à MEGENGME	224	88	1,65	37,8	3,02	0,065	760	645	571
12	NDJEKE à NGONGOM	3 720	242	1,12	61	2,09	0,058	1 027	630	560
13	SANAGA à NACHTIGAL	76 000	1 380	1,42	555	1,06	0,042	2 460	835	426
14	MAPE à MAGBA	4 020	252	1,12	63,4			2 177		690
15	MBAM à MANTOUM	14 700	565	1,31	212			2 417		660
16	MONKIE à S 2	181	58,4	1,22	20,1			2 616		1 158
17	NOUN à BAMBALANG	632	107	1,20	35,8			3 008		1 143
18	NOUN à BAMENDJING	2 190	171	1,03	46,8			3 008		1 140
19	MIFI à BAMOUNGOUM	306	76	1,22	26,1	19,0	0,147	1 924	1 537	1 270
20	CHOUMI à BANOCK	360	103	1,52	42,6	11,0	0,126	2 740	1 560	1 385
21	METCHIE aux CHUTES	480	115	1,47	47	10,9	0,127	2 740	1 547	1 297
22	MIFI à BAFOUNDA	854	142	1,37	55,6	8,98	0,117	2 740	1 530	1 260
23	NOUN à BAFOUSSAM	4 740	267	1,10	68,8			3 008		988
24	MBAM au bac de GOURA	42 300	840	1,15	250	4,37	0,081	3 008	980	395
25	SANAGA à EDEA	131 500	1 585	1,23	550	1,82	0,055	3 008	860	6

1944-45 : 1 715
1945-46 : 1 605
1946-47 : 1 570
1947-48 : 1 700
1948-49 : 1 615
1949-50 : 1 755
1950-51 : 1 725
1951-52 : 1 730
1952-53 : 1 645
1953-54 : 1 620
1954-55 : 1 935
1955-56 : 1 920
1956-57 : 1 605
1957-58 : 1 740
1958-59 : 1 525
1959-60 : 1 620
1960-61 : 1 650
1961-62 : 1 560
1962-63 : 1 790
1963-64 : 1 470
1964-65 : 1 795
1965-66 : 1 660
1966-67 : 1 820
1967-68 : 1 570
1968-69 : 1 650
1969-70 : 1 850

Soit une moyenne de 1 686 mm.

1.2.2. Pluie moyenne interannuelle

La précipitation moyenne interannuelle sur les 25 bassins étudiés a également été calculée par la méthode de Thiessen sur la période homogénéisée 1930-1970 (40 ans).

En année hydrologique normale, la pluviométrie moyenne sur ces bassins est de :

1 662 mm pour le bassin de la Vina au Lahore
1 696 mm pour le bassin du Djerem à Betare-Congo
1 673 mm pour le bassin du Maouor au Pont
1 657 mm pour le bassin du Meng à Tibati
1 687 mm pour le bassin du Djerem à Mbakaou
1 684 mm pour le bassin du Lom à Betare-Oya
1 657 mm pour le bassin de la Sanaga à Goyoum
1 639 mm pour le bassin de l'Avea à S 5
1 621 mm pour le bassin de la Sanaga à Nanga-Eboko
1 639 mm pour le bassin de la Tere à Ndoumba
1 639 mm pour le bassin de la Nianiang à Megengme
1 715 mm pour le bassin de la Ndjeke à Ngongom
1 621 mm pour le bassin de la Sanaga à Nachtigal
1 944 mm pour le bassin de la Mape à Magba
1 897 mm pour le bassin du Mbam à Mantoum
1 956 mm pour le bassin de la Monkie à S 2
1 719 mm pour le bassin du Noun à Bambalang
1 861 mm pour le bassin du Noun à Bamendjing
1 777 mm pour le bassin de la Mifi à Bamoungoum
1 860 mm pour le bassin du Choumi à Banok
1 834 mm pour le bassin de la Metchie aux Chutes

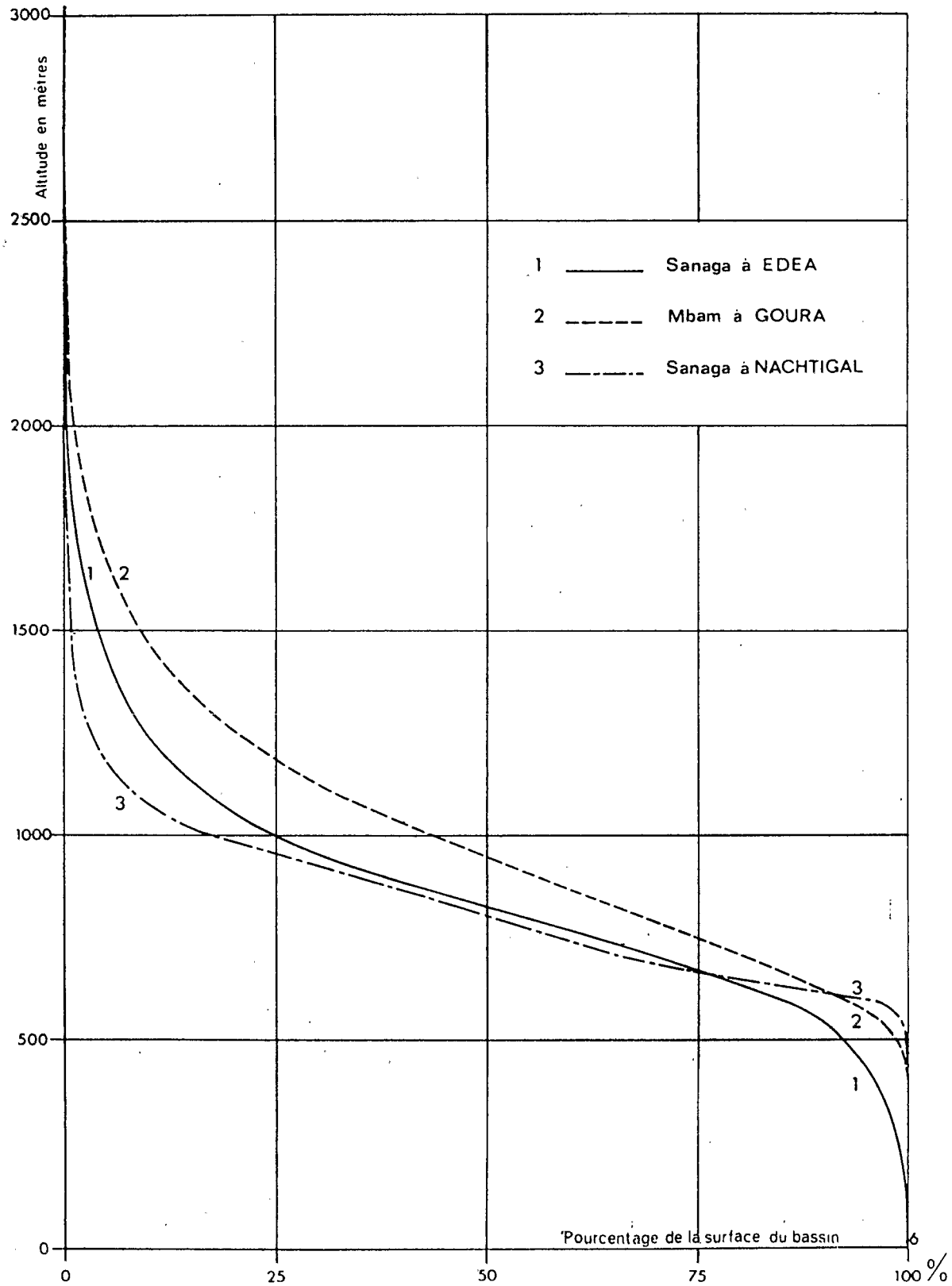


Fig. 6.2. – Hypsométrie du bassin de la Sanaga.

1 811 mm pour le bassin de la Mifi à Bafounda
1 853 mm pour le bassin du Noun à Bafoussam
1 763 mm pour le bassin du Mbam à Goura
1 687 mm pour le bassin de la Sanaga à Edéa.

1.3. Les débits

Les valeurs des débits mensuels et des débits caractéristiques ont été rappelées année par année pour quelques stations seulement :

– sur la branche Sanaga s.s., on a retenu les stations :

de la Vina au Lahore	dont le régime est resté naturel
du Djerem à Mbakaou	à l'aval du barrage de Mbakaou
du Lom à Betare-Oya	à régime naturel
de la Tere	à régime naturel
de la Njeke	à régime naturel
de la Sanaga à Nachtigal	à régime régularisé
de la Sanaga à Edea	à régime régularisé

– sur la branche affluente du Mbam, on a retenu les stations :

de la Mape à Magba	à régime naturel
du Mbam à Mantoum	à régime naturel
de la Metchie aux Chutes	à régime naturel
du Noun à Bamendjing	à l'aval du barrage de Bamendjing
du Mbam à Goura	à régime régularisé.

Compte tenu des différentes étapes de régularisation du bassin de la Sanaga, nous avons repris les moyennes calculées jusqu'en 1970, époque à laquelle l'ensemble des écoulements sur le bassin est encore naturel, puis calculé les moyennes actualisées soit en régime naturel, soit pour la période de régime influencé ou régularisé suivant les stations.

Pour les stations du bassin non citées plus haut, seules les moyennes obtenues avant toute régularisation ont été rappelées.

Les tableaux des débits mensuels donnent médiane, écart-type, moyenne et quartiles pour les stations dont le régime est encore naturel et rappellent les moyennes de la période étudiée précédemment (op. cit.). Pour les stations à régime influencé, seules les valeurs moyennes sont données, soit les moyennes de la période origine-1970, régime naturel (R.N.), éventuellement celles de la période origine-fin du régime naturel (R.N.) et enfin les moyennes de la période à régime régularisé (R.R.). Au bas des tableaux des débits caractéristiques, on n'a indiqué que les valeurs médianes et les quartiles ; ces derniers ne sont donnés que pour les stations principales à régime naturel. La détermination des débits caractéristiques d'étiage dépasse souvent le cadre de la simple année hydrologique et on ne considère comme débits de basses-eaux d'une année donnée, outre ceux de l'éventuelle petite saison sèche, que ceux qui suivent la saison de hautes-eaux (cf. 1.2.2.2). Cela exclut une détermination simple en calcul automatique.

Débits caractéristiques et débits mensuels ont été reproduits dans la figure 6.3 à titre d'exemple pour la Sanaga à Nachtigal et Edéa et pour le Mbam à Goura avec la même échelle des débits.

Par ailleurs quelques hydrogrammes annuels d'années sèches et humides illustrent pour huit stations cette partie « données de base ».

Quelques commentaires donnés pour le bassin Mbam puis le bassin Sanaga au niveau des débits spécifiques, en particulier, précèderont l'interprétation proprement dite des données.

1.3.1. Bassin du Mbam

Les hydrogrammes des stations principales observées sur le bassin du Mbam montrent une seule saison de hautes-eaux, avec deux mois (septembre, octobre) dont le débit moyen est supérieur au double du module et cinq mois – de juillet à novembre – où ce débit est supérieur au module. La saison sèche se manifeste par des débits inférieurs à la moitié du module pendant cinq mois de janvier à mai (6 mois pour Mantoum plus au nord). La crue annuelle est partout observée en moyenne en octobre et l'étiage en mars.

Les modules spécifiques sont de l'ordre de 20 à 24 l/s.km² sur les stations amont du bassin : 21,8 l/s.km² à Mantoum (321 m³/s), 23,8 à Magba sur la Mape (95,7), 21 sur la Metchié aux Chutes (10,1), 20,3 sur le Noun à Bamendjing (44,5), mais 23,0 sur le Noun à Bafoussam (109). A Goura, le débit spécifique du Mbam n'est que de 17,4 l/s.km² (736 m³/s), ce qui induit que les apports de ses affluents de rive gauche (Kim et Ndjim) sont spécifiquement plus faibles (bassins moins bien arrosés).

Les étiages absolus médians spécifiques varient de 0,5 l/s.km² à plus de 2,5 l/s.km² suivant les bassins, les plus faibles valeurs étant relevées au nord, Mantoum (0,78) et Magba (0,48), et les plus fortes relevées en pays bamiléké (2,11 l/s.km² pour le Noun à Bafoussam) ; l'étiage médian spécifique du Mbam à Goura est de 1,8 l/s.km².

L'étiage spécifique le plus faible a été relevé à Magba sur la Mape en 1973, 74 et 1977 : il est de 0,164 l/s.km².

Les débits spécifiques des maximums de crue dépendent de la superficie des bassins ; pour le Mbam à Goura, la médiane est de 61 l/s.km² et le maximum absolu de 77,3 l/s.km².

Tableau 6.2. – Rappel des valeurs moyennes des débits mensuels et annuels (m^3/s) avant mise en service des ouvrages de régularisation.

Station	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
le Djerem à Betare-Congo (11 000 km2) Moyenne 62-69	37.0	71.7	128	236	446	510	493	201	94.6	64.2	41.4	32.1	*197*
le Djerem à Mbakaou (20 200 km2) Moyenne 59-70	71.3	137	259	548	865	1179	1070	477	209	122	67.2	41.2	422
la Sanaga à Goyoum (50 500 km2) Moyenne 61-70	187	317	493	999	1510	2030	2110	1210	584	341	204	156	849
la Sanaga à Nanga-Eboko (65 100 km2) Moyenne 49-70	259	406	635	1106	1568	2346	2698	1605	729	444	283	221	1029
la Nianiang à Megengme (224 km2) Moyenne 63-70	1.31	1.72	1.77	1.40	1.38	2.99	4.33	2.87	1.46	1.03	0.78	1.04	1.83
le Meng à Tibati (4 900 km2) Moyenne 54-69	16.3	36.5	76.5	151	217	274	266	105	44.6	22.7	10.2	7.20	103
le Maouor au Pont (2 250 km2) Moyenne 62-69	6.80	11.8	27.5	54.3	99.8	130	119	50.4	22.0	10.6	5.00	2.80	45.2
le Noun à Bamendjing (2 190 km2) Moyenne 65-70	5.40	17.1	35.9	64.7	97.3	117	124	91.0	32.4	10.1	4.00	3.73	50.4
le Noun au Pont de Bafoussam (4 740 km2) Moyenne 52-70	25.7	43.9	73.1	135	179	231	270	186	81.5	35.4	20.1	19.1	109
la Mifi-Sud à Bamoungoum (306 km2) Moyenne 67-72	1.32	1.67	2.00	4.22	9.70	15.4	17.7	11.6	4.80	2.24	1.32	1.42	6.15
la Mifi-Sud à Bafounda (854 km2) Moyenne 67-72	4.53	5.97	6.77	16.1	25.5	41.7	47.8	27.8	12.3	6.68	3.76	4.56	16.4
le Choumi à Banok (360 km2) Moyenne 67-72	2.04	3.02	3.37	7.78	10.2	16.6	18.4	10.1	4.46	2.52	1.37	2.06	6.88

Tableau 6.3. – Rappel des valeurs moyennes des débits caractéristiques (m^3/s) avant mise en service des ouvrages de régularisation.

Station	D_{mini}	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	D_{Maxi}
le Djerem à Betare-Congo (11 000 km2) Médiane 62-69	18.7	20.6	25.6	49.8	119	328	540	611	683
le Djerem à Mbakaou (20 200 km2) Médiane 59-70	25.4	28.6	41.5	92.9	213	694	1120	1240	1330
la Sanaga à Goyoum (50 500 km2) Médiane 61-70	95.0	112	141	264	538	1330	2070	2310	2460
la Sanaga à Nanga-Eboko (65 100 km2) Médiane 49-70	141	154	209	335	651	1570	2530	2890	3110
la Nianiang à Megengme (224 km2) Médiane 63-70	0.23	0.35	0.50	0.89	1.36	2.23	3.52	5.87	9.77
le Meng à Tibati (4 900 km2) Médiane 54-69	2.28	3.12	5.31	18.1	56.2	178	292	361	430
le Maouor au Pont (2 250 km2) Médiane 62-69	1.64	1.99	3.17	8.61	27.0	74.7	132	151	180
le Noun à Bamen-djing (2 190 km2) Médiane 65-70	1.60	1.95	2.44	7.92	22.9	97.5	122	134	137
le Noun au Pont de Bafoussam (4 740 km2) Médiane 52-70	10.0	11.9	16.3	29.0	70.5	181	256	285	300
la Mifi-Sud à Bamoungoum (306 km2) Médiane 67-72	0.71	0.91	1.20	1.69	3.10	11.6	17.9	20.3	22.8
la Mifi-Sud à Bafounda (854 km2) Médiane 67-72	2.31	2.90	3.39	5.17	8.69	30.2	51.9	55.9	63.2
le Choumi à Banok (360 km2) Médiane 67-72	0.54	0.90	1.15	2.20	4.99	11.8	16.8	19.3	28.9

Tableau 6.4. – Mape au pont de Magba Amont.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52										25.5	15.7	4.41	
52-53	23.7	32.9	61.4	115	174	216	217	105	42.0	18.7	11.6	27.1	87.5
53-54	11.5	30.0	54.8	86.5	124	207	231	82.0	40.1	25.1	12.0	11.5	76.7
54-55	27.4	45.2	97.4	161	136	285	360	129	48.7	24.9	12.2	16.7	113
55-56	10.7	41.6	80.7	112	197	232	213	97.1	38.4	16.1	12.1	36.1	90.8
56-57	21.9	64.3	80.6	157	147	242	164	93.0	50.8	24.4	9.20	3.75	88.6
57-58	13.7	50.2	98.2	174	152	238	333	174	68.8	30.7	12.4	5.75	113
58-59	31.1	72.4	121	128	148	240	163	149	63.6	29.7	10.8	5.44	97.1
59-60	22.9	48.6	71.6	133	150	210	273	108	44.5	19.3	6.18	4.55	91.3
60-61	27.3	35.9	73.1	171	239	238	358	173	58.1	29.4	11.3	2.38	119
61-62	15.9	16.8	44.8	141	166	313	337	86.3	37.2	14.8	5.33	9.69	99.6
62-63	35.4	50.1	69.0	172	205	257	333	184	98.6	35.7	17.9	9.48	123
63-64	16.7	52.2	73.1	84.4	113	168	266	92.3	33.7	13.9	4.31	9.89	77.6
64-65	39.4	51.4	79.2	150	178	202	328	154	81.6	38.0	11.7	10.2	111
65-66	43.5	50.4	69.6	129	204	225	291	94.8	36.7	15.5	4.64	2.32	97.8
66-67	7.56	55.6	137	179	236	289	258	147	50.0	23.6	7.87	2.74	117
67-68	8.04	25.6	42.5	118	241	277	401	154	49.3	20.5	5.00	9.37	113
68-69	14.5	28.8	61.8	121	173	285	258	141	47.5	19.4	5.54	13.3	97.8
69-70	24.4	48.2	67.5	177	212	234	277	234	72.7	21.7	5.75	2.51	115
70-71	12.7	43.7	64.0	106	168	190	271	131	34.1	11.4	3.15	4.85	87.2
71-72	10.7	8.44	48.3	131	125	187	134	46.8	26.3	8.0	2.46	5.11	61.3
72-73	23.5	28.0	79.0	93.3	136	209	255	72.1	29.2	10.5	2.57	0.94	78.7
73-74	7.35	29.7	46.8	92.6	147	177	165	72.0	31.0	10.3	2.04	0.82	65.5
74-75	22.0	34.2	77.2	150	175	296	295	147	48.0	19.5	6.61	4.70	107
75-76	11.5	26.4	54.9	103	108	176	231	103	47.2	19.1	9.57	7.05	75.0
76-77	14.7	40.5	78.3	158	210	224	257	157	50.4	23.2	6.47	1.29	102
77-78	2.93	17.6	44.1	144	162	254	226	65.7	24.8	8.3	2.92	2.43	80.1
78-79	19.3	34.9	77.0	110	147	305	309	179	47.1	17.4	4.56	3.09	105
79-80	9.96	54.9	62.8	158	207	231	200	139	51.0	22.1	5.40	2.33	95.6
80-81	3.56	30.2	63.2	92.5	142	311	353	161	48.1				
Moy 52-70	*21.9*	*47.0*	*80.6*	*138*	*179*	*242*	*289*	*136*	*53.6*	*23.3*	*9.20*	*10.5*	*102*
MED.	15.9	40.5	69.6	131	166	234	266	131	47.5	19.5	6.47	4.85	
ET.	10.3	14.6	21.5	29.7	37.5	42.3	67.3	43.3	16.5	7.6	4.22	7.84	
MOYE.	18.4	39.6	71.7	133	170	239	267	127	48.3	20.6	7.84	7.58	95.7
Q_1	24.0	50.3	79.1	158	204	281	330	155.5	50.9	25.0	11.6	9.80	
Q_3	10.7	29.2	58.1	108	144	208	221	92.6	36.9	15.1	4.60	2.50	

Tableau 6.5. – Mape à Magba.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1952-53	06/2	4.82	6.25	9.37	19.0	54.1	140	219	264	273	11/10
53-54	04/3	6.39	6.96	9.72	24.8	45.4	103	211	>273	273	09/10
54-55	–	–	–	–	*19.0*	68.9	151	316	406	465	28/09
55-56	19/2	3.60	7.57	11.8	41.8	57.5	167	220	251	316	29/09
56-57	29/3	1.26	2.75	–	19.0	74.1	*136*	186	208	220	10/10
57-58	23/3	2.75	4.94	7.88	21.4	88.9	173	294	338	471	01/10
58-59	15/3	2.93	3.70	6.11	25.6	87.7	151	191	274	355	24/09
59-60	11/3	2.11	2.75	4.13	20.9	61.6	143	233	281	462	16/10
60-61	26/3	0.80	1.12	5.05	17.3	61.6	207	316	383	467	12/10
61-62	03/3	3.11	3.70	5.59	19.0	44.4	161	314	458	536	25/09
62-63	27/3	5.06	6.11	10.3	24.6	75.9	198	301	356	389	12/10
63-64	06/3	1.36	1.59	3.70	22.0	54.1	112	209	326	375	12/10
64-65	31/3	4.58	7.26	9.20	32.2	80.1	168	249	389	449	02/10
65-66	29/3	1.59	1.97	2.75	10.3	58.2	167	266	329	375	15/10
66-67	22/3	1.84	1.97	2.93	12.5	85.4	203	283	311	375	21/09
67-68	04/3	2.26	2.75	4.35	15.5	43.9	201	308	453	551	12/10
68-69	25/2	2.75	4.13	7.11	20.0	50.5	161	257	335	483	30/09
69-70	06/4	0.93	1.12	2.58	17.5	77.0	196	283	398	499	02/10
70-71	07/3	1.42	1.77	3.05	12.0	53.6	156	227	305	376	31/10
71-72	27/2	1.17	1.53	3.11	7.42	31.1	110	170	201	228	17/09
72-73	11/3	0.66	0.67	1.47	14.0	46.2	110	230	268	384	07/10
73-74	25/2	0.66	0.66	0.86	8.20	39.3	121	173	199	281	24/09
74-75	16/3	1.97	2.75	5.31	18.0	59.0	172	285	360	390	02/09
75-76	10/3	3.81	6.11	7.26	13.3	49.0	114	202	238	285	09/10
76-77	26/3	0.66	0.86	2.42	17.0	66.6	193	251	273	308	18/10
77-78	08/3	0.93	1.47	2.75	5.84	29.1	147	240	283	341	25/09
78-79	21/3	1.36	1.84	3.11	14.8	57.2	153	316	380	444	15/09
79-80	19/3	1.36	1.84	2.75	13.5	60.5	182	226	273	311	29/08
MED.		1.84	2.75	4.59	18.0	57.2	156	247	311	376	
Q1		3.11	3.81	6.67	24.6	74.1	182	294	380	465	
Q3		0.93	1.53	2.93	13.5	46.2	136	210	273	308	

Tableau 6.6. – Mbam à Mantoum.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1965-66	78.0	171	241	444	728	731	871	314	131	51.6	21.2	11.0	318
66-67	85.5	236	524	602	825	887	873	450	163	80.8	38.3	21.5	401
67-68	33.0	90.0	136	406	765	1050	1230	448	162	86.9	39.6	51.3	376
68-69	62.7	112	223	463	655	949	851	516	188	89.2	36.4	79.4	354
69-70	101	196	269	644	761	820	898	707	204	99.2	40.8	26.7	399
70-71	77.3	184	257	375	640	679	893	454	144	69.1	30.6	42.1	322
71-72	65.1	44.8	176	471	504	666	502	162	88.2	29.5	12.6	26.4	230
72-73	77.0	81.6	259	327	451	672	747	224	84.0	37.1	14.2	11.0	250
73-74	46.9	139	188	306	532	618	539	233	95.0	37.3	13.6	11.5	231
74-75	93.3	107	278	511	644	978	916	531	164	73.4	30.9	28.8	365
75-76	56.8	94.1	180	344	399	670	824	345	171	76.2	47.2	36.4	271
76-77	68.0	142	245	534	750	840	833	533	164	83.8	29.6	8.87	355
77-78	18.0	74.4	166	495	586	845	690	201	85.1	39.3	17.2	18.3	271
78-79	77.7	135	253	387	570	1010	906	528	153	66.1	22.6	18.2	345
79-80	51.1	226	284	543	722	694	656	553	162	75.7	27.8	19.1	335
80-81	30.9	112	198	381	556	953	1060		155				
Moy 65-70	*72.0*	*161*	*279*	*512*	*747*	*887*	*945*	*487*	*170*	*81.5*	*35.2*	*38.0*	*369*
MED.	66.5	123.5	243	453	642	830	861	450	158	73.4	29.6	21.5	
ET.	23.3	55.5	87.3	98.7	123	143	180	159	37.4	22.0	11.0	18.9	
MOYE.	63.9	134	242	452	630	816	831	413	145	66.3	28.2	27.4	321
Q1	77.8	177	264	522	739	951	902	531	164	83.8	38.3	36.4	
Q3	49.0	92.0	184	378	544	675	718	233	113	39.3	17.2	11.5	

Tableau 6.7. – Mbam à Mantoum.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1965-66	12/3	8.56	9.52	13.4	60.2	232	592	837	955	1070	15/10
66-67	08/3	17.3	18.6	23.7	52.4	293	729	899	1080	1230	21/09
67-68	11/4	16.7	24.5	28.8	75.5	153	680	1080	1380	1600	12/10
68-69	26/2	21.4	28.8	47.6	92.3	204	585	888	1040	1380	01/10
69-70	28/3	11.5	19.3	25.3	90.9	245	704	905	1150	1480	02/10
70-71	22/2	22.9	27.0	32.5	49.4	143	551	755	1040	1320	01/11
71 72	28/2	8.56	9.88	16.7	37.5	110	437	632	757	818	06/09
72-73	15/3	6.48	7.54	12.4	45.3	136	386	709	815	1010	19/10
73-74	10/3	8.86	9.88	11.6	38.6	146	419	589	700	885	21/08
74-75	15/3	12.9	16.1	24.5	65.5	203	633	952	1060	1140	22/09
75-76	11/3	27.9	32.5	37.9	61.1	160	404	724	849	1120	04/10
76-77	31/3	6.48	6.76	13.9	67.9	216	653	864	989	1150	08/09
77-78	06/3	9.18	12.4	16.7	40.8	143	511	765	940	1270	26/09
78-79	23/3	9.70	13.4	17.3	66.2	200	501	992	1110	1350	17/09
79-80	21/3	11.9	14.4	19.3	58.5	237	597	784	876	980	20/08
MED.		11.5	14.4	19.3	60.2	200	585	837	989	1150	
Q1		16.7	22.2	30.6	74.1	216	653	905	1080	1350	
Q3		8.56	9.88	13.9	45.3	146	437	724	849	1010	

Tableau 6.8. – Metchie aux Chutes.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1958-59										4.13	2.02	2.87	
59-60	3.94	8.58	9.70	14.5	15.9	24.7	30.2	18.2	7.73	3.76	2.17	1.96	11.8
60-61										3.28	2.56	2.85	
61-62													
62-63													
63-64										3.28	2.56	2.85	
64-65	4.82	3.60	3.68	5.69	4.10	13.1	21.2	17.5	7.37	4.51	2.91	2.77	7.62
65-66	3.84	4.63	6.56	13.4	21.0	22.9	21.2	11.8	6.08	3.17	1.96	1.72	9.90
66-67	6.20	8.74	12.2	12.7	17.2	25.2	22.0	14.0	6.60	3.65	2.12	1.48	11.0
67-68	2.64	2.25	3.27	11.0	16.1	23.7	29.7	15.6	6.64	4.11	2.25	3.42	10.1
68-69	3.25	2.93	4.13	6.16	18.7	23.9	20.3	11.2	5.21	2.83	1.40	4.27	8.73
69-70	3.84	8.95	7.75	12.6	17.0	30.5	29.6	19.3	7.93	4.10	1.92	1.40	12.1
70-71	2.38	2.99	4.00	7.26	7.37	14.1	21.1	17.0	6.21	3.46	1.65	2.44	7.50
71-72	2.28	2.67	3.15	12.5	12.6	20.6	32.9	12.3	6.50	2.74	1.44	1.70	9.28
72-73	3.33	2.77	3.42	4.74	11.7	19.2	17.8	8.71	3.68	2.03	1.16	1.30	6.68
73-74	1.80	3.60	5.28	4.76	7.39	20.6	16.9	7.32	3.46	1.63	0.98	1.31	6.27
74-75	3.15	2.64	6.79	8.99	11.3	23.5	26.9	14.1	6.27	3.97	3.94	3.12	9.58
75-76	4.59	2.98	5.92	14.7	18.4	20.3	41.2	23.0	10.9	6.01	5.23	4.84	13.2
76-77	7.05	4.00	6.06	11.1	18.0	27.6	36.6	25.2	11.3	7.49	4.28	1.60	13.4
77-78	2.54	4.69	7.22	12.8	17.2	28.8	30.2	14.2	7.21				
Moy 59-70	*4.08*	*5.67*	*6.76*	*10.9*	*15.7*	*23.4*	*24.9*	*15.4*	*8.15*	*3.73*	*2.10*	*2.40*	*10.2*
MED.	3.60	3.60	5.99	11.0	16.5	23.6	24.4	14.9	6.62	3.81	2.07	2.24	
ET.	1.50	2.40	2.55	3.67	5.12	5.0	7.2	5.03	2.22	1.52	1.25	1.15	
MOYE.	3.71	4.40	5.94	10.2	14.3	22.6	26.6	15.3	6.87	3.77	2.38	2.46	10.1
Q1	4.60	4.70	7.22	12.8	18.0	25.2	30.2	18.2	7.73	4.13	2.91	3.12	
Q3	2.64	2.93	4.00	6.16	11.3	20.3	21.1	11.8	6.08	2.83	1.44	1.48	

Tableau 6.9. – Metchie aux Chutes.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1958-59	10/3	1.11	1.38	1.98	*5.90*						
59-60						9.77	16.6	27.5	30.7	41.7	11/10
63-64	29/3	1.11	1.38	1.98	*4.70*						
64-65	06/3	1.29	1.57	2.20	3.76	4.85	8.29	20.4	24.3	28.7	04/11
65-66	07/3	0.87	1.11	1.77	3.91	7.04	18.1	22.7	24.3	25.2	06/09
66-67	14/3	0.87	1.03	1.43	2.37	10.1	15.4	23.7	26.5	33.9	15/09
67-68	12/4	1.11	1.47	1.98	3.33	5.36	16.4	28.4	30.0	37.6	21/10
68-69	23/2	0.80	1.29	1.98	3.47	4.85	14.5	23.2	26.2	29.4	18/09
69-70	31/3	0.80	1.04	1.38	2.43	8.84	18.1	30.7	34.3	37.6	04/10
70-71	22/2	1.24	1.37	–	–	5.11	11.1	19.3	23.0	32.5	02/11
71-72	28/3	0.84	1.03	1.29	2.20	–	–	–	33.0	83.0	12/10
72-73	13/3	0.41	0.66	0.91	2.20	3.56	10.1	18.3	20.4	28.3	05/09
73-74	19/2	0.53	0.59	0.84	1.67	4.06	7.55	16.9	24.8	31.0	17/09
74-75	15/3	1.35	2.20	2.74	3.40	6.46	12.1	25.5	30.7	35.9	25/09
75-76	17/5	2.55	3.61	3.98	4.69	8.95	18.0	33.1	43.3	51.8	10/10
76-77	26/3	1.08	1.29	1.87	5.02	8.84	22.9	32.1	38.5	46.1	05/10
MED.		0.87	1.18	1.64	3.26	6.03	14.9	23.4	26.3	33.2	
Q1		1.11	1.49	2.17	3.87	8.72	18.05	29.4	32.5	37.6	
Q3		0.80	1.01	1.38	2.50	5.02	10.6	20.1	24.3	29.0	

Tableau 6.10. – Noun à Bamendjing.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Module
1965-66	5.23	18.3	29.9	58.4	85.2	107	103	73.5	22.8	7.46	2.59	1.41	43.1
66-67	6.18	35.7	78.0	79.8	108	124	120	77.1	28.9	8.50	3.55	1.24	56.2
67-68	1.16	3.16	7.20	44.1	97.2	111	166	136	45.9	14.2	5.08	6.16	53.2
68-69	4.56	8.80	25.0	56.8	82.9	108	92.8	64.4	24.4	8.13	3.32	7.30	40.7
69-70	10.0	19.4	39.4	84.3	113	133	140	104	40.2	12.0	5.47	2.54	58.9
Moy. 65-69	*5.40*	*17.1*	*35.9*	*64.7*	*97.3*	*117*	*124*	*91.0*	*32.4*	*10.1*	*4.00*	*3.73*	*50.4*
1970-71	4.33	14.8	42.6	45.4	90.3	97.4	94.3	86.6	29.3	10.7	4.35	4.06	43.7
71-72	7.77	8.61	13.5	64.4	105	108	124	62.2	19.9	7.36	2.89	1.68	43.8
72-73	3.14	5.84	17.6	42.7	70.0	92.1	99.4	56.1	15.3	5.45	2.26	1.00	34.2
73-74	2.08	7.74	17.8	24.7	44.2	83.8	81.5	49.9	-	5.02	1.61	0.93	
R.N. 65-74 Moyenne	5.11	12.3	30.1	55.6	88.4	107	113	78.9	28.3	8.78	3.46	2.92	44.5
1974-75	6.85	0.67	0	0	0	0	0	0	31.6	123	143	125	
75-76	129	79.1	0.69	0	0	0	0	0	0	78.9	47.4	38.7	31.1
76-77	61.4	80.2	0	0	0	0	125	56.0	6.33	78.7	165	145	59.8
77-78	168	110	2.14	0	0	0	0	0	55.2	104	102	95.3	53.1
78-79	55.9	0	0	0	0	0	0	0	1.04	114	137	125	36.1
R.R. 74-79 Moyenne	*104*	*67.3*	*0.57*	*0*	*0*	*0*	*25.0*	*11.2*	*18.8*	*99.7*	*119*	*106*	*46.0*

Tableau 6.11. – Mbam à Goura.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Module
1951-52	150	470	580	996	1070	1600	2160	1350	469	236	135	89.0	*784*
52-53	182	326	468	732	1130	1550	1840	1030	343	126	118	194	673
53-54	156	229	432	818	839	1650	1830	953	375	228	172	163	656
54-55	242	387	814	1100	895	2100	2320	1250	472	241	177	220	854
55-56	211	474	801	1080	1390	1740	2110	1250	490	277	217	*333*	868
56-57	521	449	818	987	987	1550	1780	1220	546	*267*	141	101	783
57-58	208	432	799	1140	1290	1680	2180	1480	748	317	163	123	884
58-59	231	565	729	801	1000	1480	1420	1220	*617*	264	124	94.9	715
59-60	177	337	491	760	984	1490	2270	1350	484	236	118	86.4	735
60-61	197	258	530	952	1380	1650	2120	1330	521	275	141	68.6	790
61-62	144	183	313	905	832	1490	2230	1040	377	*168*	96.7	121	662
62-63	221	329	472	1040	1100	1880	2170	1600	772	326	186	151	857
63-64	226	415	259	544	871	1300	1640	849	317	166	91.9	85.5	566
64-65	240	331	461	898	778	1420	2360	1340	472	247	143	134	739
65-66	203	400	492	835	1290	1540	1920	*1040*	*389*	172	94.5	70.6	*708*
66-67	224	638	1030	1070	1450	1600	1870	1290	443	202	111	69.5	837
67-68	83.3	143	240	717	1270	1690	2570	1250	463	230	105	129	745
68-69	148	260	498	900	1240	1830	1800	1270	468	212	116	263	755
69-70	294	415	610	1200	1480	1840	1990	1590	564	273	138	101	878
Moy. 51-70	*214*	*371*	*570*	*920*	*1120*	*1636*	*2031*	*1247*	*491*	*235*	*136*	*137*	*762*
1970-71	179	326	522	693	1121	1363	1836	1236	373	175	95.8	116	670
71-72	147	132	296	831	1074	1458	1511	572	283	124	75.0	82.8	549
72-73	140	176	409	477	848	1277	1675	661	232	116	49.9	34.8	508
73-74	85.0	281	384	501	878	1378	1430	741	279	114	55.0	47.8	514
R.N. 51-74 Moyenne	200	346	541	869	1096	1724	1958	1170	456	217	124	125	736
1974-75	165	209	504	742	1030	1685	1926	1223	407	254	197	155	708
75-76	209	218	225	534	618	1084	1844	938	439	239	164	129	553
76-77	197	395	–	776	1175	1451	1855	–	449	306	279	199	
77-78	233	273	287	783	974	1578	1550	504	264	222	166	139	581
78-79	200	269	414	633	866	1805	1985	1362	384	262	210	203	716
79-80	254	439	540	879	1158	1276	1306	1075	349	223	186	171	655
R.R. 74-80 Moyenne	*210*	*301*	*394*	*725*	*970*	*1530*	*1744*	*1020*	*382*	*251*	*200*	*166*	*658*

Tableau 6.12. - Mbam à Goura.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	23/3	82.0	85.0	94.5	211	627	1170	2050	2250	2530	28/10
52-53	03/2	82.0	85.0	105	191	407	1080	1730	1930	2250	16/10
53-54	10/3	101	120	155	240	407	984	1730	2100	2300	14/10
54-55	26/2	120	129	166	240	658	1220	2120	2710	2930	29/09
55-56	14/2	191	204	240	352	686	1360	1910	2150	2650	21/10
56-57	19/3	85.0	94.5	109	225	714	1140	1720	1910	2290	11/10
57-58	26/3	91.3	116	129	268	817	1300	2030	2220	2710	05/10
58-59	14/3	66.1	73.6	97.9	204	703	1170	1420	1630	1820	26/09
59-60	09/3	73.6	79.1	94.5	184	519	1090	1820	2590	2910	19/10
60-61	24/3	57.3	61.5	85.0	166	538	1320	2010	2280	2660	02/10
61-62	04/3	66.1	85.0	101	178	533	1020	1900	2300	2850	18/10
62-63	22/3	101	112	149	232	575	1370	2120	2300	2580	30/09
63-64	05/3	59.3	61.5	82.0	197	389	779	1540	1690	1780	08/10
64-65	08/4	71.0	79.1	109	225	454	947	2140	2550	2760	27/10
65-66	11/3	59.3	63.7	79.1	172	472	1150	1720	2000	2140	30/10
66-67	18/3	59.3	61.5	76.3	120	751	1380	1810	1950	2200	28/10
67-68	14/4	76.3	85.0	94.5	166	333	1220	1920	2880	3270	14/10
68-69	22/2	88.1	101	149	259	491	1220	1810	2010	2320	02/10
69-70	07/4	71.0	88.1	97.9	211	603	1480	1980	2290	2880	04/10
MED.		76.3	85.0	101	211	538	1170	1900	2220	2580	

1.3.2. Bassin de la Sanaga

Les hydrogrammes ne présentent aussi qu'une seule saison de hautes-eaux pendant laquelle les débits sont assez soutenus en particulier sur le haut Djerem où on observe trois mois (août à octobre) supérieurs au double du module ; la crue est alors observée en septembre ; sur la Vina et plus au sud on observe deux mois seulement de débits supérieurs au double du module : septembre, octobre et pour la Njeke octobre, novembre. La crue est en octobre. Dans l'ensemble, il y a aussi 5 mois de débit plus grands que le module sauf pour la Njeke où il n'y a que septembre, octobre, novembre et la Sanaga à Edéa du mois d'août à celui de novembre. La saison de débits inférieurs à la moitié du module est de 6 mois dans le nord (sauf pour la Vina) et cinq mois plus au sud (4 mois pour la Njeke). L'étiage absolu est observé en mars. L'influence équatoriale se fait sentir sur la Tere et la Njeke par le palier observé de mai à août.

Les modules spécifiques moyens varient de 15 à 22 l/s.km². Sur le bassin amont, les valeurs sont plus fortes : 22,1 l/s.km² sur la Vina (37,1 m³/s), 20,1 sur le Maouor, 21,0 sur le Meng et 20,9 sur le Djerem à Mbakaou (422 m³/s). A l'est et au centre du bassin, les valeurs tombent : 15,8 pour le Lom (175 m³/s), 16,8 pour la Sanaga à Goyoum, 15,8 à Nanga Eboko et 15,1 à Nachtigal (1 150 m³/s). On a donc une zone de plus faible écoulement sur le centre du bassin dû à des précipitations moins importantes et on ne peut ignorer les modules spécifiques de la Tere et de la Njeke qui, bien que calculés sur la période déficitaire, traduisent bien le moindre écoulement du bassin moyen avec seulement 10,1 l/s.km².

Tableau 6.13. – Vina du sud au Lahore.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52	5.35	9.01	23.2	45.7	55.4	64.9	77.6	60.0	30.0	15.6	11.1	6.62	33.8
52-53	5.57	20.6	26.0	49.0	63.6	94.8	86.7	47.1	25.7	16.9	10.4	9.40	38.1
53-54	9.30	8.65	11.3	23.7	56.1	87.1	84.0	37.1	21.2	14.2	9.48	8.85	31.0
54-55	8.90	13.8	45.6	57.3	60.0	98.6	98.7	45.1	25.4	16.6	11.0	7.94	40.9
55-56	6.36	12.2	19.6	52.5	70.9	67.2	110	57.1	27.6	17.5	13.6	12.2	39.0
56-57	11.7	13.4	31.7	66.0	72.2	90.1	63.0	30.0	19.5	13.3	8.63	5.18	35.6
57-58	6.82	17.7	30.4	67.7	75.0	92.9	96.9	48.2	39.2	32.3	11.0	6.80	44.0
58-59	7.56	18.9	38.7	62.9	57.3	78.5	88.4	43.1	23.1	15.8	10.3	6.31	37.7
59-60	9.34	22.6	42.1	72.5	88.1	92.6	72.6	33.2	20.5	14.0	9.38	3.43	40.1
60-61	12.1	27.2	40.6	58.1	68.5	80.4	84.6	51.5	27.3	17.4	11.5	7.28	40.7
61-62													
62-63	12.0	26.0	46.5	59.9	65.0	95.1	79.2	44.0	26.2	16.8	10.9	7.14	40.9
63-64	11.0	27.0	26.0	35.7	68.5	93.9	89.4	41.0	23.5	15.8	10.6	9.09	37.7
64-65	12.2	32.0	40.5	52.6	65.8	96.9	72.3	38.6	22.1	15.2	10.4	7.21	39.0
65-66	8.75	18.6	31.7	84.7	95.1	90.4	72.8	32.9	20.0	14.3	10.4	5.91	40.7
66-67	11.3	39.2	46.6	83.4	74.2	92.0	74.5	33.3	20.3	14.3	8.10	5.95	42.2
67-68	8.72	19.8	32.2	39.9						14.2	9.52	6.69	
68-69	11.0	20.1	33.7	55.7	71.7	70.4	61.1	30.4	18.0	12.3	8.11	8.22	33.6
69-70	13.0	18.5	36.9	76.8	79.9	112	91.2	46.6	26.1	17.4	11.7	7.53	45.0
70-71	10.6	15.4	27.0	63.8	82.4	84.9	56.7	28.1	17.6	12.2	8.07	6.44	34.6
71-72	9.48	9.88	26.8	70.4	70.1	81.9	48.0	24.1	15.4	10.8	6.69	4.74	31.6
72-73	9.55	10.8	26.7	33.7	51.2	59.6	61.7	27.6	16.6	11.1	6.73	3.69	26.7
73-74	7.68	13.2	19.2	38.4	55.3	62.4	46.5	22.7	14.2	9.57	5.75	3.73	25.0
74-75	13.4	30.2	38.2	67.9	76.9	110	99.4	39.0	21.9	15.4	10.3	6.81	44.3
75-76	7.60	20.8	23.3	60.4	71.1	102	87.1	39.6	23.7	15.8	10.9	7.64	39.3
76-77	6.85	15.0	46.5	69.7	98.3	94.5	82.3	49.8	26.0	17.1	11.3	6.73	43.9
77-78	5.39	9.02	26.1	59.8	74.4	73.9	60.7	28.5	18.0	12.4	8.3	5.08	32.0
78-79	14.3	31.5	66.1	63.9	63.4	92.7	66.1	33.6	20.2	14.1	9.18	6.44	40.3
79-80	7.08	18.8	33.0	51.1	74.8	79.3	57.8	34.5	19.6	13.4	8.81	5.65	33.7
80-81	4.72	18.0	22.7	48.5	68.7	84.0	59.3	35.4	19.7				
Moy 51-70	*9.95*	*20.5*	*33.3*	*57.9*	*69.9*	*88.3*	*82.6*	*42.8*	*24.5*	*16.6*	*10.9*	*8.12*	*39.1*
MED.	9.30	18.6	31.7	59.8	70.5	90.2	76.0	37.8	21.5	14.7	10.3	6.71	
ET.	2.65	7.76	11.1	14.6	11.4	13.4	16.4	9.62	5.13	3.97	1.74	1.87	
MOYE.	9.23	19.2	33.1	57.6	70.5	86.5	76.0	38.6	22.4	15.2	9.72	6.74	37.1
Q_1	11.50	24.3	40.5	67.8	74.9	94.6	87.7	45.8	25.8	16.7	10.9	7.58	
Q_3	6.96	13.3	26.0	48.7	63.5	78.9	61.4	31.6	19.5	13.3	8.47	5.78	

Tableau 6.14. – Vina du sud au Lahore.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	–	–	–	–	–	–	–	–	*86.0*	95.2	01/10
52-53	–	–	–	–	*11.7*		*56.7*	87.3	110	133	25/09
53-54	07/3	6.31	7.27	8.26	11.1	16.0	42.7	85.9	95.2	99.1	06/10
54-55	28/4	4.90	5.77	6.95	11.1	28.0	60.2	98.5	109	150	09/10
55-56	–	–	–	–	*14.0*	24.4	62.3	94.2	117	142	13/10
56-57	29/0	4.64	5.00	6.00	11.1	*31.0*	–	–	–	*111*	*25/09*
57-58	20/4	*3.75*	*4.50*	*7.50*	*19.4*	36.6	70.7	98.8	111	122	03/10
58-59	24/3	5.19	5.79	7.42	13.4	31.4	60.2	80.3	107	115	29/09
59-60	26/3	2.42	3.77	6.28	14.3	25.9	74.9	92.5	97.5	106	21/09
60-61	–	–	–	–	–	33.6	66.0	83.3	91.2	107	01/10
61-62	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
62-63	–	–	–	–	–	28.4	–	–	*100*	*110*	21/10
63-64	05/4	5.79	7.14	9.13	14.8	22.3	48.1	95.8	105	121	11/09
64-65	08/4	5.00	5.38	7.71	13.1	31.8	59.7	82.7	108	130	20/09
65-66	28/3	5.19	5.58	6.57	14.0	23.2	80.6	94.5	108	118	06/09
66-67	08/4	5.00	5.38	6.28	11.7	26.8	75.3	94.5	105	121	15/08
67-68	09/4	4.64	5.19	7.42	13.4	–	–	–	–	–	–
68-69	29/3	6.28	7.56	8.56	13.1	24.4	54.7	76.9	85.9	88.2	05/10
69-70	03/4	5.58	6.57	7.99	15.1	28.7	71.4	108	121	143	05/09
70-71	06/5	4.73	5.24	6.28	11.9	19.0	58.0	83.2	94.4	107	22/08
71-72	28/3	3.49	3.98	4.99	9.00	17.1	55.7	82.3	87.6	95.4	15/07
72-73	12/4	2.23	3.00	4.74	9.00	19.5	41.5	63.0	71.4	78.6	14/10
73-74	28/3	2.33	2.77	4.23	9.28	15.9	39.8	59.7	72.7	85.7	21/09
74-75	05/4	4.48	5.50	7.35	14.9	31.5	69.8	103	125	175	05/10
75-76	08/4	5.50	6.28	7.49	13.7	24.7	64.2	93.7	118	137	28/09
76-77	21/4	3.98	4.99	6.41	12.3	29.8	78.3	98.3	109	119	09/08
77-78	01/4	3.24	4.23	4.99	8.03	20.2	58.8	75.9	83.8	93.7	15/07
78-79	14/3	4.23	4.86	7.35	14.3	31.1	62.4	88.7	95.0	103	27/09
79-80	14/4	3.00	4.61	5.76	10.9	24.0	52.3	78.3	84.5	90.2	19/09
MED.		3.98	4.99	6.81	12.3	25.1	60.3	83.2	97.0	107	
Q1		4.99	6.02	7.49	13.7	29.8	71.4	94.1	108	121	
Q3		2.77	4.23	5.50	11.6	19.5	54.8	76.3	85.7	93.7	

Tableau 6.15. – Djerem à Mbakaou.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Module
1959-60	62.5	110	280	540	*833*	1130	1010	*499*	*188*	109	58.0	25.2	*405*
60-61	73.6	110	257	556	792	1210	1390	*575*	266	157	83.4	37.4	*461*
61-62	49.5	79.9	182	606	680	1100	1000	343	171	102	54.5	40.9	369
62-63	93.3	168	280	453	831	1290	954	558	263	142	86.0	49.2	432
63-64	84.5	137	147	304	*678*	1050	*1210*	470	206	119	63.2	35.4	376
64-65	78.5	187	269	566	736	*1600*	1110	529	233	142	87.0	56.9	468
65-66	87.2	164	310	611	996	978	913	309	163	98.5	52.5	25.7	395
66-67	73.2	189	439	562	883	1180	991	484	*198*	124	75.3	37.3	438
67-68	30.4	67.6	160	479	888	997	944	356	173	104	54.5	39.4	360
68-69	57.6	117	220	489	890	902	982	415	180	97.3	51.0	65.7	375
69-70	94.4	177	308	863	1304	1534	1264	705	260	143	74.0	40.0	566
R.N. 59-70 Moyenne	*71.3*	*137*	*259*	*548*	*865*	*1179*	*1070*	*477*	*209*	*122*	*67.2*	*41.2*	*422*
1970-71	229	238	261	496	611	1233	937	99.9	127	147	334	317	419
71-72	238	118	173	293	313	1209	500	48.5	20.8	143	302	272	303
72-73	177	96.7	312	305	186	370	795	0	67.2	147	321	317	258
73-74	150	141	135	319	558	462	355	115	80.6	165	294	316	258
74-75	145	153	104	414	776	1090	1158	84.6	67.9	139	308	324	385
75-76	204	115	139	114	610	871	732	169	116	129	296	374	322
76-77	248	145	241	248	704	1007	1172	325	237	173	298	409	434
77-78	262	76.2	122	316	739	908	398	135	183	261	349	282	336
78-79	76.1	288	77.7	670	737	1226	482	313	149	186	323	356	407
79-80	229	126	213	569	766	960	431	383	154	161	307	339	387
R.R. 70-80 Moyenne	196	150	178	374	600	934	696	167	120	165	313	331	352

Tableau 6.16. – Lom à Bétare Oya.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52	36.4	62.7	70.6	137	329	471	398	294	142	94.5	86.6	41.5	180
52-53	48.1	104	110	162	327	444	448	264	146	95.9	74.2	64.0	191
53-54	45.7	80.2	90.9	215	176	365	450	241	135	91.6	71.0	61.1	169
54-55	72.5	80.5	202	214	187	426	576	324	171	112	76.2	70.1	210
55-56	71.3	84.0	133	277	347	450	522	290	160	109	81.0	89.0	218
56-57	93.3	84.2	134	205	194	314	482	231	148	97.8	65.1	46.9	175
57-58	60.9	78.3	120	196	189	354	369	260	152	97.3	64.4	47.9	166
58-59	55.5	68.9	208	218	284	320	409	279	158	107	70.0	49.1	186
59-60	62.5	81.1	167	181	223	378	414	234	114	80.0	59.9	44.4	170
60-61	62.4	76.7	84.5	207	248	465	460	221	135	85.2	51.3	25.8	177
61-62	47.5	57.9	95.8	220	163	415	405	180	108	76.2	51.1	55.7	157
62-63	61.4	57.8	94.8	169	227	440	373	240	138	89.2	69.7	55.0	168
63-64	68.7	78.0	78.1	132	326	352	434	205	118	83.7	55.7	41.0	165
64-65	65.0	97.2	90.6	233	234	317	350	228	127	87.2	60.9	42.9	162
65-66	32.0	49.9	72.2	176	368	311	323	154	92.5	60.8	33.8	17.3	142
66-67	48.2	84.5	157	195	342	429	374	260	127	84.5	57.1	32.7	183
67-68	29.4	51.4	82.2	167	353	454	479	253	120	80.3	51.3	45.8	181
68-69	56.3	70.0	130	239	352	389	375	254	135	91.1	61.1	111	189
69-70	62.7	127	162	342	503	607	410	315	164	104	81.3	63.2	245
70-71	79.9	93.7	153	276	321	440	441	186	119	85.2	55.6	74.7	195
71-72	90.1	66.1	94.9	218	253	369	354	147	94.7				
72-73				128	233	251	286	128	73.3	51.2	22.8	14.9	
73-74	33.5	85.6	81.5	151	277	323	305	147	89.6	52.0	25.2	16.5	133
74-75	41.0	55.5	126	164	322	418	417	205	108	67.0	43.2	30.9	167
75-76	45.4	56.1	168	221	243	334	457	192	115	70.6	53.9	35.6	166
76-77	41.8	71.1	139	158	243	311	445	312	140	86.9	53.4	22.6	169
77-78	26.6	64.7	170	189	204	454	376	152	73.5	46.2	24.4	14.3	150
78-79	72.3	98.4	148	300	338	386	328	190	104	63.2	36.0	30.0	175
79-80	51.7	79.7	113	278	372	493	441	260	123	76.7	44.7	22.7	197
80-81	72.5	112	216	242	278	470	559	251	121				
Moy 51-70	*56.8*	*77.6*	*120*	*204*	*283*	*405*	*424*	*249*	*136*	*90.9*	*64.3*	*52.9*	*181*
MED.	56.3	78.3	126.0	205	278	389	410	237	125	85.2	56.4	43.6	
ET.	17.4	18.4	42.0	52.3	77.1	73.9	69.5	53.6	25.3	17.4	17.3	23.2	
MOYE.	56.4	77.8	127	207	282	398	416	230	125	83.1	56.5	45.2	175
Q_1	70.0	85.0	159.5	236	340	447	449	260	142	95.2	69.8	58.4	
Q_3	43.6	63.7	90.7	165	225	328	371	190	108	73.4	47.9	27.9	

Tableau 6.17. – Lom à Bétare-Oya.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1951-52	05/04	31.7	37.0	42.1	83.7	117	286	421	536	681	24/09
52-53	17/04	33.4	41.2	50.6	72.2	128	265	487	535	559	05/10
53-54	09/03	46.3	49.7	55.7	75.8	117	255	428	492	541	18/10
54-55	02/05	48.0	60.9	64.4	84.6	166	264	509	620	690	13/10
55-56	12/05	55.7	59.2	73.1	92.6	145	335	508	561	672	12/10
56-57	30/03	37.0	43.8	53.2	69.6	141	225	357	545	656	08/10
57-58	23/03	⩽38.7	*47.2*	*51.7*	*63.7*	133	222	372	385	421	07/09
58-59	12/03	43.8	46.3	53.2	74.9	160	281	390	423	470	10/10
59-60	23/03	34.3	40.4	48.9	69.6	136	224	390	505	526	30/09
60-61	25/03	20.3	22.4	32.1	54.5	120	–	–	–	–	–
61-62	25/05	38.3	42.1	50.2	60.1	101	208	422	502	576	22/09
62-63	23/03	43.8	47.2	57.5	71.4	115	239	400	512	572	29/09
63-64	09/03	28.4	34.3	46.3	74.0	101	247	437	465	526	11/10
64-65	09/04	23.8	26.8	87.0	53.2	*117*	239	354	393	467	22/09
65-66	27/03	12.8	15.7	21.7	51.4	83.7	257	366	395	404	24/10
66-67	24/03	23.4	25.7	29.2	56.6	135	282	430	503	554	31/09
67-68	13/04	25.3	31.7	42.1	62.7	98.9	300	471	520	549	14/10
68-69	29/04	52.7	55.7	60.1	86.4	134	305	398	450	484	31/10
69-70	04/04	45.9	57.5	63.1	88.1	173	385	604	630	*690*	*07/09*
70-71	06/06	26.0	42.1	51.4	71.8	116	314	452	492	577	29/09
71-72		–	–	–	–	106	242	353	454	485	07/10
72-73	14/03	10.9	12.0	19.4	56.2	100	173	287	331	401	18/08
73-74	25/03	11.6	15.2	19.7	44.2	96.7	213	319	375	462	03/10
74-75	08/03	21.7	23.1	30.4	51.4	122	270	406	490	634	03/10
75-76	01/04	22.7	25.3	33.4	57.5	134	241	386	494	517	17/10
76-77	22/03	14.9	19.4	26.3	56.6	133	278	–	–	–	
77-78	03/03	11.6	12.5	17.2	35.2	84.1	239	432	504	513	21/09
78-79	02/03	19.0	25.3	31.7	56.2	107	304	377	421	468	28/08
79-80	17/03	15.2	19.0	26.8	61.8	117	309	480	514	572	01/10
MED.		27.2	35.6	47.6	63.2	117	260	406	494	541	
Q1		38.3	45.5	54.0	79.3	136	300	452	520	577	
Q3		17.8	22.4	32.1	56.6	99.0	239	370	421	468	

Tableau 6.18. – Tere à Ndoumba. Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1963-64	11.0	10.0	10.8	16.9	7.23	23.3	37.0	20.6	10.8	10.8	4.60	5.86	14.1
64-65	15.6	13.9	20.5	13.9	8.08	32.5	75.5	49.4	27.2	18.3	16.1	14.6	25.5
65-66	13.3	24.2	17.5	17.1	18.6	29.6	47.6	40.1	22.4	14.2	7.52	5.25	21.5
66-67	14.3	22.5	31.1	17.9	16.9	20.6	38.7	38.0	16.8	9.40	10.6	4.89	20.2
67-68	6.40	9.31	13.6	11.1	7.50	24.8	47.9	27.5	13.5	8.30	4.48	8.46	15.3
68-69	5.65	9.89	15.9	8.79	10.2	29.2	36.9	43.8	19.0	9.94	6.65	19.0	17.9
69-70	9.62	19.9	18.3	14.7	20.1	24.0	33.0	31.5	14.8	9.23	5.28	13.7	17.9
70-71	10.6	15.5	18.9	12.5	9.90	23.8	38.6	33.8	13.1	8.50	5.08	6.72	16.5
71-72	8.80	14.2	11.4	11.8	15.3	17.8	30.0	15.7	19.2	6.03	3.70	8.86	13.6
72-73	10.3	7.21	16.5	8.34	8.85	24.7	42.9	38.4	14.0	10.4	5.73	4.57	16.0
73-74	6.95	22.3	21.7	15.8	14.8	31.5	59.5	38.3	21.0	11.4	7.70	5.95	21.5
74-75	9.45	14.6	18.9	11.2	17.4	26.3	43.7	39.2	14.6	8.82	13.1	8.04	18.8
75-76	9.60	9.40	15.4	15.5	8.31	17.3	40.8	42.7	22.8	12.9	11.2	8.89	17.9
76-77	14.6	15.7	14.8	7.88	13.2	13.6	37.7	23.5	8.76	5.71	4.22	2.75	13.6
77-78	3.43	8.06	10.1	5.17	5.88	26.5	27.1	9.77	5.91				
Moy 63-70	*10.8*	*15.7*	*18.2*	*14.3*	*12.7*	*26.3*	*45.2*	*35.8*	*17.8*	*11.5*	*7.89*	*10.3*	*18.9*
MED.	9.61	14.4	16.5	12.5	10.2	24.7	38.7	38.0	14.8	9.67	6.19	7.38	
ET.	3.60	5.68	5.2	3.84	4.70	5.3	12.1	11.2	5.73	3.26	3.78	4.50	
MOYE.	9.97	14.5	17.0	12.6	12.1	24.4	42.5	32.8	16.3	10.3	7.57	8.40	17.4
Q1	13.3	9.90	18.9	15.8	16.9	29.2	47.6	40.1	21.0	11.4	10.6	8.89	
Q3	6.95	9.40	13.6	8.80	8.08	20.6	36.9	23.5	13.1	8.50	4.60	5.25	

A Edéa, le module spécifique moyen est de 15,8 l/s.km² (2 072 m³/s).

Les étiages spécifiques médians sont compris entre 0,36 l/s.km² sur la Njeke et 2,45 l/s.km² sur le Lom. Ils sont faibles sur le Meng et le Maouor (0,46 et 0,73) mais vont croître en descendant la Sanaga, la saison sèche étant moins longue. Le Lom et la Vina disposent en saison sèche de réserves souterraines. A Edéa, l'étiage médian spécifique est de 2,36 l/s.km² comme à Nachtigal.

Les étiages spécifiques les plus faibles sont ceux de la Njeke avec 0,05 l/s.km² en 1973, valeur bien entendu très exceptionnelle pour la région et propre d'ailleurs à ce bassin sans réserves aquifères importantes. Sur la Vina, le minimum minimorum est encore supérieur à 1,3 l/s.km² ; il est de 0,98 sur le Lom, de 1 l/s.km² sur la Tere et de 1,3 l/s.km² sur la Sanaga à Edéa.

Les débits spécifiques de crue ont les valeurs médianes suivantes :

Vina (1 680 km²) : 64 l/s.km²
Djerem à Betaré-Congo (11 000 km²) : 62
Djerem à Mbakaou (20 200 km²) : 65,8
Lom à Betare-Oya (11 100 km²) : 48,7
Sanaga Goyoum (50 500 km²) : 48,7
Sanaga Nachtigal (76 000 km²) : 45,8
Sanaga Edéa (131 500 km²) : 50,8

Le maximum maximorum à Nachtigal est de 56,7 l/s.km² (4 310 m³/s) et à Edéa de 58,6 l/s.km² (7 700 m³/s).

Tableau 6.19. – Tere à Ndoumba.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1963-64	26/2	3.09	3.84	4.91	6.92	14.4	16.9	32.6	40.7	64.3	25/11
64-65	05/4	8.12	9.69	11.0	14.9	23.4	30.1	62.7	86.0	114	24/10
65-66	27/3	4.45	4.81	5.80	12.2	18.9	26.6	45.1	56.3	63.7	22/10
66-67	23/3	2.65	3.89	6.12	10.9	18.5	27.2	38.9	47.4	50.9	29/10
67-68	24/2	3.39	3.99	4.76	6.59	10.5	18.1	41.4	52.5	56.8	24/10
68-69	18/2	5.22	5.64	7.13	10.6	17.7	25.0	37.8	58.6	73.9	05/11
69-70	06/3	3.49	4.50	6.17	10.0	15.3	24.1	35.6	40.1	42.3	28/10
70-71	23/2	3.69	4.71	5.80	8.56	11.7	20.0	32.5	62.9	70.5	28/10
71-72	26/2	2.41	3.09	5.22	7.40	10.7	17.0	29.5	37.8	42.5	30/10
72-73	13/3	2.90	3.34	5.12	7.08	10.7	20.6	42.0	56.4	71.2	18/10
73-74	22/3	4.86	5.38	6.01	8.84	17.5	26.3	47.1	72.9	80.1	30/10
74-75	18/4	4.71	6.06	6.59	8.12	11.1	22.8	42.4	49.9	61.1	03/11
75-76	21/7	5.90	6.59	8.17	10.4	13.9	21.2	42.9	47.6	56.1	08/11
76-77	23/3	1.74	1.93	3.44	6.59	11.1	16.7	29.6	43.1	51.8	26/10
MED.		3.59	4.60	5.90	8.70	14.1	22.8	41.4	52.5	61.1	
Q1		4.58	5.30	6.41	10.4	18.0	26.4	44.0	60.7	72.5	
Q3		2.77	3.61	5.17	7.24	10.9	19.0	34.0	45.2	51.3	

Tableau 6.20. – Ndjeke à Ngongon.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1967-68												2.20	
68-69	4.46	18.5	41.4	32.8	35.8	92.8	112	117	43.2	17.2	9.96	40.7	47.3
69-70	19.3	43.7		70.2	76.6	98.1	136			9.03	6.88	5.12	
70-71	35.8	32.4	38.2	35.4	46.5	79.5	155	102	18.5	7.79	2.62	7.02	46.9
71-72	12.0	9.30	41.7	48.2	53.1	66.4	79.6	24.5	7.89	3.12	1.23	2.99	29.2
72-73	4.9	44.7	67.6	20.5	24.9	68.0	159	97.8	18.7	11.5	3.23	1.41	43.7
73-74	7.6	31.4	31.7	28.8	36.6	116	182	97.7	42.3	10.7	8.58	4.69	50.0
74-75	5.8	18.7	22.8	9.33	34.9	77.4	117	77.2	11.4	4.76	2.50	1.87	32.1
75-76	4.50	5.43	8.07	20.8	31.9	31.2	160	110	44.1	6.84	5.90	4.88	36.3
76-77	23.4	30.4	19.0	6.39	36.2	60.8	100	46.5	25.1	9.29	3.07	1.43	30.3
77-78	4.90	5.83	13.7	10.2	10.6	56.7	77.9	16.9	4.14	1.22	0.74	0.64	17.0
78-79	8.15	20.6	8.81			84.0			20.9	8.05	2.93	3.75	
79-80	5.28	13.0	31.6	18.0	17.1	43.0	80.9	64.6	13.6	2.50	0.97	0.73	24.3
80-81	1.55	14.4	37.3	9.64	26.1	67.2	242	145	26.3				
MED.	5.84	18.7	31.6	20.6	35.3	68.0	126.5	97.7	19.8	7.92	3.00	2.99	
ET.	9.85	13.3	17.0	18.8	17.3	22.7	49.1	40.0	13.8	4.45	3.05	5.96	
MOYE.	10.6	22.2	30.2	25.9	35.9	72.4	133	81.7	23.0	7.67	4.05	5.96	37.7
Q1	15.6	31.9	39.8	34.1	41.5	88.4	159.5	110.0	34.3	10.0	6.40	5.00	
Q3	4.70	11.1	16.3	9.92	25.5	58.7	90.4	46.5	12.5	3.94	1.86	1.42	

Tableau 6.21. – Ndjeke à Ngongon.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1968-69	23/2	4.02	5.93	9.00	25.9	62.3	76.4	110	151	185	11/11
69-70	10/4	1.43	2.64	3.84	9.00	60.4	81.6	115	145	201	04/10
70-71	09/3	1.71	1.92	2.64	10.3	25.9	66.5	118	202	275	22/10
71-72	25/2	0.73	0.82	2.14	3.67	15.3	52.2	76.8	84.6	103	07/10
72-73	24/3	0.20	0.69	2.03	6.95	20.0	62.3	114	205	261	25/10
73-74	13/4	1.35	2.26	4.02	9.00	20.5	64.7	142	216	275	08/10
74-75	08/3	1.35	1.61	2.14	4.40	14.1	40.8	106	136	155	08/10
75-76	25/3	2.26	2.77	3.84	5.23	9.97	40.8	118	173	222	17/10
76-77	19/3	1.27	1.35	1.81	6.95	21.1	42.9	91.1	91.5	91.6	30/09
77-78	28/2	0.56	0.56	0.66	1.52	8.08	14.5	68.2	92.4	122	23/10
78-79	16/2	2.26	2.38	2.91	6.68	17.0	39.7	170	237	265	09/11
79-80	08/3	0.60	0.63	0.69	2.91	13.3	33.0	77.7	97.3	113	30/10
MED.		1.35	1.76	2.39	6.81	18.5	62.3	114	151	201	
Q1		2.09	2.98	4.91	10.1	29.1	71.4	118	203	268	
Q3		1.00	1.08	2.08	4.81	14.7	41.8	98.5	114	129	

Tableau 6.22. – Sanaga à Nachtigal.
Débits moyens mensuels et annuels (m^3/s).

Année	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Module
1951-52	347	451	773	1160	1680	2800	3150	2430	932	577	500	374	1260
52-53	388	737	842	1190	1690	2550	2980	1740	804	484	359	408	1180
53-54	281	398	586	898	987	2250	3000	1790	734	488	369	333	1010
54-55	485	503	1210	1410	1350	2430	3370	2120	888	513	350	342	1250
55-56	416	575	889	1670	2000	2540	3420	2430	944	574	403	569	1370
56-57	696	580	1260	1530	1620	2500	3160	1890	1050	*561*	*363*	243	1290
57-58	390	510	1040	1370	1580	2480	3280	2340	1200	671	379	282	1290
58-59	409	834	1060	1210	1490	2160	2640	1920	913	536	301	194	1140
59-60	314	515	571	1120	1440	2080	2680	1600	691	394	233	167	984
60-61	309	495	555	948	1490	2430	3240	2090	883	543	322	156	1120
61-62	250	370	500	1280	1040	2240	3010	1280	559	329	217	261	945
62-63	347	510	607	973	1440	2600	3080	2050	1060	556	415	337	1160
63-64	386	572	450	789	1530	2430	3040	1530	678	441	261	203	1030
64-65	386	587	690	1220	1200	2730	3520	1970	864	547	357	305	1200
65-66	262	506	610	1300	2120	2320	2610	1300	619	382	225	137	1030
66-67	276	655	1180	1260	1740	2480	2550	1900	758	434	302	176	1140
67-68	176	250	442	896	1570	2190	2840	1390	616	389	222	210	933
68-69	205	373	652	1040	1810	2190	2560	1790	760	412	263	469	1040
69-70	344	613	833	1870	2760	3510	3280	2210	954	554	303	256	1460
R.N. 51-70 Moyenne	*351*	*528*	*777*	*1210*	*1610*	*2740*	*3020*	*1880*	*837*	*494*	*323*	*285*	*1150*
1970-71	538	588	708	1185	1597	2715	2785	1512	629	444	466	498	1139
71-72	461	399	448	816	990	2348	2071	676	448	322	377	427	815
72-73	386	359	799	622	657	1321	2180	980	378	352	394	388	735
73-74	322	525	658	849	1453	1771	1971	1142	553	372	408	409	869
74-75	352	401	601	722	1626	2456	2947	1336	503	384	471	492	1024
75-76	390	323	545	–	–	1887	2469	1466	704	438	529	560	
76-77	541	485	643	627	1447	2218	2873	1821	779	479	438	470	1068
77-78	388	293	403	704	1262	2344	1844	666	467	389	388	338	791
78-79	310	644	516	1314	1451	2594	2505	1642	1614	387	411	445	1153
79-80	384	423	650	1099	1648	2218	2071	1565	572	380	381	409	983
R.R. 70-80 Moyenne	407	444	595	882	1348	2187	2372	1281	665	395	426	444	954

Tableau 6.23. – Sanaga à Nachtigal.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1944-45										3750	
45-46										3480	
46-47										3200	
47-48										3240	22/10
48-49										3750	
50-51										4030	
51-52	07/4	324	342	376	*446*	835			*3430*	3660	07/11
52-53	27/4	217	272	298	370	834	1520	2820	3190	3310	17/10
53-54	09/3	260	293	342	440	600	1260	2570	3100	3690	26/10
54-55	03/4	228	240	311	458	1020	1740	3020	3490	3810	25/10
55-56	17/2	324	370	440	593	958	1990	3280	3650	4070	22/10
56-57	19/3	209	221	268	428	1210	1670	2800	3460	3590	16/10
57-58	23/3	232	277	302	544	1040	1770	3000	3420	3680	20/10
58-59	19/3	159	180	224	347	994	1720	2530	2680	2790	24/10
59-60	19/3	146	163	187	342	669	1460	2460	2850	3020	25/10
60-61	26/3	112	136	202	338	750	1640	3000	3310	3590	10/10
61-62	04/3	143	187	228	347	497	1340	2630	3160	3360	08/10
62-63	22/3	224	248	342	452	780	1760	2930	3220	3310	03/10
63-64	05/3	173	184	206	370	630	1410	2800	3150	3430	22/10
64-65	07/8	180	209	260	392	758	1410	3270	3690	4230	06/10
65-66	11/3	121	133	146	333	638	1830	2490	2740	2870	24/10
66-67	22/3	143	159	170	289	967	1740	2530	2740	3020	31/10
67-68	13/4	133	149	187	306	503	1580	2380	3160	3240	19/10
68-69	23/2	217	240	302	376	742	1790	2430	2710	3050	13/10
69-70	03/4	148	195	246	408	932	2590	3460	3840	*4310*	05/10
MED.		180	209	260	376	780	1700	2800	3190	3480	

Tableau 6.24. – Sanaga à Edéa.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Module
1943-44					*2240*	*3550*	*5150*	*4000*	*1360*	720	*413*	*484*	
44-45	*703*	*1060*	*1010*	*1190*	2560	3890	5320	3090	1280	*873*	*421*	*250*	*1810*
45-46	*234*	*565*	*1000*	*1480*	*1740*	*3860*	*5030*	*2840*	*1160*	632	502	368	1620
46-47	335	491	719	1340	1540	3210	4520	3000	1180	750	557	417	1510
47-48	527	690	1470	1500	2730	4050	4630	3110	1230	1040	780	462	*1860*
48-49	544	688	1180	2280	3530	5270	5780	3100	1370	870	*628*	*408*	2150
49-50	621	594	1130	2250	3470	5600	6950	4580	1730	1060	771	527	2450
50-51	647	1250	1450	2990	2440	5200	5870	3060	1280	833	545	529	2100
51-52	511	644	1340	2080	2960	4970	6250	4440	1570	934	825	494	2250
52-53	591	1120	1390	1830	2820	4420	5440	3420	1410	790	592	681	2050
53-54	522	714	1030	1620	1740	4140	5530	3150	1220	777	616	552	1810
54-55	786	*896*	1880	2480	2210	4860	6470	3900	1550	930	641	663	2280
55-56	763	1200	1690	2730	3520	4610	6360	4330	1670	981	648	1020	2470
56-57	1400	1130	2180	2580	2650	4340	5760	3560	1750	962	596	407	2280
57-58	678	1040	1930	2550	2940	4350	5920	4130	1890	1010	669	505	2310
58-59	744	1290	1510	1790	2180	3490	4320	3270	1430	816	484	296	1810
59-60	513	934	1140	1880	2590	4030	5710	3470	1360	748	400	293	1930
60-61	589	896	1070	1980	3110	4600	6190	3980	1590	1010	582	241	2160
61-62	487	693	921	2180	1990	4090	6240	2800	1130	584	333	443	1830
62-63	757	1180	1310	2180	2710	5100	6310	4280	2210	1100	754	611	2380
63-64	678	1260	898	1550	2480	4070	5260	2820	1180	744	420	334	1810
64-65	794	1030	1310	2140	2130	4520	6640	3900	1570	950	596	537	2180
65-66	498	1100	1250	2190	3610	4270	5200	2630	1160	696	380	238	1950
66-67	553	1530	2440	2570	3430	4630	5070	3780	1460	808	518	303	1910
67-68	312	466	859	1590	3060	4380	6220	3100	1270	771	407	398	1910
68-69	375	810	1260	1950	3170	4470	5070	3490	1360	787	492	853	2020
69-70	804	1160	1560	3110	4640	6280	6170	4510	1780	988	542	470	2680
R.N. 43-70 Moyenne	*614*	*940*	*1340*	*2040*	*2770*	*4990*	*5700*	*3530*	*1450*	*863*	*565*	*473*	*2072*
1970-71	834	1078	1413	2018	3044	4687	5433	3464	1183	754	622	697	2102
71-72	721	645	764	1730	2259	4263	4545	1650	887	532	491	572	1588
72-73	588	670	1304	1180	1574	2938	4561	2124	750	566	503	493	1438
73-74	512	897	1290	1382	2425	3477	3804	2238	965	559	496	509	1546
74-75	593	761	1296	1436	2709	4630	5791	3257	1170	787	773	747	1996
75-76	722	662	914	1360	1872	3318	5032	2905	1325	778	774	765	1642
76-77	854	1017	1210	1458	2771	4146	5473	3820	1414	878	749	681	2039
77-78	661	629	775	1418	2277	4363	3970	1363	767	629	591	534	1498
78-79	621	1084	1153	2165	2563	5114	5188	3613	1197	777	699	712	2073
79-80	743	982	1303	1958	2807	3698	3750	2876	1085	680	600	638	1760
R.R. 70-80 Moyenne	685	843	1142	1611	2430	4063	4755	2731	1074	694	630	635	1774

Tableau 6.25.– Sanaga à Edéa.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1943-44		*368*							*5430*	*6110*	
44-45		*195*				*1100*	2540	5030	5490	5660	
45-46	13/4	*301*	318	339	491	*1100*	*2080*	*4700*	*5290*	*5660*	22/10
46-47	04/4	280	312	476	608	969	1860	4359	4780	5360	28/10
47-48						1280	2789	4420	4850	5160	25/10
48-49	*28/3*	*312*			659	1280	3320	5530	6080	6840	19/10
49-50	30/3	449	491	520	909	1220	3800	6870	7200	7450	30/10
50-51	06/3	342	372	428	601	1440	2590	5550	6530	6990	03/10
51-52	12/4	387	421	488	863	1400	3090	6140	6530	6840	05/11
52-53	19/4	407	480	527	655	1360	2750	5090	5650	6460	17/10
53-54	10/3	400	484	557	787	1050	2100	4510	5980	6360	15/10
54-55	02/3	424	456	586	829	1690	2870	6250	6620	7030	28/10
55-56	22/2	520	594	778	1059	1710	3490	5890	6840	7570	22/10
56-57	22/3	342	372	449	778	2060	2890	5050	6300	6840	20/10
57-58	26/3	407	495	538	898	1820	3140	5420	6160	6400	05/10
58-59	24/3	225	266	353	651	1480	2650	4170	4430	4770	21/10
59-60	23/3	262	280	315	642	1270	2850	4960	6270	6680	20/10
60-61	23/3	171	197	299	652	1390	3280	5820	6370	6680	03/10
61-62	02/3	234	280	348	648	938	2470	5690	6420	7440	21/10
62-63	26/3	383	422	597	870	1640	3580	6120	6490	7120	14/10
63-64	09/3	260	276	341	725	1150	2310	4860	5350	5740	24/10
64-65	13/4	307	340	462	776	1390	2590	6190	6960	7330	06/10
65-66	12/3	205	221	267	667	1300	3110	4520	5430	5660	21/10
66-67	21/3	259	272	303	487	2010	3440	4910	5350	6270	30/10
67-68	18/4	253	292	332	600	985	3120	5100	6910	7250	20/10
68-69	23/2	402	457	606	785	1330	3180	4690	5510	5970	14/10
69-70	08/4	294	367	460	797	1740	4480	6210	7070	*7700*	07/10
MED.		310	367	462	695	1380	3040	5260	6300	6680	

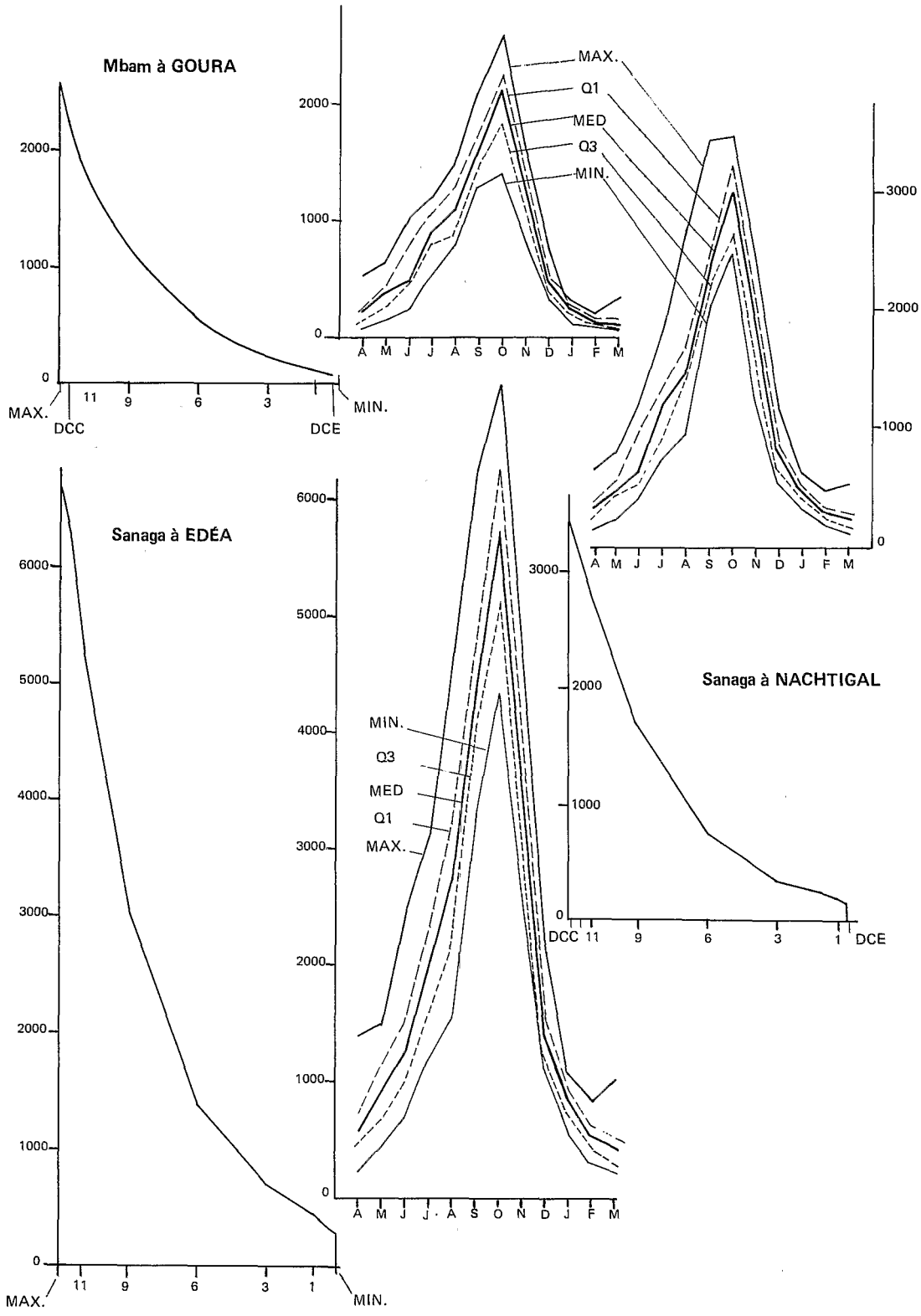


Fig. 6.3. – Débits mensuels et caractéristiques (valeurs médianes, quartiles et extrêmes).

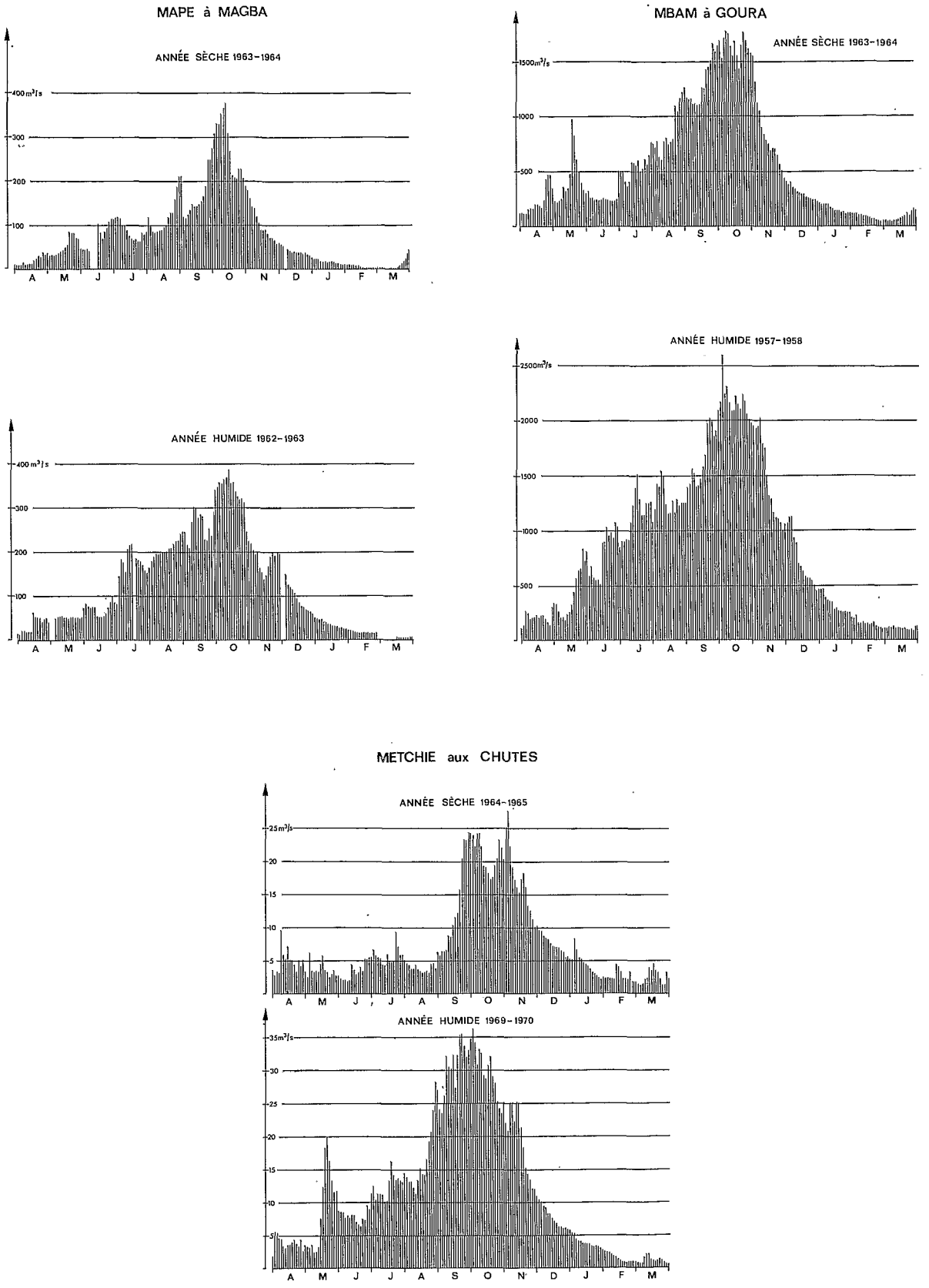


Fig. 6.4. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

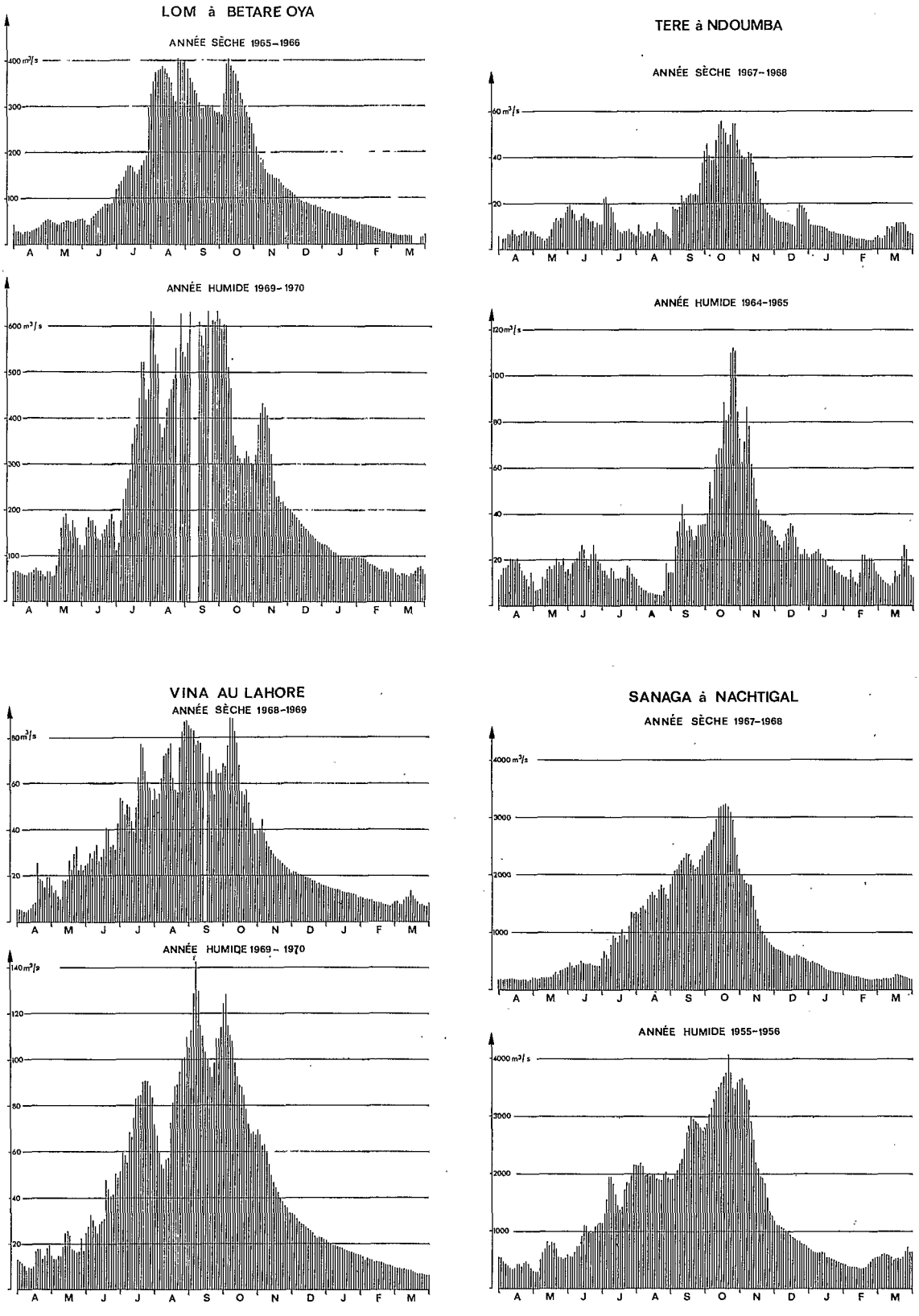


Fig. 6.5. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

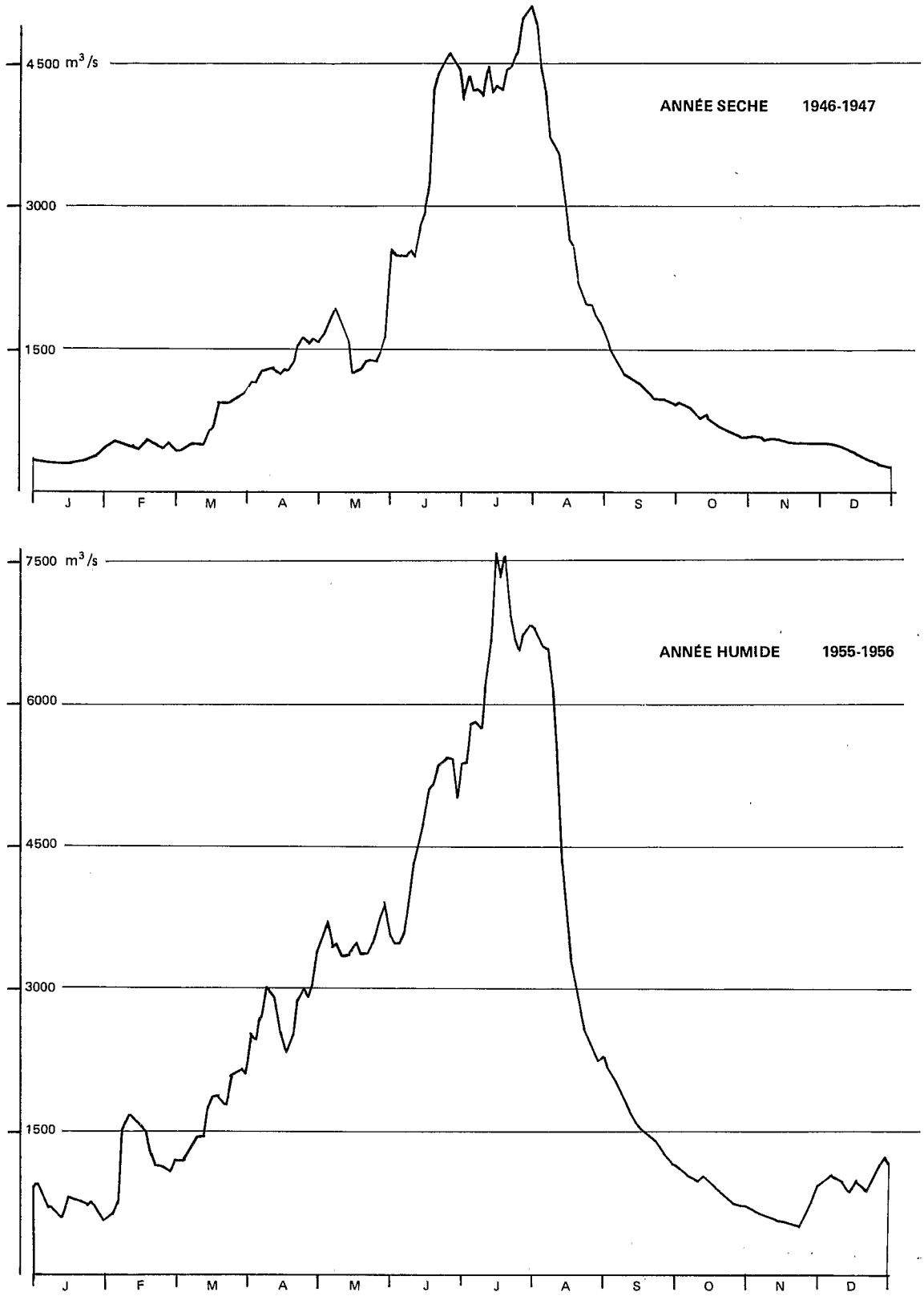


Fig. 6.6. – Sanaga à Edéa.

2. INTERPRÉTATION DES DONNÉES

L'étude du régime hydrologique de la Sanaga proposée ici reprend pour l'essentiel les résultats publiés dans « Le Bassin de la Rivière Sanaga » (*op. cit. :* Dubreuil *et al.,* 1975). La mise en service dans les années 70 des ouvrages de régularisation (Mbakaou, puis Bamendjing) en introduisant un régime artificiel à nombre de stations hydrologiques ne justifiait pas une actualisation des données qui aurait conduit, suivant que la station était ou non influencée par les barrages, à des résultats disparates. Les résultats donnés ci-après concernent donc le régime naturel de la Sanaga.

Bien sûr, ce choix conduit à ne considérer que des échantillons bien souvent trop courts qui ne permettent pas d'analyses statistiques très poussées ; cependant la période considérée montre que sur le plan des précipitations le bassin de la Sanaga a reçu la même hauteur interannuelle de pluies que sur la période homogénéisée de 40 ans 1930-1970 (cf. 1.2). C'est un argument pour juger représentatifs les résultats obtenus.

Pour quelques stations, une actualisation des traitements statistiques sera proposée... mais l'exceptionnel déficit de la dernière décennie ne conduirait-il pas à sous-estimer les résultats ?... C'est une comparaison qu'il conviendra de faire avec les résultats principaux. Ceux-ci auront été présentés suivant trois volets classiques :

- l'étude des basses-eaux,
- l'étude des hautes-eaux,
- l'étude des modules et du bilan.

En fin de chapitre, on abordera en quelques traits les caractéristiques principales de la régularisation de la Sanaga dans la phase actuelle des aménagements.

2.1. Étude des basses-eaux

2.1.1. Le tarissement

2.1.1.1. Généralités

On sait qu'en saison sèche le débit d'une rivière provient de la vidange des nappes souterraines du bassin versant et, éventuellement, de l'écoulement des rares pluies qui ont pu tomber sur le bassin. Le débit de vidange des nappes dépend d'une part de l'état de remplissage de celles-ci à la fin de la saison des pluies précédente et d'autre part de la loi de tarissement. L'état de remplissage des nappes en fin de saison des pluies détermine un débit initial de vidange plus ou moins grand suivant que le niveau piézométrique des nappes est plus ou moins élevé. La saison sèche est suffisamment longue et bien marquée sur le bassin de la Sanaga pour qu'il soit aisé de déterminer les lois de tarissement indiquant sous quelle forme s'observera la décroissance des débits au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche. Ces lois sont, on l'a vu, généralement de forme exponentielle d'expression :

$$Q = Q_o \cdot e^{-\alpha(t - to)}$$

Pour chaque année d'observation, et pour chaque station, nous avons porté les débits de décrue et de basses-eaux en ordonnées logarithmiques en fonction du temps, exprimé en jours, sur abscisses arithmétiques.

Il est extrêmement fréquent que des petites crues de saison sèche affectent le tarissement pur. En général, après une courte période perturbée, les débits observés correspondent de nouveau à la seule vidange des nappes.

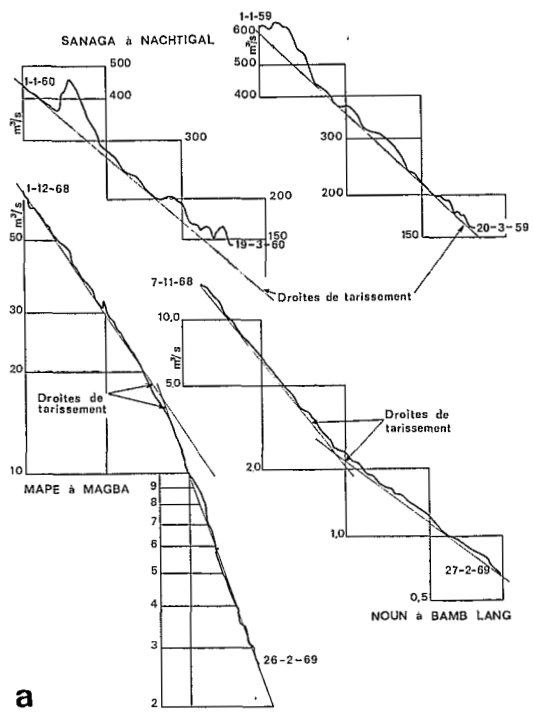
La fin du tarissement pur est très variable d'une année à l'autre et dépend de la reprise précoce ou tardive de la saison des pluies.

Signalons enfin que les étiages absolus, étudiés plus loin, ne correspondent pas forcément aux débits minimaux du tarissement. On observe fréquemment des débits d'étiage absolus postérieurement à la fin du tarissement pur. Mais dans ce cas, il est bien évident que le débit de tarissement qui aurait été observé, si la saison sèche s'était prolongée, aurait été inférieur au débit d'étiage absolu.

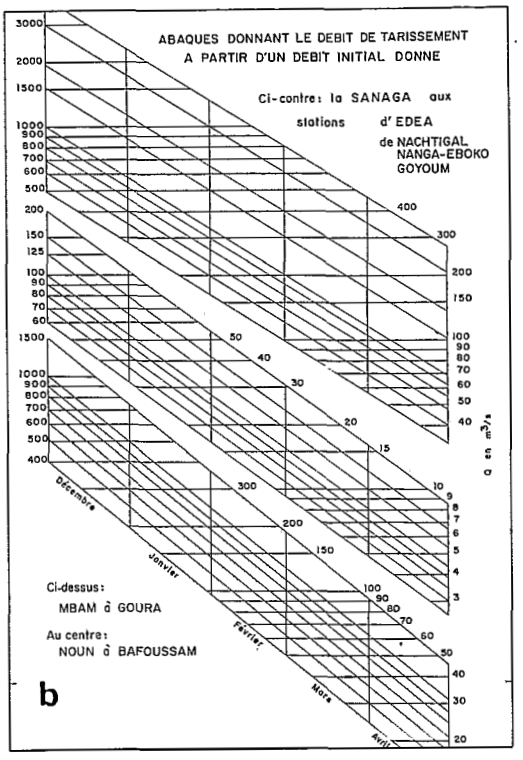
2.1.1.2. Analyse des courbes de tarissement

Les courbes de tarissement des différentes stations peuvent être reconstituées à partir des données numériques. La figure 6.7a donne simplement quelques exemples de ces courbes.

Nous pouvons noter, en dépit des perturbations apportées par les petites crues de saison sèche, un tarissement linéaire semi-logarithmique qui commence généralement, pour l'ensemble des stations, dès le début du mois de décembre, souvent même dès la seconde quinzaine de novembre. Le tarissement est interrompu le plus souvent dans la seconde quinzaine de février par les premières crues qui annoncent le début de la saison des pluies. Pour certaines stations (nord du bassin), il se poursuit pendant tout le mois de mars et parfois même en avril. Les premières pluies importantes interrompant le tarissement, la répartition des précipitations au cours de l'année suffit à expliquer la durée plus ou moins grande de la période de tarissement. Nous n'avons



QUELQUES EXEMPLES DE TARISSEMENTS SUR LE BASSIN DE LA SANAGA



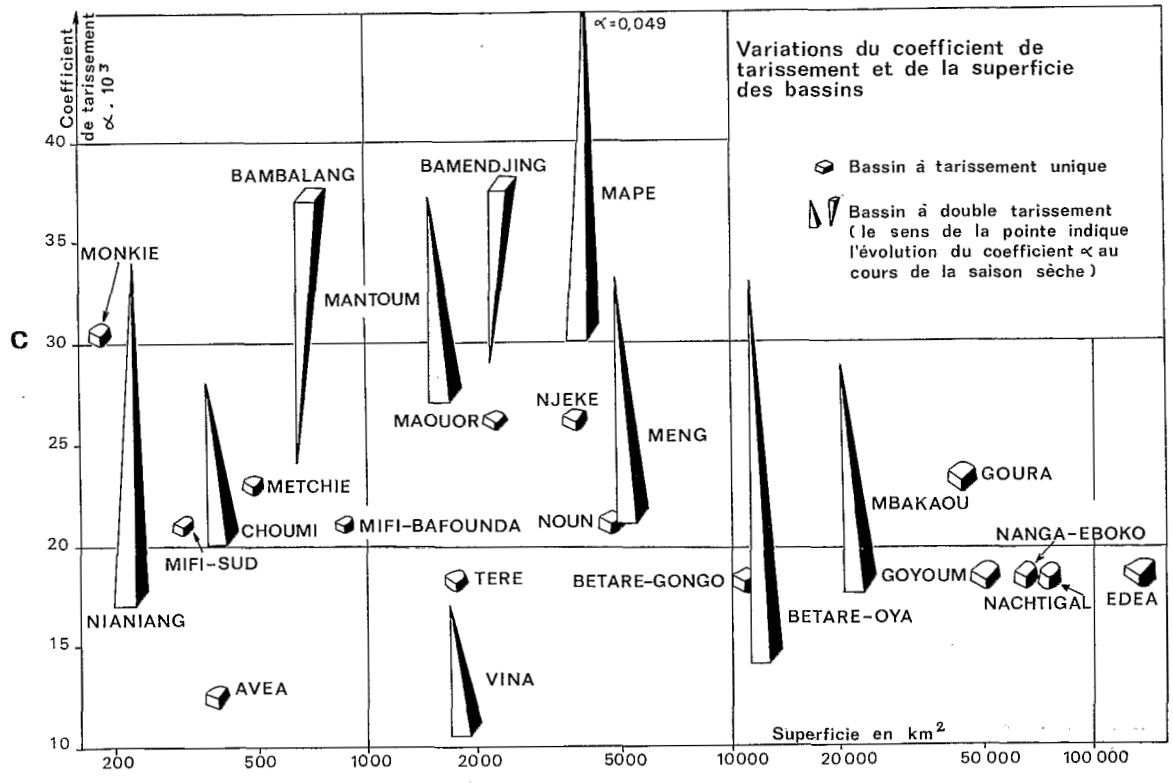


Fig. 6.7. – Étude du tarissement sur le bassin de la Sanaga.

pas jugé utile d'analyser pour chaque station les différences observées dans la durée du tarissement, d'autant plus que les variations interannuelles pour une même station ont une amplitude plus forte que celles observées entre une station et une autre dès qu'elles sont situées à une certaine distance.

Il est fréquent d'observer deux droites de tarissement au cours de la saison sèche. Le second tarissement apparaît le plus souvent dans la seconde quinzaine de janvier.

Un tel phénomène est imputable à la complexité de l'aquifère du bassin (existence de plusieurs nappes distinctes et localisées de capacités différentes...) et aux interactions entre nappes alluviales et cours d'eau ; ceux-ci pouvant alimenter celles-là en fin de tarissement.

2.1.1.3. Détermination des coefficients de tarissement

Les droites ainsi tracées nous ont permis de déterminer les coefficients de tarissement de chaque station pour chaque année. Dans le tableau 6.26, nous avons porté le coefficient de tarissement moyen calculé sur la période d'observation. Nous indiquons également, en jours, la durée théorique pour qu'un débit donné soit réduit 10 fois ($Q = Q_o/10$), valeur qui rend mieux compte de l'épuisement plus ou moins rapide des réserves.

Le coefficient de tarissement d'un bassin versant est un indicateur des capacités disponibles par drainage naturel des différentes nappes de ce bassin. Suivant la répartition spatiale des pluies dans l'année, les réserves seront plus ou moins importantes dans telle ou telle partie du bassin. Le tarissement observé global n'est autre que la somme de tarissements particuliers des diverses nappes et cela explique que ses valeurs varient d'une année à l'autre. Mais cette dispersion des valeurs de α reste très faible et cela mérite d'être souligné.

On sait que le coefficient de tarissement d'une nappe traduit à la fois ses caractéristiques géométriques (dimension), et la perméabilité du gite aquifère.

A perméabilité égale, le coefficient de tarissement est d'autant plus petit que l'aquifère est important. Il est donc intéressant de comparer les différents coefficients obtenus pour des bassins de tailles variables. La lecture du tableau 6.26 et le graphique 6.7c montrent que le **coefficient de tarissement n'est pas lié à la superficie du bassin.**

Ceci nous permet de faire quelques remarques :

a) Les différents bassins du réseau de la Sanaga ne possèdent pas de nappes souterraines généralisées. Le substratum géologique ne s'y prête d'ailleurs presque jamais.

b) Les débits de basses-eaux sont fournis par la **vidange de multiples petites nappes individuelles,** de tailles comparables, évoluant séparément, que nous appellerons « nappes de versants », et par la vidange des nappes des lits majeurs [1].

c) Les différences, entre bassins, des coefficients α viennent d'une part des variations de la perméabilité du matériau aquifère et d'autre part des variations de taille des nappes de versants. Ces différences sont peu importantes, sauf cas particuliers, et le coefficient de tarissement se situe en moyenne autour de 0,020 pour divers bassins aussi bien grands (Sanaga moyenne et inférieure), que petits (cours d'eau de l'Ouest, affluents du Mbam), bien qu'une autre valeur fréquente (0,030) se manifeste pour certains cours d'eau également tributaires du Mbam sans que les raisons en soient claires. A l'opposé, la Vina alimentée par des sources de résurgences d'origine profonde a un tarissement exceptionnellement lent (α vaut de 0,010 à 0,017). Ce cas particulier mis à part, et, d'une manière générale, compte tenu de la petite taille des nappes alimentant le tarissement, on peut conclure à une faible perméabilité des gites aquifères sur l'ensemble du bassin de la Sanaga.

Tableau 6.26. – Valeurs moyennes des coefficients de tarissement.

Station		Surface du bassin (km^2)	$\alpha 1 - \alpha 2$	Nb de jours t pour que $Q = Q_o/10$
Sanaga	Edéa	131 500	0.018	128
	Nachtigal	76 000	0.018	128
	Nanga-Eboko	65 100	0.018	128
	Goyoum	50 500	0.018	126
Djerem	Mbakaou	20 200	0.0175 - 0.0281	132 - 82
	Betare-Congo	11 000	*0.018*	*128*
Lom	Betare-Oya	11 100	0.014 - *0.032*	165 - *72*
Meng	Tibati	4 900	0.021 - 0.033	110 - 70
Maouor	Pont	2 250	0.026	89
Vina	Lahore	1 680	0.0105 - 0.017	220 - 135
Mbam	Goura	42 300	0.023	100
	Mantoum	14 700	0.027 - 0.037	85 - 62
Noun	Bafoussam	4 740	0.021	110
	Bamendjing	2 190	0.0375 - 0.029	61 - 79
	Bambalang	632	0.037 - 0.024	61 - 95
Mifi Sud	Bamoungoun	306	0.021	110
	Bafounda	854	0.021	110
Metchie	Chutes	480	0.023	100
Choumi	Banok	360	0.020 - 0.028	115 - 82
Mape	Magba	4 020	0.030 - 0.049	77 - 47
Monkie	S 2	181	0.0305 -	75
Ndjeke	Ngongon	3 720	*0.026*	*89*
Tere	Ndoumba	1 730	0.018	128
Nianiang	Megengme	224	0.017 - *0.034*	135 - *68*
Avea	Menvounga	375	0.0125	184

Les valeurs en italique sont douteuses.

(1) Dans une étude détaillée en pays Bamiléké (Olivry – 1974i), on a obtenu des coefficients très voisins, aussi bien pour des bassins de 850 à 8 km² que pour des sources ; ceci montre bien la taille réduite des nappes « unitaires ». Nous pensons cependant avoir montré dans cette même étude que plus la densité de drainage est grande, ce qui implique alors que la taille des nappes de versant diminue, plus α est fort donc le tarissement rapide.

Nous avons signalé que pour un grand nombre de stations, une deuxième loi de tarissement s'imposait, souvent brusquement, dans la seconde partie de la saison sèche. Ce deuxième tarissement peut avoir un coefficient plus faible ou plus fort. La figure 6.7a illustre le sens de cette évolution du tarissement ou l'absence d'évolution au cours de la saison sèche pour les différentes stations du bassin de la Sanaga.

Les stations à loi de tarissement unique sont encore les plus nombreuses. Mais on ne peut préjuger du comportement de ces bassins pour des étiages prolongés et sévères.

Deux stations du haut-Noun, seulement, montrent une deuxième loi de tarissement à coefficient plus faible. Dans d'autres régions, d'autres pays, c'est pourtant le phénomène le plus couramment observé lors d'étiages prolongés. Les nappes à fort coefficient de tarissement tarissent les premières, laissant aux nappes à plus faible coefficient α le soin de fournir les débits de basses-eaux dans la seconde partie de la saison sèche.

Quant aux stations pour lesquelles le coefficient de tarissement s'accroît avec la durée de celui-ci, on peut penser qu'il y a des interférences entre plusieurs nappes drainées, de perméabilité et de capacité différentes, au fur et à mesure que le tarissement se prolonge, ou qu'il y a inversion du sens dominant de l'infiltration qui de la nappe alluviale vers le cours d'eau en début de tarissement devient orienté du cours d'eau vers la nappe alluviale en fin de période d'étiage, ce qui reprend partiellement la première hypothèse déjà évoquée pour le haut-Nyong.

D'une année à l'autre, le deuxième tarissement n'apparaît ni à date fixe, ni pour un débit donné. Il peut même ne pas être observé. Les conditions de remplissage des nappes varient d'un point à l'autre du bassin suivant les années ; les perturbations des pluies de saison sèche modifiant encore le contexte. La complexité du phénomène rend extrêmement délicate l'analyse du tarissement et notamment les prévisions que l'on pourrait faire au début de saison sèche.

2.1.1.4. Le débit initial de tarissement

Coefficient et débit initial de tarissement permettent, pour les stations à loi unique, de prévoir la rigueur d'un étiage. L'éventualité d'un étiage sévère reste soumise, bien entendu, au démarrage tardif de la saison des pluies et à l'absence de pluies parasites importantes au cours de la saison sèche.

Nous avons choisi, arbitrairement, le débit du 1er décembre comme débit initial de tarissement. A cette date, le tarissement est en principe général sur tout le bassin de la Sanaga. Nous avons tenté la prédétermination de ce débit initial à partir des débits de crue ou de l'importance de la saison des pluies. Il n'existe pas de relation simple permettant de déterminer à l'avance le débit du 1er décembre. Pour Edéa, par exemple, le coefficient de corrélation entre ce débit initial et le débit moyen du mois d'octobre (au cours duquel s'observe généralement le maximum annuel) n'est que de 0,45.

La prédétermination pour cette corrélation du débit initial du 1er décembre ajouterait une source de dispersion à des conditions, déjà très restrictives, sur l'éventualité d'étiages sévères.

A titre indicatif, nous donnons dans la figure 6.7b les abaques qui permettent de déterminer pour une date donnée le débit minimal de tarissement à partir d'un débit initial choisi à une date quelconque. Compte tenu des petites averses survenant en saison sèche, le débit de tarissement donné par ces abaques constitue la limite inférieure du débit susceptible d'être observé. On a présenté les quatre stations principales de la Sanaga, celle du Mbam à Goura et du Noun à Bafoussam.

2.1.2. Analyse statistique des étiages absolus

On a choisi comme paramètre de base l'étiage absolu (ou débit minimal) journalier annuel. L'analyse statistique est donc développée sur cet étiage absolu. Ses résultats sont ensuite étendus par le biais de régressions aux autres paramètres d'étiage, les débits caractéristiques, pour autant que cela soit possible.

On a tout d'abord tenu à vérifier la stabilité à long terme de l'étiage absolu en examinant le cas de la station d'Edéa qui est la plus ancienne. La figure 6.8 montre l'évolution de cet étiage depuis 1943-1944, ainsi que celle d'une moyenne mobile sur 10 ans ; celle-ci semble décroître sur la période alors que la moyenne des modules (cf. plus loin) paraît stable. La période observée est cependant trop courte à notre avis pour considérer cette tendance comme significative.

Il y a lieu également de rappeler que depuis 1969 le régime du Djerem et de la Sanaga est influencé depuis la retenue de Mbakaou et qu'en conséquence les étiages naturels reconstitués postérieurement à cette date peuvent ne pas être aussi précis que ceux de la période antérieure. Cette remarque s'applique plus à l'étiage absolu qu'aux débits caractéristiques sur des périodes de 10 à 90 jours.

Les valeurs de 1970 à 1973 figurent en pointillé dans la figure 6.8.

2.1.2.1. Éventualité d'apparition de l'étiage absolu annuel

Nous avons porté sur le tableau 6.27 ci-après la distribution des dates d'apparition de l'étiage absolu annuel en fonction du temps pour chacune des stations du bassin de la Sanaga. D'après la répartition obtenue, on peut classer ces stations en quatre groupes :

Tableau 6.27. – Date d'apparition du débit minimal annuel.

Station (nbre années)	Mois	Février			Mars			Avril			Après Avril
	N° décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Sanaga à Edéa	(25)		1	2	5	2	6	4	5		
Sanaga à Nachtigal	(19)		1	1	4	2	6	3	1	1	
Ndjeke à Ngongon	(3)			1	2						
Tere à Ndoumba	(7)		1	2	1		2	1			
Nianiang à Megengme	(7)			2	1	1	1				2
Avea à Menvounga	(1)					1					
Sanaga à Nanga-Eboko	(21)			2	2	5	5	2	1	2	2
Sanaga à Goyoum	(9)			1	1	1	2	1	2	1	
Djerem à Mbakaou	(10)			1	1	1	1	4	1	1	
Djerem à Betare-Gongo	(6)					2	1	1	1	1	
Lom à Betare-Oyo	(18)				2	1	6	3	2	1	3
Meng à Tibati	(15)		1	1	2		7	2	2		
Maouor au Pont	(7)				1	1	2	1	1	1	
Vina au Lahore	(13)				1		4	6	1	1	
Mbam à Goura	(19)	1	1	1	3	6	4	2	1		
Mbam à Mantoum	(5)			1	1	1	1		1		
Noun à Bafoussam	(18)			3	4	4	3	2	1	1	
Noun à Bamendjing	(6)			1	3		1	1			
Noun à Bambalang (S 10)	(3)		1	1				1			
Mifi-Sud à Bamoungoum	(3)						1	1			1
Mifi-Sud à Bafounda	(3)			1			1	1			
Metchie aux Chutes	(8)			1	3	2	1		1		
Choumi à Banok	(5)			1		1	1	2			
Mape à Magba	(17)	1	1	1	3	3	7	1			
Monkie à S 2	(3)			1	1			1			

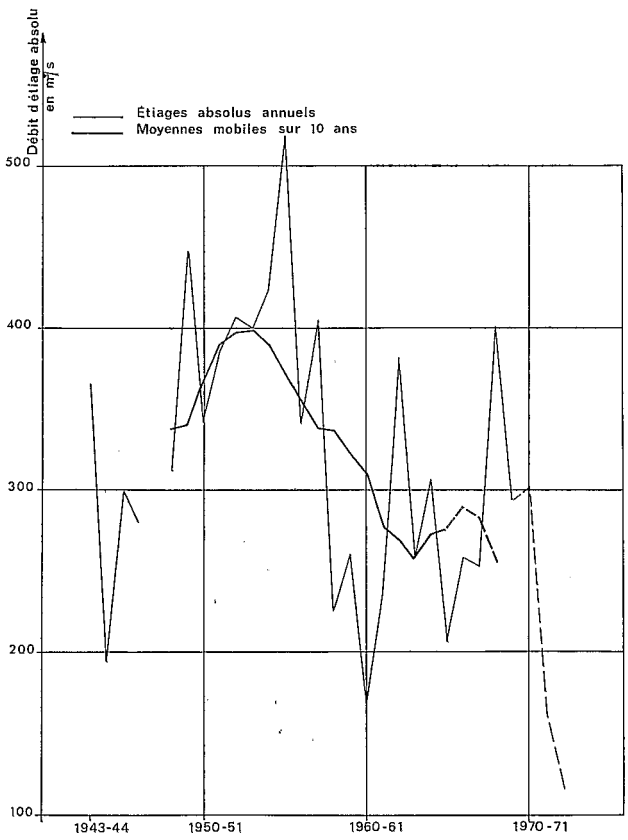


Fig. 6.8. – Sanaga à Edéa. Évolution du débit minimal sur la période 1943-1944 à 1969-1970.

Groupe 1 :
où l'on range les stations de la Sanaga situées à l'aval de Nanga-Eboko. L'étiage s'observe généralement entre le 1er mars et le 20 avril, avec tout de même 50 % de chances de se situer en mars.
Les décades les plus fréquentes sont la première et la troisième de mars et cette apparence de caractère bi-modal peut être dû au fait que les stations de ce groupe ont un étiage formé par la composition de ceux des trois autres groupes où les modes se manifestent justement en des décades différentes.

Groupe 1 bis :
qui comprend les affluents de la Sanaga inférieure, drainant de petits bassins. Il en résulte une plus grande irrégularité du régime et une répartition plus étalée avec possibilité d'apparition du débit minimal jusqu'en août. L'étiage se situe tout de même fréquemment (près de 60 fois sur 100) de la dernière décade de février à la première décade de mars.

Groupe 2 :
on y trouve les stations du haut-bassin de la Sanaga en amont de Nanga-Eboko soumis au climat tropical de transition. La répartition des dates d'apparition est sensiblement uniforme et les pluies moins précoces

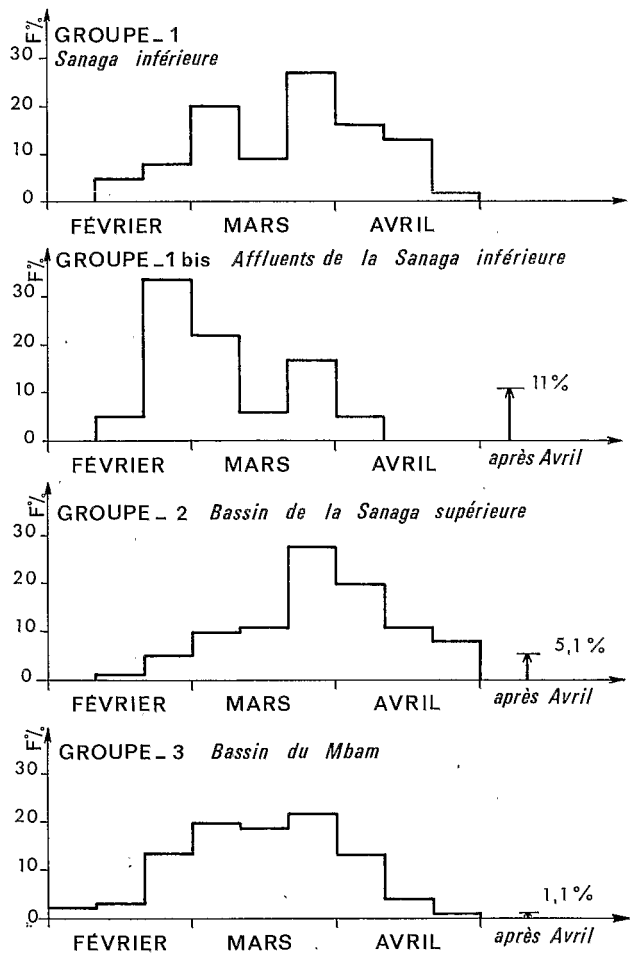


Fig. 6.9. – Bassin de la Sanaga. Répartition des fréquences d'apparition du débit minimal annuel.

font que l'étiage se produit plus tardivement et dans un intervalle plus restreint dont le mode se situe le plus souvent entre le 20 mars et le 10 avril.

Groupe 3 :

ce groupe comprend les stations du Mbam, pour lesquelles la répartition est très étirée mais centrée néanmoins sur le mois de mars.

Le tableau 6.28, ci-après, a été établi en rassemblant les stations d'un même groupe et en calculant pour chaque groupe la fréquence d'apparition de l'étiage absolu pour chacune des décades des mois de février, mars et avril.

Tableau 6.28. – Fréquence d'apparition du débit minimal annuel (en %).

Groupe \ Mois	Février			Mars			Avril			Après Avril
N° décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Groupe 1		4.5	7.5	20.3	9.0	27.1	15.8	13.5	2.3	
Groupe 1 bis		5.6	33.3	22.2	5.6	16.7	5.6			11.0
Groupe 2		1.0	5.1	10.1	11.1	28.2	20.2	11.1	8.1	5.1
Groupe 3	2.2	3.3	13.3	20.1	18.9	22.3	13.3	4.4	1.1	1.1

Un tel classement permet de construire les histogrammes reproduits dans la figure 6.9.

2.1.2.2. Distribution statistique des étiages absolus

On doit tenir compte, pour la loi de distribution des étiages absolus annuels, d'une borne inférieure non nulle et, corrélativement, d'une certaine dissymétrie de la distribution.

Ceci écarte a priori un certain nombre de lois statistiques ; aussi n'avons-nous retenu pour les ajustements statistiques que la loi log-normale, ou loi de Galton.

Rappelons que celle-ci suppose un changement de variable : la variable transformée, qui est normale, est une fonction linéaire du logarithme de la variable étudiée :

$$u = a \log (q - q_0) + b$$

Tableau 6.29. – Valeurs remarquables de l'étiage absolu annuel.

Stations	Paramètres de distribution			Débits d'étiage (m^3/s)		Débits spécifiques ($l/s.km^2$)	
	q_o	a	b	F = 0,5	F = 0,1	F = 0,5	F = 0,1
Sanaga à Edéa	0	8.77	-21.87	305	212	2.32	1.61
Sanaga à Nachtigal	0	7.19	16.29	183	125	2.41	1.65
Sanaga à Nanga-Eboko	0	6.12	-13.00	132	82	2.03	1.26
Sanaga à Goyoum	–	–	–	*98*	*64.5*	*1.94*	*1.28*
Djerem à Mbakaou	–	–	–	*25.4*	*16.2*	*1.26*	*0.80*
Djerem à Betare-Gongo	–	–	–	*16.4*		*1.49*	
Lom à Betare-Oya	-50	16.53	-31.92	35.2	21.3	3.17	1.92
Meng à Tibati	–	–	–	*2.75*	*1.46*	*0.56*	*0.30*
Maouor au Pont	–	–	–	*1.46*	*0.65*	*0.64*	*0.29*
Vina au Lahore	–	–	–	*5.13*	*3 à 4*	*3.05*	*1.8 à 2.4*
Mbam à Goura	0	6.50	-12.33	80.4	50.2	1.90	1.19
Mbam à Mantoum	–	–	–	*17.0*		*1.15*	
Noun à Bafoussam	0	6.43	6.39	10.0	6.5	2.11	1.37
Noun à Bamendjing				*1.50*	*0.7*	*0.68*	*0.32*
Noun à Bambalang				*0.55*		*0.87*	
Mifi-Sud à Bafounda				*2.38*	*1.63*	*2.78*	*1.91*
Metchie aux Chutes				*1 12*	*0.70*	*2.33*	*1.46*
Choumi à Banok				0.81	0.53	2.25	1.47
Mape à Magba	0	4.33	-1.69	2.45	1.13	0.61	0.28
Monkie à S 2				*0.16*		*0.89*	
Tere à Ndoumba				*3.5*		*2.0*	
Nianiang à Megengme				*0.23*		*1.03*	

Les valeurs en italiques sont douteuses.

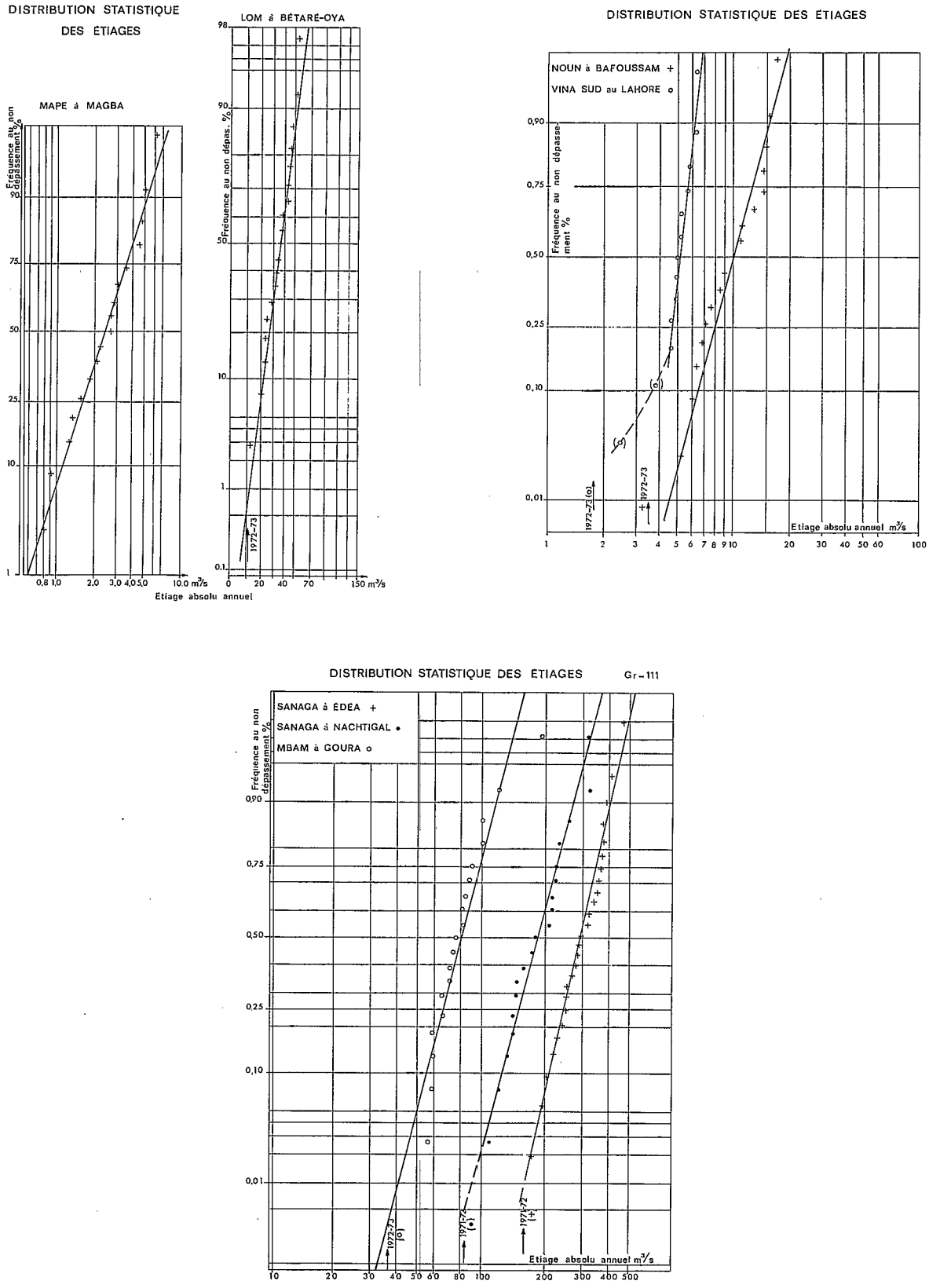


Figure 6.10. – Étude fréquentielle des étiages absolus.

Dans ces conditions la fonction de répartition a la même formulation que la loi normale.

Le paramètre q_0 a été ici déterminé par ajustement graphique (exemples sur les graphes fig. 6.10), les paramètres a et b étant calculés ensuite.

Le tableau 6.29, outre les paramètres obtenus, donne les valeurs d'ajustement calculées pour :
- l'étiage absolu médian ou bisannuel (F = 0,5),
- l'étiage absolu décennal d'année sèche (F = 0,1).

Quand l'échantillon était de taille trop faible (moins de 10 ans), ces valeurs obtenues par ajustement graphique ou régression avec une station voisine plus ancienne ont été mises en italiques.

On a également porté en italiques les résultats relatifs à certaines stations de plus de 10 ans mais pour lesquelles l'ajustement gausso-logarithmique n'a pas été jugé très satisfaisant. Ainsi en est-il du Meng à Tibati et de la Vina au Lahore. Pour cette dernière station, les deux plus faibles valeurs observées s'éloignent de l'ajustement (cf. fig. 6.10) sans que l'on sache bien pourquoi : étalonnage de basses-eaux imprécis ou complexité des origines de l'écoulement de tarissement (présence de sources d'eau salées « lahoré », possibilité de discordance entre bassin topographique et bassin hydrogéologique drainé).

2.1.2.3. Variation régionale de l'étiage absolu annuel

On a dans cet esprit tout d'abord procédé systématiquement à la recherche des liaisons entre les étiages absolus annuels observés aux principales stations du bassin.

Le tableau suivant montre le degré de liaison obtenu :

Tableau 6.30.

Couple de stations	Durée de la période commune (ans)	Coefficient de corrélation
Edéa - Nachtigal	19	0.90
Edéa - Goura	19	0.83
Nachtigal - Goura	19	0.75
Nachtigal - Nanga-Eboko	19	0.86
Nachtigal - Goyoum	9	0.85
Nanga-Eboko - Goyoum	9	0.89
Goyoum - Mbakaou	9	*0.69*
Goyoum - Betare-Oya	9	0.84
Mbakaou - Betare-Oya	9	*0.49*
Mbakaou - Tibati	8	*0.56*
Mbakaou - Betare-Gongo	5	*0.92*
Mbakaou - Maouor	7	0.94
Tibati - Maouor	7	*0.56*

N.B. : Les coefficients en italiques ne sont pas significatifs au seuil de 5 % (table de Fisher).

Il apparaît, à l'examen de ces résultats, que seules les stations qui – relativement – contrôlent de grands bassins, bénéficient entre elles de liaisons serrées.

Pour des bassins versants de moins de 10 000 km², les valeurs obtenues sont beaucoup plus rarement significatives.

Il faut noter toutefois que c'est dans le cas des exutoires de petits bassins que les périodes communes d'observation sont les plus courtes, ce qui conduit à accroître l'incertitude sur les liaisons.

Néanmoins cette absence de liaison serrée corrobore les remarques faites en 2.1.1.3. concernant l'hétérogénéité des tarissements consécutive à l'existence de nombreuses nappes d'importance locale et de capacités diverses.

Si l'on porte en coordonnées logarithmiques, pour chaque station, le débit d'étiage absolu médian en fonction de la superficie du bassin versant (figure 6.11), l'on constate que celui-ci est supérieur ou à la limite égal à :

$$Q\ m^3/s = 1{,}45\ 10^{-4}.S^{1{,}43}$$

Pour les bassins de superficie inférieure ou voisine de 10 000 km², nous constatons l'influence de la latitude, de l'altitude, et du substratum.

La latitude joue par la longueur de la saison sèche donc du tarissement : les bassins méridionaux de la zone équatoriale (Nianiang et Tere) présentent de ce fait des étiages spécifiques supérieurs à ceux du nord (Maouor). L'altitude tempère quelque peu ce schéma.

Le substratum joue aussi un rôle important : si les bassins à forte couverture volcanique de type basaltique ont des étiages assez forts (Haut Noun, de la Monkie à Bamendjing, par exemple) ils sont cependant dépassés par les bassins de la Mifi (plateau Bamiléké) où la couverture de cendres volcaniques joue un rôle aquifère très important. Quant à la Vina au Lahore, son étiage est renforcé par les débits de « lahoré » (sources d'eaux profondes en général salées) situés en amont de la station.

Au-dessus de 15 000 km², l'ensemble des bassins contrôlés ont leur débit d'étiage absolu médian voisin de :

$$Q\ m^3/s = 4{,}45\ 10^{-4}.S^{1{,}14}$$

Pour les bassins compris entre 1 000 et 10 000 km² et à faible débit spécifique d'étiage absolu médian ($\leqslant$ 1 l/s.km²) le rapport de l'étiage absolu décennal d'année sèche sur l'étiage absolu médian varie entre 0,45 et 0,50. Ce rapport dépasse 0,60 pour les autres bassins avec un maximum de 0,69 pour la Sanaga à Edéa.

Le rapport croît avec la richesse de l'aquifère drainée et avec la superficie du bassin ; plus ce rapport est élevé, moins est grande la variabilité interannuelle de l'étiage du cours d'eau considéré.

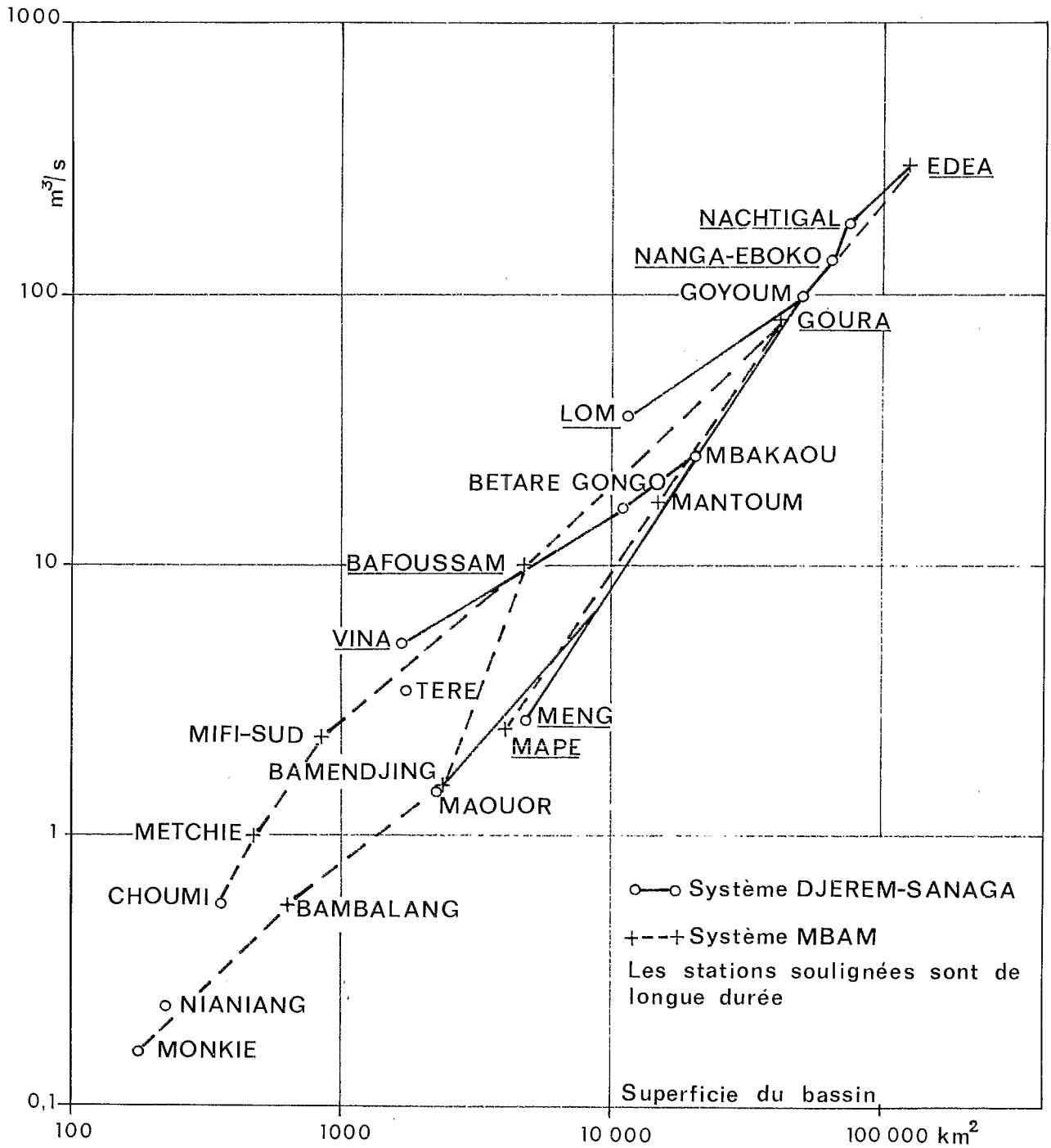


Fig. 6.11. – Évolution de l'étiage absolu médian.

2.1.3. Relation entre le débit d'étiage absolu et les débits caractéristiques

Il est intéressant d'étudier, pour chaque station, l'intensité de la liaison qui existe entre le débit d'étiage absolu et les débits caractéristiques successifs.

Rappelons que l'on désigne par DCE, DC1, DC3 les débits moyens journaliers non dépassés pendant 10 jours, 1 mois et 3 mois dans l'année hydrologique considérée.

On trouvera dans le tableau 6.31 ci-après les valeurs des coefficients de corrélation obtenus entre le débit d'étiage et les débits caractéristiques DCE, DC1, DC3.

On peut constater que si la liaison entre le débit d'étiage absolu et le débit caractéristique des 355 jours est très étroite, elle se relâche nettement pour le débit caractéristique des 335 jours pour devenir quasiment inexistante dans le cas du DC3, sauf pour les très grands bassins où elle se maintient.

Tableau 6.31. – Coefficients de corrélation entre le débit d'étiage absolu et les débits caractéristiques.

Stations	Etiage absolu DCE	Etiage absolu DC1	Etiage absolu DC3
Sanaga à Edéa	0.98	0.87	0.67
Sanaga à Nachtigal	0.98	0.94	0.81
Sanaga à Nanga-Eboko	0.98	0.95	0.79
Sanaga à Goyoum	0.90	0.78	*0.11*
Djerem à Mbakaou	0.98	*0.25*	*0.06*
Vina au Lahore	0.94	0.63	*0.09*
Meng à Tibati	0.99	0.97	0.64
Lom à Betare-Oya	0.97	0.62	0.52
Mbam à Goura	0.98	0.92	0.86
Noun à Bafoussam	0.91	0.69	*0.44*
Mape à Magba	0.90	0.83	*0.46*

L'intensité de la liaison semble toutefois moins dépendre de la superficie du bassin versant que de la variabilité du régime. En effet les liaisons sont très vite inconsistantes lorsque l'on regarde le Djerem à Mbakaou et la Vina par exemple étant donné le caractère particulier des eaux souterraines dans ce dernier bassin.

Étant donné le nombre de valeurs utilisées dans ces corrélations, on a seulement considéré comme très significatif la liaison lorsque le coefficient de corrélation dépassait 0,95 pour plus de 10 valeurs. Dans ce cas seulement, on peut penser que l'équation de régression liant le débit caractéristique d'étiage DCE au débit d'étiage absolu D_{MIN} est susceptible de permettre une appréciation fréquentielle du premier terme DC1 à partir de l'analyse statistique du second.

Le tableau suivant (6.31a) donne les équations de régression ainsi calculées pour quelques stations sur la base DCE = a . D_{MIN} + b (en m^3/s) :

Tableau 6.31a.

Station	Coefficient de corrélation	a	b
Sanaga à Edéa	0.98	1.15	-6.67
Sanaga à Nachtigal	0.98	1.06	14.92
Sanaga à Nanga-Eboko	0.98	1.05	13.30
Djerem à Mbakaou	0.98	0.83	7.80
Meng à Tibati	0.99	1.16	0.26
Lom à Betare-Oya	0.97	1.07	2.87
Mbam à Goura	0.98	1.06	4.63

Enfin on a calculé le coefficient de passage entre valeurs médianes observées des divers paramètres d'étiage retenus d'une part DCE, DC1 et DC3 et étiage absolu d'autre part.

Tableau 6.32. – Rapports entre les médianes des étiages absolus et les débits caractéristiques.

Station	Etiage/DCE	Etiage/DC1	Etiage/DC3
Sanaga à Edéa	0.84	0.67	0.45
Sanaga à Nachtigal	0.86	0.69	0.48
Sanaga à Nanga-Eboko	0.92	0.67	0.42
Sanaga à Goyoum	0.85	0.67	0.36
Djerem à Mbakaou	0.89	0.61	0.27
Vina au Lahore	0.90	0.67	0.37
Meng à Tibati	0.73	0.43	0.13
Lom à Betare-OYa	0.88	0.72	0.52
Mbam à Goura	0.90	0.76	0.36
Noun à Bafoussam	0.84	0.61	0.34
Mape à Magba	0.76	0.48	0.13

L'examen de ces divers résultats nous confirme que l'étiage absolu et le débit caractéristique d'étiage sont liés entre eux et de manière d'autant plus étroite que le bassin drainé est grand. Dans ce dernier cas, on note que l'étiage absolu représente 84 à 90 % du débit DCE.

La liaison avec les débits caractéristiques de plus longue durée DC1 et DC3 est moindre. Ni les équations de régression ne permettent une bonne estimation, ni les rapports entre médianes ne sont bien consistants.

Le parasitage de la période de l'étiage absolu par les premières pluies de la nouvelle saison, la complexité des aquifères drainés sont des causes parmi d'autres de cette situation de fait entre les divers paramètres d'étiage.

2.2. Étude des crues

Il convient de rappeler que l'on étudie, ici, le débit maximal annuel, obtenu généralement à partir d'une lecture de l'échelle limnimétrique par jour. Celui-ci

toutefois ne diffère pas sensiblement du débit maximal absolu, au moins pour les stations ayant un bassin versant supérieur à 20 000 km², pour lesquelles les variations journalières de cote sont faibles. Pour les bassins les plus petits, le maximum correspond cependant à celui relevé sur des enregistrements limnigraphiques ou à la plus forte des lectures bi ou tri quotidiennes.

2.2.1. Éventualité d'apparition des débits de pointe

Pour chacune des stations observées, nous avons porté (tableau 6.33) le nombre d'apparitions du débit maximal dans chacune des décades des mois de septembre-octobre et novembre. La répartition obtenue semble être fonction de deux facteurs principaux :
- la situation géographique de la station,
- l'importance du bassin versant contrôlé.

On peut ainsi distinguer quatre groupes de stations :

Groupe 1 :

Ce groupe rassemble les stations de la Sanaga situées à l'aval de Goyoum et qui contrôlent par conséquent de grands bassins versants, dont une partie est située dans une zone de forêt ou de galeries très denses soumises au climat équatorial de transition à grande saison sèche. Le débit maximal annuel survient généralement en octobre avec presque une chance sur deux de se situer dans la dernière décade.

Tableau 6.33. – Date d'apparition du débit maximal annuel.

Groupes de bassins	Période de référence (années)	Mois	Août			Septembre			Octobre			Novembre		
		n° décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sanaga à Edéa	28								4	9	12	3		
Sanaga à Nachtigal	20								5	5	9	1		
Sanaga à Nanga-Eboko	21								5	7	8	1		
Ndjeke à Ngongon	3								1		1		1	
Tere à Ndoumba	8							1		1	4	2		
Nianiang à Megengme	8							3	1	2	1	1		
Avea à Menvounga	2					1			1					
Sanaga à Goyoum	10			1		1	1		3	3	1			
Djerem à Mbakaou	11					1	2	2	2	4				
Djerem à Betare-Congo	6					2	1		1	2				
Lom à Betare-Oya	19			1		3		6	4	5				
Meng à Tibati	15			1		2	2	2		6	1	1		
Maouor au Pont	7						3	2	1	1				
Vina au Lahore	18			1		2	2	4	8	1				
Mbam à Goura	20							5	5	6	5	1		
Mbam à Mantoum	6							1	2	2	1			
Noun à Bafoussam	19					1	2	1	7	5	2	1		
Noun à Bamendjing	6					1	1		2		1	1		
Noun à Bambalang (S 10)	3			1			1		1					
Mifi-Sud à Bamoungoun	4						1			2		1		
Mifi-Sud à Bafounda	4					1			1	1		1		
Metchie aux Chutes	8					1	2		2		1	2		
Choumi à Banok	6					1	1		2	1		1		
Mape à Magba	19							6	3	9	1			
Monkie à S 2	3					1			1					1

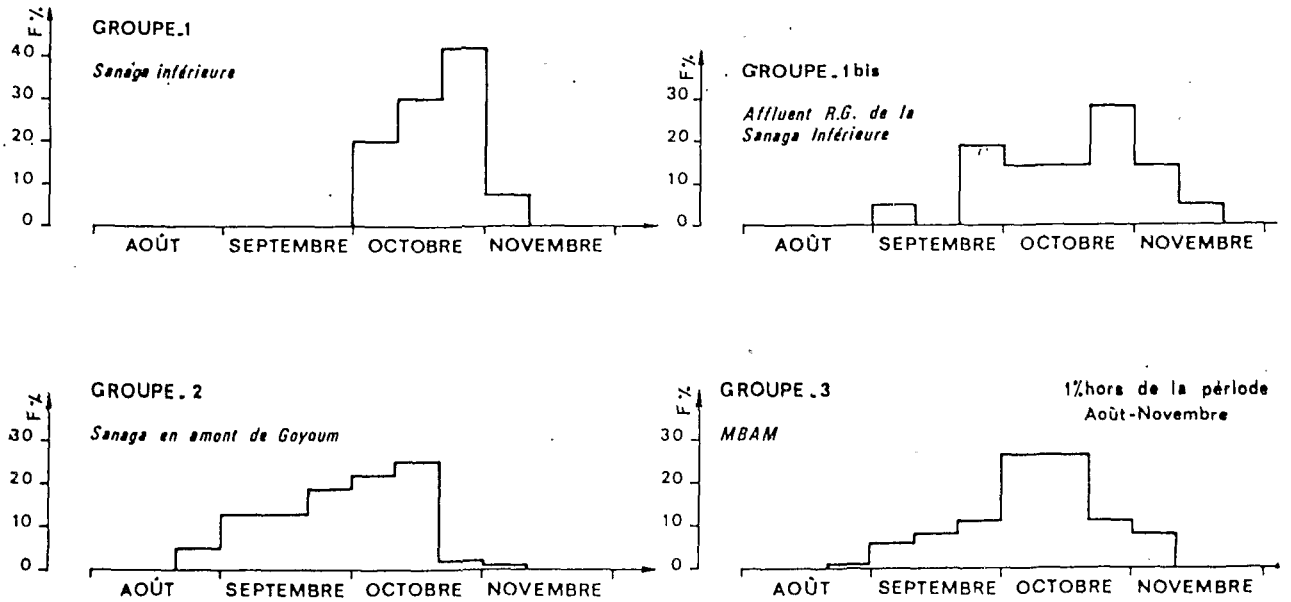


Fig. 6.12. – Bassin de la Sanaga. Répartition des fréquences d'apparition du débit maximal annuel.

Tableau 6.34. – Débit journaliers maximaux annuels (en m³/s) aux stations du bassin de la Sanaga.

Année	SANAGA EDEA	SANAGA NACHTIGAL	SANAGA NANGA-EBOKO	SANAGA GOYOUM	DJEREM MBAKAOU	LOM BETARE-OYA	MENG TIBATI	VINA du SUD LAHORE	MBAM Bac de GOURA	NOUN BAFOUS-SAM	MAPE Pont de MAGBA
1943	6 110										
1944	5 660	3 750									
1945	5 660	3 480									
1946	5 360	3 200									
1947	5 160	3 240									
1948	6 840	3 750									
1949	7 450	3 600	3 120								
1950	6 990	4 030	3 340								
1951	6 840	3 660	3 110			681		95	2 530		
1952	6 460	3 310	2 920			559		133	2 250	279	273
1953	6 360	3 690	3 180			541		99	2 300	224	273
1954	7 030	3 810	3 500			690	482	150	2 930	404	465
1955	7 750	4 070	3 330			672	436	142	2 650	302	316
1956	6 840	3 590	3 190			656	459	111	2 290	314	220
1957	6 400	3 680	3 330			421	475	122	2 710	388	471
1958	6 770	2 790	2 590			470	364	115	1 820	313	355
1959	6 680	3 020	2 510		1 310	526	430	106	2 910	329	462
1960	6 680	3 590	3 260		1 770	480	426	107	2 660	298	467
1961	7 440	3 360	2 990	2 460	1 320	576	537		2 860	280	536
1962	7 120	3 310	2 890	2 520	1 600	572	354	110	2 580	400	489
1963	5 740	3 430	3 000	2 540	1 450	526	400	121	1 780	206	375
1964	7 330	4 230	3 710	2 950	2 090	467	473	130	2 760	267	449
1965	5 660	2 870	2 530	2 030	1 170	404	428	118	2 140	244	375
1966	6 270	3 020	2 630	2 160	1 330	554	397	121	2 200	268	375
1967	7 250	3 240	2 900	2 350	1 190	549	458		3 270	396	551
1968	5 970	3 050	2 710	2 350	1 320	584	317	88	2 320	284	483
1969	7 700	4 310	3 930	3 390	2 050	690		143	2 880	325	499
1970	7 400	3 300	3 030	2 670	1 660	577		108	2 910	316	380

Groupe 1bis :

Situé dans le même environnement, ce groupe se distingue du précédent par la dimension des bassins versants contrôlés qui est beaucoup plus faible. Il s'agit des affluents de rive gauche de la Sanaga inférieure. La répartition des dates d'apparition, toujours centrée sur le 15 octobre, est moins compacte, parce que plus dépendante de la date des précipitations les plus fréquentes et les plus intenses du fait de la superficie modeste des bassins.

Groupe 2 :

On y trouve les stations qui contrôlent le bassin de la Sanaga en amont de Goyoum, incluant les tributaires descendant de l'Adamaoua. Situées dans une zone de savane arbustive et de forêt moins dense soumise au climat tropical de transition (variété de montagne), on observe à ces stations un débit maximal généralement plus précoce (avant le 20 octobre).

Groupe 3 :

On rassemble dans ce groupe, le plus hétérogène, l'ensemble des stations du bassin du Mbam, toutes situées à l'ouest du 12° de longitude Est, dans une zone montagneuse de forêt-galerie et savane arbustive soumise au climat tropical de l'ouest (influence maritime). La répartition des dates d'apparition, très étalée, y est centrée sur les deux premières décades d'octobre.

Un tableau a été établi en prenant en compte l'ensemble des stations d'un même groupe pour chacun desquels ont été calculées les fréquences d'apparition, ce qui permet d'en déduire les histogrammes de la figure 6.12.

Tableau 6.35. – Fréquence d'apparition du débit maximal annuel (en %).

Groupes \ Mois	Août		Septembre			Octobre			Novembre		
n° décade	1	2 3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Groupe 1						20.2	30.5	42.1	7.2		
Groupe 1 bis			4.8		18.9	14.3	14.3	28.6	14.3	4.8	
Groupe 2	4.7		12.8	12.8	18.6	22.1	25.5	2.3	1.2		
Groupe 3 *	1.0		6.0	8.2	11.2	26.5	26.5	11.2	8.2		

* : 1 % d'occurrence en dehors de la période août-novembre.

2.2.2. Analyse statistique

Les séries observées des débits journaliers maximaux annuels ont été présentées dans la partie « Données de base » ; seules les valeurs allant jusqu'à 1970 ont été exploitées dans l'étude statistique.

On a retenu les onze séries principales qui figurent récapitulées sur le tableau 6.34.

Les maximums de crue ayant une variance propre plus grande que celle des modules, on a jugé prudent de n'effectuer la recherche de la loi de distribution la plus adéquate que pour les neuf séries d'au moins 15 valeurs. On se réserve dans un paragraphe suivant, par corrélations, de traiter le cas des séries trop courtes de Goyoum et Mbakaou.

La recherche de la meilleure adéquation a été entreprise à l'aide des lois normales, de Galton ou log-normale, de Pearson III ou Gamma incomplète, exponentielle généralisée ou de Goodrich (selon que le paramètre d'échelle est négatif ou positif) (1).

La sélection de la meilleure adéquation ne peut s'appuyer seulement sur le test des intersections. Ici, en effet, l'intérêt d'une bonne adéquation concerne surtout les valeurs élevées de fréquence faible (0,10 et moins) ; aussi faut-il pondérer le test des intersections par un examen visuel graphique de l'adéquation des lois aux valeurs élevées.

On donne à tire d'exemple les figures 6.13 et 6.14 relatives aux stations d'Edéa , Nachtigal, Goura et Betare-Oya.

L'examen de ces graphiques et l'analyse du résultat des tests de recoupement ne conduisent à des conclusions ni tranchées, ni évidentes. En effet, et sauf exception sur laquelle nous reviendrons, les séries observées ne manifestent pas de tendance nette à l'hypernormalité comme on pourrait le penser en matière de crues ; aussi pour la plupart d'entre elles paraît-il plus raisonnable et plus simple de s'en tenir à l'adéquation par une loi normale beaucoup plus maniable.

Un argument complémentaire est fourni en faveur de ce choix simplificateur par le fait que les estimations d'une crue rare, disons décennale, que l'on pourrait faire selon l'une ou l'autre des lois testées, se situent toutes deux dans une gamme peu étendue, gamme toujours incluse dans l'intervalle de confiance à 80 % de la même estimation selon la loi normale.

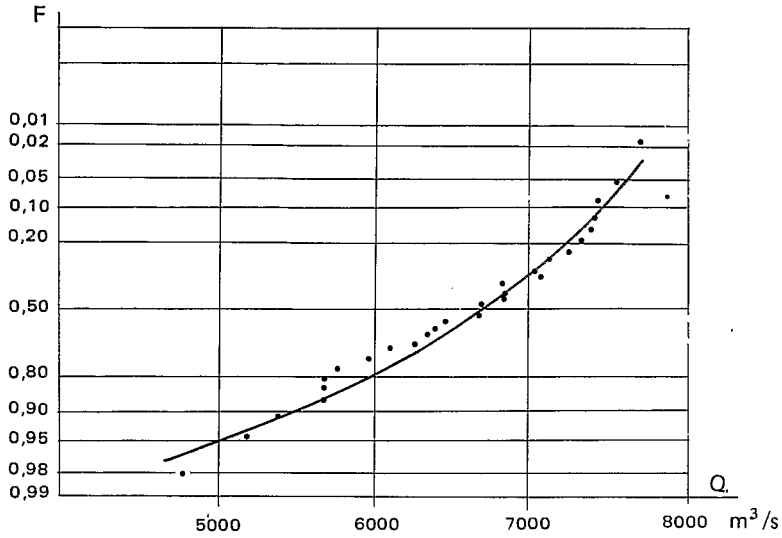
Le tableau 6.35a donne quelques exemples justifiant cet argument :

Tableau 6.35a. – Estimation de la crue décennale (m^3/s).

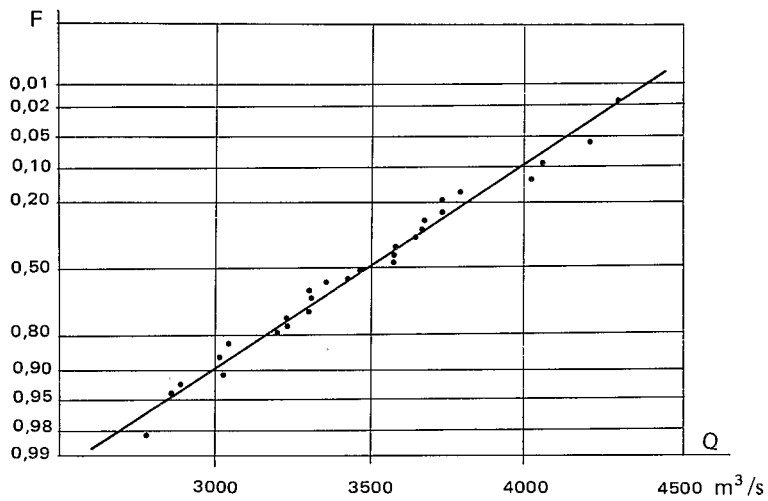
Station	Gamme selon plusieurs lois	Valeur selon la loi normale	Intervalle de confiance à 80 % de cette valeur
Nachtigal	4 002 – 4 089	4 000	3 865 – 4 135
Goura	2 920 – 3 067	3 040	2 883 – 3 197
Betare-Oya	667 – 688	665	630 – 700

On remarque que si le choix de la loi normale a tendance à minorer l'estimation, la différence est nettement inférieure à l'intervalle d'incertitude sur ladite estimation.

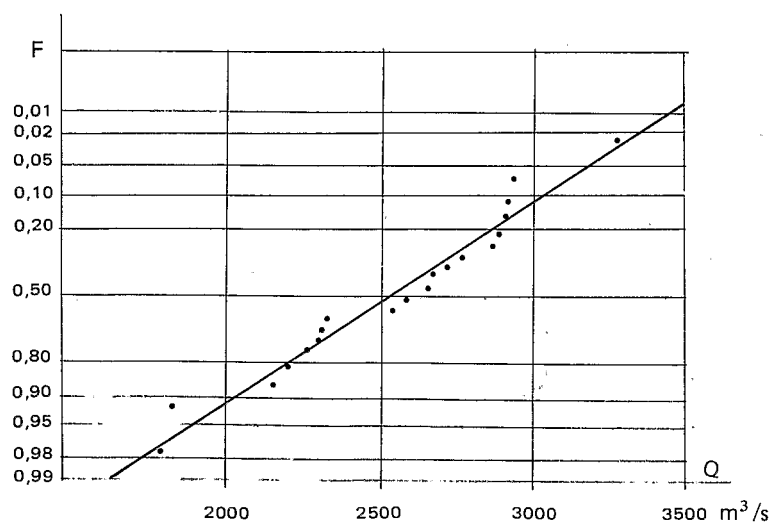
(1) On rappellera que lorsque les paramètres d'échelle sont négatifs, ces deux dernières lois d'hypergaussiques deviennent hypogaussiques.



Sanaga à EDÉA
(28 années d'observation)
Loi doublement exponentielle



Sanaga à NACHTIGAL
(27 années d'observation)
Loi de GAUSS



Mbam à GOURA
(20 années d'observation)
Loi de GAUSS

Fig. 6.13. – Distribution statistique des crues.

(F : Fréquence au dépassement).

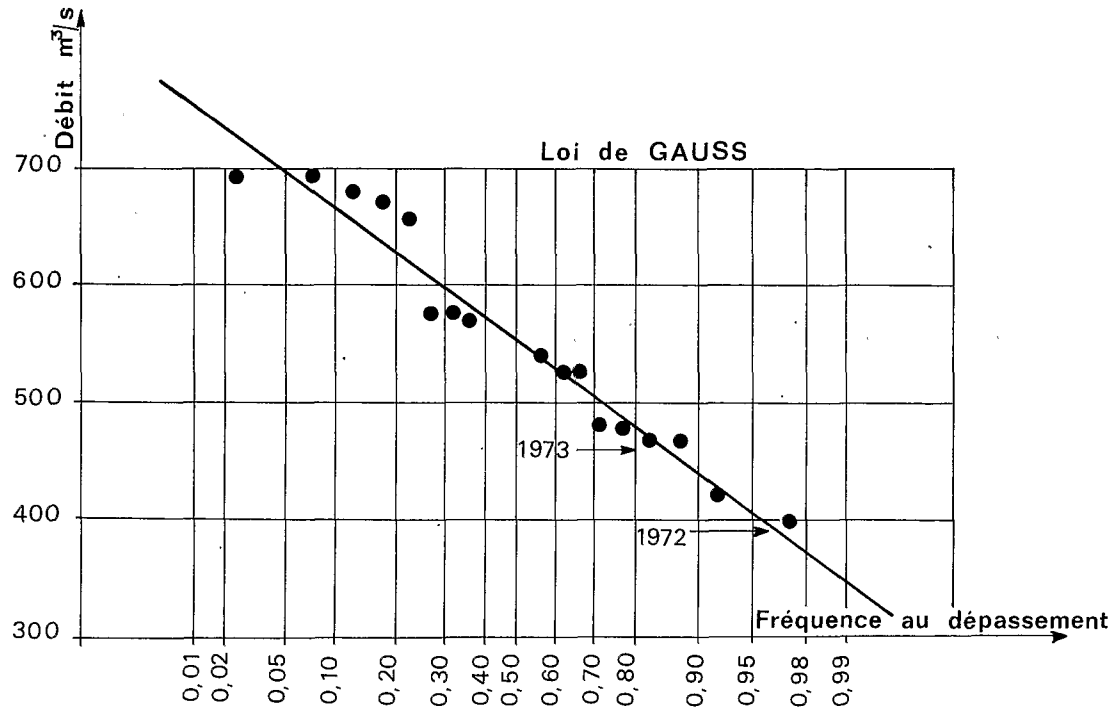


Fig. 6.14. – Distributions statistiques des crues : Lom à Betare-Oya (20 années d'observation). Loi de Gauss

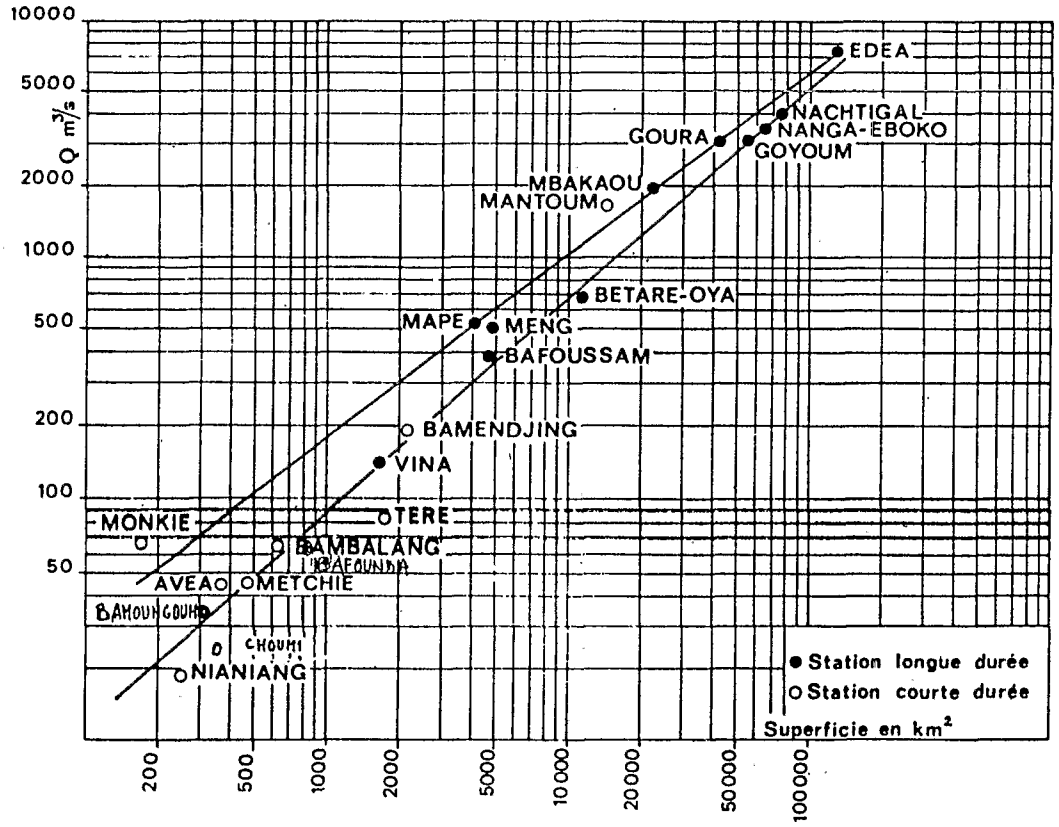


Fig. 6.15. – Bassin de la Sanaga. Variation du débit de crue décennal en fonction de la superficie du bassin versant.

Tableau 6.35b. – Paramètres des lois de distribution des crues maximales annuelles.

Station	Type de loi	Moyenne (m3/s)	Ecart-type (m3/s)	Coefficient de variation
Sanaga à Edéa	Double exponentielle	6 526	794	0.12 (1)
Sanaga à Nachtigal	Normale	3 596	395	0.11
Sanaga à Nanga-Eboko	Normale	3 077	369	0.12
Lom à Betare-Oya	Normale	555	86	0.16
Meng à Tibati	Normale	429	56	0.13
Vina au Lahore	Normale	118	17	0.14
Mbam à Goura	Normale	2 538	391	0.15
Noun à Bafoussam	PEARSON III	307	58	0.19 (2)
Mape à Magba	Normale	406	92	0.23

(1) Le mode est de 6 898 m³/s et le paramètre d'échelle de — 641.
(2) Les paramètres d'échelle, de forme et de position sont respectivement de 12,9, — 19,1 et 61.

Tableau 6.35c. – Paramètres des lois de distribution de crues.

Station	Série observée		Coefficient de corrélation	Série étendue		
	Moyenne (m3/s)	Ecart-type (m3/s)		Nombre d'années fictives	Moyenne (m3/s)	Ecart-type (m3/s
Goyoum	2 542	393	0.94	22	2 606	393
Mbakaou	1 522	315	0.92	22	1 587	315

Une seule exception nette à ce choix : Edéa. Les crues y sont dues à la composition de celles de la Sanaga en provenance de Nachtigal et du Mbam venant de Goura. Cette composition ne se fait jamais avec conjonction des maximums par suite des longueurs très différentes des deux bassins, les crues du Mbam arrivant les premières. Ceci peut en partie expliquer le net caractère d'hyponormalité de la distribution des crues à Edéa, où la loi doublement exponentielle à paramètre d'échelle négatif assure la meilleure adéquation.

Le tableau 6.35b ci-après donne les paramètres estimés des lois retenues pour les séries de crues analysées.

2.2.3. Corrélations entre stations voisines

Pour améliorer la connaissance des caractéristiques de crues aux stations de courte durée, Mbakaou et Goyoum (avec 12 et 10 années de relevés), on a recherché des corrélations avec des stations voisines.

La meilleure corrélation a été obtenue dans les deux cas avec la station de Nachtigal qui offre en outre l'avantage d'être celle qui a la plus longue série d'observations (27 ans) sur la Sanaga, avant Edéa. Le fait d'avoir choisi une loi normale pour les maximums de crue à Nachtigal permet d'admettre le même choix pour Goyoum et Mbakaou, étant donné le haut degré de liaison trouvé.

Les résultats de ces corrélations sont donnés dans le tableau 6.35c.

D'autres corrélations ont été menées avec des stations de moins de neuf années de relevés, c'est-à-dire pour lesquelles une extension statistique rigoureuse étant irréaliste on s'est contenté de lire sur le graphique les valeurs correspondant aux crues de fréquence choisie à la station de référence, en admettant qu'elles avaient la même fréquence.

C'est ce qui a été fait à partir de Bafoussam pour Bamendjing et Bambalang sur le Noun (Nouvelot *et al.*, 1971), la Metchie aux chutes et les stations de la Mifi (Olivry – 1974i).

Tableau 6.36. – Maximums de crues remarquables.

Station	Bisannuelle (m3/s)	Décennale (m3/s)	Décennale (l/s.km²)	IC 80 % sur crue décennale (m3/s)	Centennale (m3/s)	Millénale (m3/s)
Sanaga à Edéa	6 660	7 430	56.5	–	7 880	8 140
Sanaga à Nachtigal	3 495	4 000	52.5	135	4 415	4 715
Sanaga à Nanga-Eboko	3 075	3 550	54.5	136	3 935	4 220
Sanaga à Goyoum	2 605	3 085	61	150	*3 520**	–
Djerem à Mbakaou	1 585	1 975	98	115	*2 320*	–
Lom à Betare-Oya	555	665	60	35	760	825
Meng à Tibati	430	500	102	25	560	605
Vina au Lahore	118	140	83	7	155	170
Mbam à Goura	2 540	3 040	72	157	3 450	3 750
Noun à Bafoussam	305	380	80	–	455	520
Mape à Magba	405	525	130	37	620	690
Noun à Bamendjing	150	190	86	–	*245*	–
Noun à Bambalang	47	65	100	–	–	–
Metchie aux Chutes	32.6	40	83	–	–	–
Choumi à Banok	25.1	30.6	85	–	–	–
Mifi à Bafounda	60.0	66.5	78	–	–	–
Mifi à Bamoungoum	25.3	33.4	109	–	–	–
Monkie à S 2	50	67	370	–	–	–
Mbam à Mantoum	1 345	1 650	112	–	–	–
Avea à Menvounga	33	45	114	–	–	–
Nianiang à Megengme	11	18	81	–	–	–
Tere à Ndoumba	61	83	48	–	–	–

* Les valeurs en italiques sont approximatives.

Des estimations encore moins assurées ont été faites pour quelques petits affluents : Monkie, Avea, Nianiang et Tere.

2.2.4. Maximums de crues remarquables

Le tableau 6.36, ci-dessus, récapitule les valeurs estimées des maximums de crues pour quelques récurrences remarquables : bisannuelle ou valeur médiane, décennale, centennale et millénale. Ces valeurs sont déduites des ajustements aux lois retenues ; quand il s'agit de la loi normale, on donne également l'intervalle de confiance à 80 % pour la récurrence décennale. Les valeurs relatives aux récurrences centennale, et surtout millénale, sont données à titre purement indicatif – étant donné la petitesse des échantillons observés – et seulement lorsqu'il y a eu ajustement statistique.

On peut constater que les crues décennales sont connues avec une incertitude statistique voisine de $\pm$ 5 %, dans un intervalle de confiance à 80 % ; une incertitude au moins du même ordre affecte les résultats concernant Edéa et Bafoussam.

Il est intéressant de comparer les estimations de crues remarquables aux plus fortes valeurs observées qui correspondent généralement à la crue de 1969. En amont de Mbakaou, la crue de 1969 est environ décennale, comme sur le Lom ; en aval à partir de Goyoum cette crue est nettement supérieure à celle de récurrence décennale tout en restant un peu inférieure à celle de récurrence centennale. La récurrence de la crue de 1969 sur le bief de la Sanaga en aval de Goyoum ne peut être précisée car tous les débits ont été reconstitués pour qu'ils soient affranchis de l'influence de la retenue de Mbakaou, et cela ne donne pas une image exacte à l'échelle journalière. On peut simplement assurer que cette crue fut nettement plus rare que la crue décennale. Il faut noter que la crue de 1969 est inférieure à la crue décennale à toutes les stations du bassin du Mbam.

2.2.5. Variabilité régionale de la puissance des crues

On a représenté dans la figure 6.15 en coordonnées logarithmiques les débits de crue décennale en fonction des superficies de bassins versants.

On peut matérialiser par deux droites de la forme $Q = a\ S^n$ la relation entre débits et surfaces.

La droite inférieure regroupe la majeure partie des bassins versants. La droite supérieure correspond à des bassins ayant un débit de crue plus élevé. Mais il n'a

pas été possible d'expliquer la différence entre les deux droites en faisant appel à d'autres paramètres du milieu. Tout ce que l'on peut dire c'est que les bassins de ce second groupe, à crues fortes, sont les bassins supérieurs de la couronne septentrionale et occidentale du bassin de la Sanaga : Djerem en amont de Mbakaou, Meng en amont de Tibati, Mape en amont de Mantoum, et même le Mbam à Goura, tous bassins à fortes pentes moyennes et n'ayant pas dans leurs parties basses de marécages régularisateurs des pointes de crue.

A l'opposé, on notera que les affluents de rive gauche de la basse Sanaga, dans la région forestière, pourraient avoir des crues plus faibles que celles de l'ensemble du bassin. Dans cette catégorie, rentrent aussi les rivières bamiléké étudiées et le haut-Noun, cours d'eau comprenant zones basses ou marécageuses sur une partie de leurs bassins versants (Olivry, 1974i). Les seules données disponibles concernent des bassins (Avea, Nianiang, Tere) de trop courte période d'observation pour que l'on puisse confirmer cette tendance (Lefèvre, 1965).

Les deux droites précédentes répondent aux équations suivantes :

Couronne nord-ouest à forte pente $Q_D = 0{,}93\ S^{0{,}76}$

Reste du bassin de la Sanaga $Q_D = 0{,}22\ S^{0{,}86}$

Ces relations sont applicables entre 1 000 et 100 000 km². En dessous de 1 000 km², elles doivent être maniées avec précaution, les facteurs physiques jouant alors un rôle prépondérant.

L'irrégularité interannuelle du régime des crues est évidemment caractérisée par la loi de distribution des maximums annuels. On peut également l'illustrer par un coefficient de passage entre les débits maximaux de la crue décennale et la crue centennale.

On a indiqué ce rapport dans le tableau 6.37 ci-après ; il a été calculé pour les principales stations ayant fait l'objet de l'étude statistique. On remarque que ledit coefficient est assez faible et peu variable puisque compris entre 1,10 et 1,20, si l'on écarte Edéa où le chiffre de 1,07 caractérise le régime mixte de crue (à tendance hyponormale). On peut dire que ce rapport vaut 1,10 — 1,15 pour les grands bassins et les cours d'eau à forte régularisation des crues par marécages (exemple de la Vina), et vaut 1,15 — 1,20 pour les autres bassins [1].

(1) On verra en 2.4.2 que ces remarques doivent être nuancées.

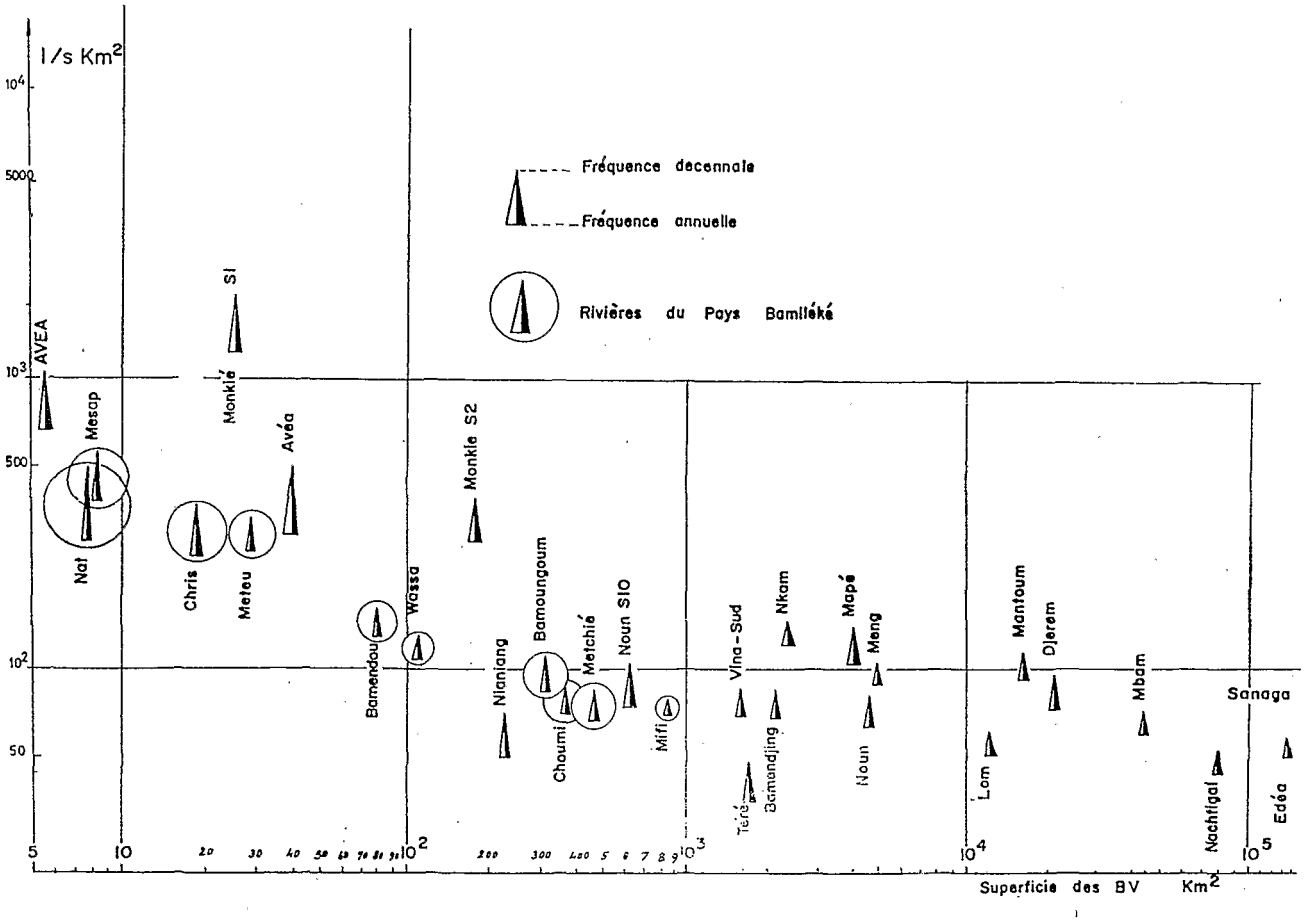


Fig. 6.16. – Débits spécifiques de crue de fréquences annuelle et décennale et superficies des bassins versants.

Tableau 6.37. – Variation du rapport : crue centennale crue décennale suivant la superficie du bassin.

Stations	Superficie en km²	Rapport : crue centennale / crue décennale
Sanaga à Edéa	131 500	1.07
Sanaga à Nachtigal	76 000	1.10
Sanaga à Nanga-Eboko	65 100	1.11
Sanaga à Goyoum	50 500	*1.14**
Djerem à Mbakaou	20 200	*1.17*
Lom à Betare-Oya	11 100	*1.14*
Meng à Tibati	4 900	1.12
Vina au Lahore	1 680	1.11
Mbam à Goura	42 300	1.13
Noun à Bafoussam	4 740	1.20
Mape au Pont	4 020	1.18

* Les valeurs en italiques sont approximatives.

Ces différences régionales entre cours d'eau du bassin de la Sanaga se retrouvent aussi au niveau des débits spécifiques de crue. Ceux-ci décroissent lorsque le bassin croît en superficie. La figure 6.16 montre bien que les valeurs trouvées pour le pays bamiléké ainsi que celles de la Tere sont systématiquement inférieures à celles du reste du bassin.

2.3. Étude des modules

Ce chapitre comporte trois volets :

a) une étude statistique des échantillons observés des modules aux principales stations (plus de dix ans de relevés) afin de définir les modules de fréquence rare ;

b) une étude de corrélation entre modules de stations et entre modules et précipitations afin d'essayer d'augmenter les échantillons de faible durée en homogénéisant l'ensemble sur la plus longue période possible. Une révision des modules moyens, de leur variance et de leur intervalle de confiance en découle, par comparaison entre séries observées, séries homogénéisées dans un contexte historique ;

c) une tentative d'explication des variations régionales des modules et de leurs variances dans le bassin de la Sanaga en considérant l'influence du milieu et les déficits d'écoulement.

2.3.1. Étude fréquentielle

2.3.1.1. Choix d'une loi de distribution

Nous effectuons l'étude fréquentielle des modules à partir de l'échantillon observé.

Pour chacune des onze stations retenues les modules ont été classés par ordre décroissant et les fréquences expérimentales au dépassement ont été calculées (1).

La distribution des modules a été étudiée sur plusieurs fonctions de répartition :

- Loi Normale ou Loi de Gauss
- Loi Log-Normale ou Loi de Galton
- Loi Gamma-Incomplète ou Loi de Pearson
- Loi de Goodrich.

Le tableau 6.37a indique, ci-après, les paramètres des différentes lois statistiques adoptées :

Tableau 6.37a. – Loi Normale de Gauss.

Stations	Moyenne m³/s	Ecart-type m³/s	Coefficient de variation
Sanaga à Edéa	2 071	281	0.14
Sanaga à Nachtigal	1 153	147	0.13
Mbam à Goura	762	87.8	0.12
Noun à Bafoussam	110.0	14.95	0.14
Mape à Magba	102.2	14.36	0.14

Stations	Moyenne m³/s	Forme	Echelle	Position m³/s
Loi de PEARSON : GAMMA-Incomplète				
Sanaga à Nanga-Eboko	1 028	3.406	70.430	788
Sanaga à Goyoum	849	0.923	129.507	730
Djerem à Mbakaou	422	1.229	54.696	355
Lom à Betare-Oya	181	6.335	8.912	124
Loi de GOODRICH				
Meng à Tibati	103	0.263	38.095	69
Vina du Sud au Lahore	39	0.145	21.651	19

Bien que la faiblesse des échantillons (moins de vingt ans pour la plupart) incite à être prudent sur le choix des lois ajustées, on peut considérer comme plausible l'hypothèse de normalité pour des cours d'eau très abondants de l'ouest et pour la Sanaga inférieure comme celle d'hypernormalité pour le reste des stations.

Faute d'un test d'ajustement consistant, bien adapté (le test du X^2 ne répondant absolument pas au but recherché), le choix des fonctions de répartition a été fait à partir de deux « tests » relativement simples, basés sur le fait qu'un ajustement sera d'autant meilleur que le nombre d'intersections de la courbe expérimentale (ligne joignant les différents points expérimentaux) et de la loi théorique sera plus grand.

La loi Normale de Gauss a été retenue pour les stations « aval » de la Sanaga : Edéa et Nachtigal, et les stations situées sur les cours d'eau drainant la partie ouest du bassin : Mbam à Goura, Noun à Bafoussam et Mape à Magba.

(1) Ces fréquences sont calculées suivant la formule : $F = \frac{r - 1/2}{N}$ où r est le rang de classement de la valeur dont on détermine la fréquence et N le nombre de valeurs de l'échantillon.

Toutes les stations situées à l'amont de Nachtigal, tant sur la Sanaga que sur ses affluents, tendent à suivre une loi plus ou moins hypergaussique (loi de Pearson : Gamma-Incomplète), exceptés la Vina du Sud et le Meng pour lesquels la loi de Goodrich semble mieux adaptée (nous pourrions, à l'extrême rigueur, adopter pour ces stations la loi Normale, avec tout de même le risque de sous-évaluer les modules de fréquences rares).

Il est intéressant de noter que pour les stations situées sur la Sanaga la tendance hypergaussique tend à s'accentuer de l'aval vers l'amont (cf. figures 6.17 et 6.18).

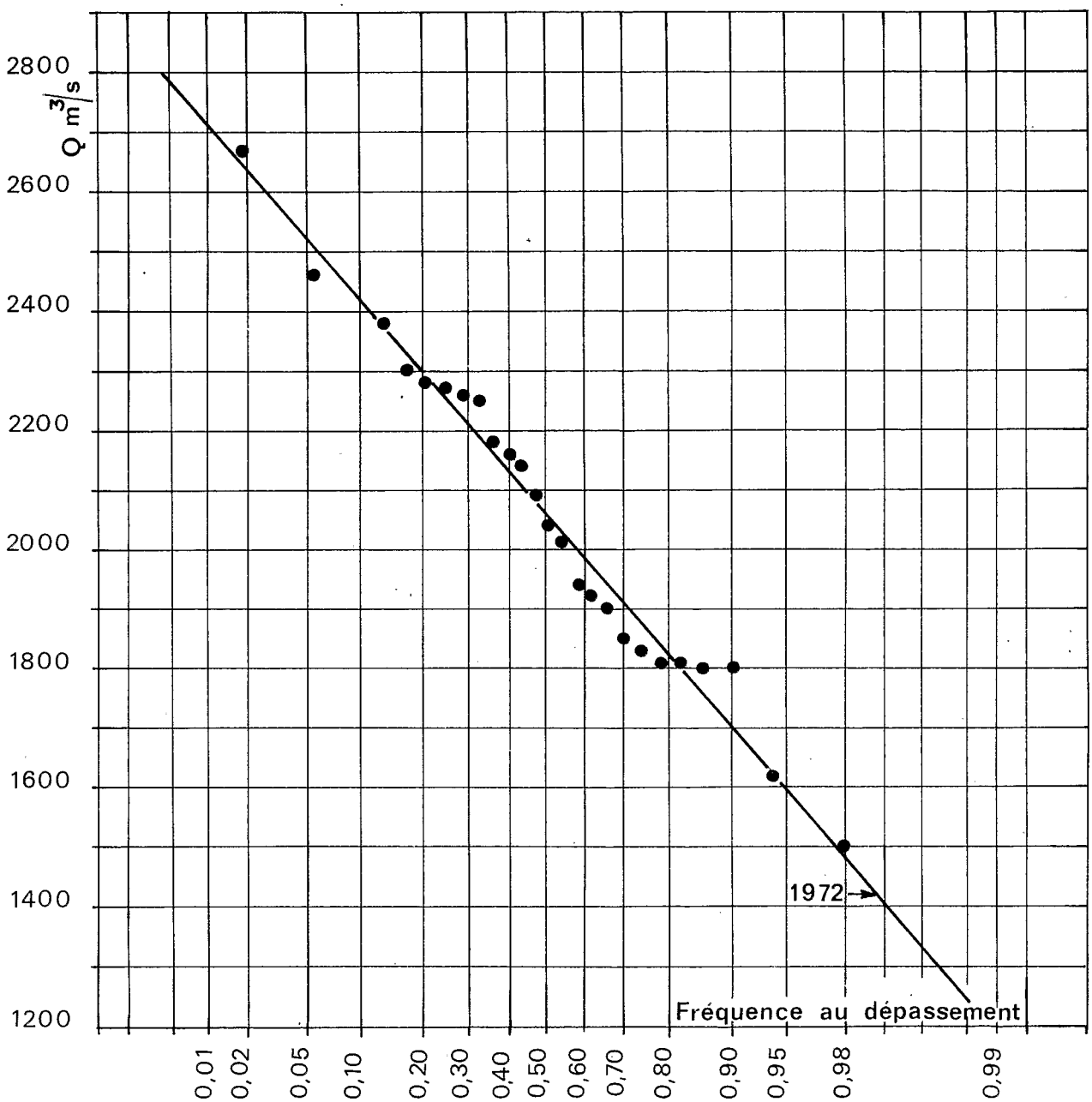
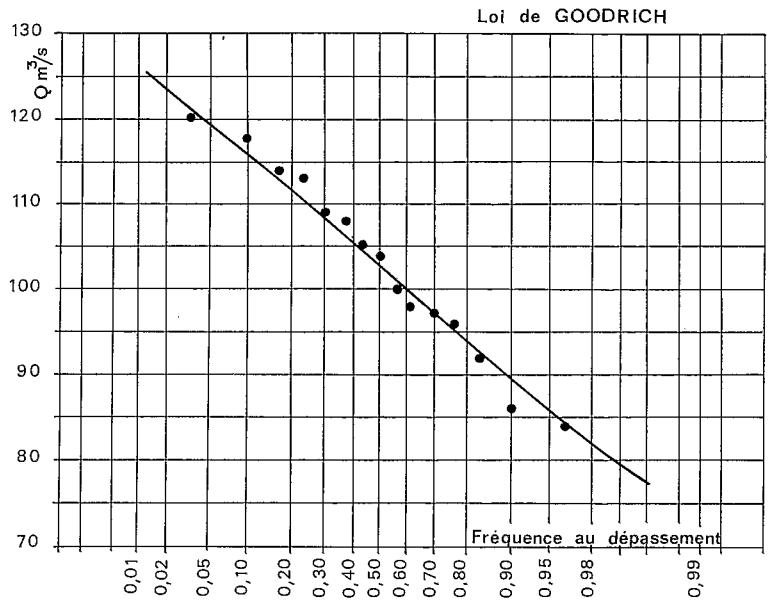


Fig. 6.17. – Distribution statistique des modules de la Sanaga à Edéa (26 années d'observation). Loi de Gauss.

MENG à TIBATI

(15 années d'observation)



SANAGA à NANGA-EBOKO

(21 années d'observation)

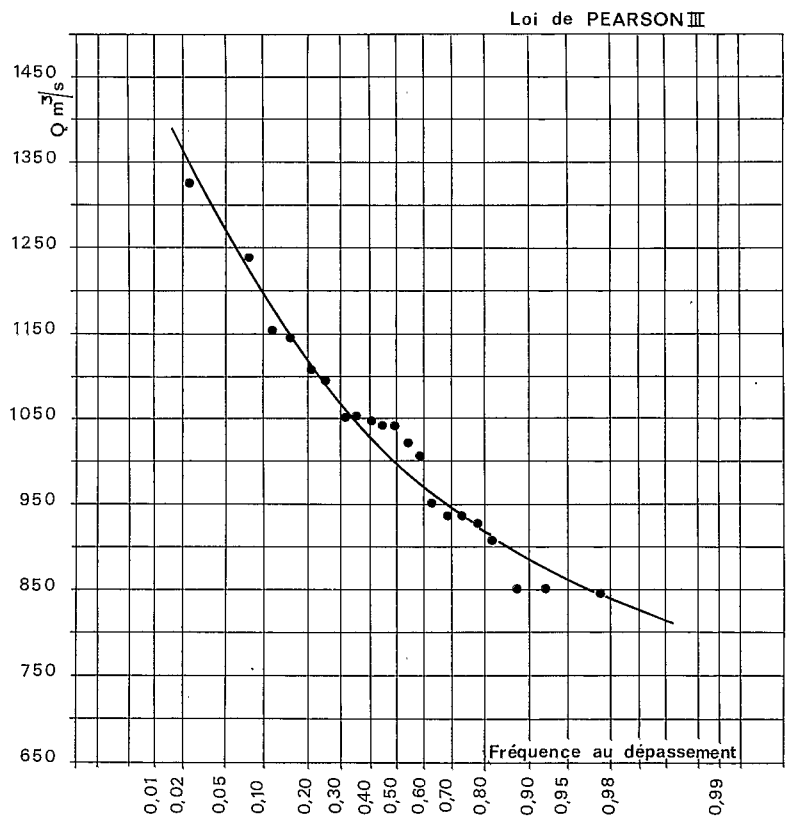


Fig. 6.18. – Distributions statistiques des modules.

Tableau 6.38. – Modules correspondant à des périodes de retour données (m³/s).

Station	Années humides				Années sèches		
	100 ans	20 ans	10 ans	Médiane	10 ans	20 ans	100 ans
Sanaga à Edéa	2 725	2 535	2 430	2 070	1 710	1 610	1 420
Nachtigal	1 495	1 395	1 340	1 155	965	910	810
Nanga-Eboko	1 430	1 275	1 205	1 005	885	860	830
Goyoum	1 305	1 100	1 010	810	740	735	730
Djerem à Mbakaou	635	540	500	405	365	360	356
Lom à Betare-Oya	246	222	211	178	155	150	142
Meng à Tibati	126	119	116	103	90	86	80
Vina au Lahore	46	44	43	39.5	34.5	33	30
Mbam à Goura	965	905	875	762	650	617	558
Noun à Bafoussam	145	135	129	110	91	85	75
Mape à Magba	136	126	121	102	84	79	69

2.3.1.2. Modules de fréquences rares

Le tableau 6.38 donne les valeurs des modules médians ainsi que celles des modules correspondant à des périodes de retour données : 10 ans, 20 ans, 100 ans, tant pour les années sèches que pour les années humides, en fonction de la loi de distribution retenue. Nous précisons, toutefois, qu'étant donné la faiblesse de l'échantillon de données, les valeurs correspondant aux fréquences centennales ne sont données qu'à titre indicatif.

Hormis le cas d'une distribution normale ou gaussique pour laquelle le module interannuel coïncide avec le module médian, la comparaison de ces deux valeurs peut amener une analyse intéressante de la représentativité de l'échantillon observé. La détermination de ces deux valeurs dépend de la somme des observations, mais il paraît logique d'accorder au module médian une crédibilité plus grande qu'au module moyen.

Modules médians et moyens sont généralement très voisins. Une exception cependant, pour les stations de Goyoum (9 ans) et de Mbakaou (11 ans). L'hydraulicité de la décennie des années 60 a été souvent plus forte sur certaines régions de la Sanaga. La distribution de Pearson corrige d'elle-même le poids excessif donné au module moyen par l'échantillon observé.

	Module moyen	Module médian
Sanaga à Goyoum	849 m³/s	810 m³/s
Djerem à Mbakaou	422 m³/s	405 m³/s

On remarquera sur la figure 6.17 la position occupée par le module d'une année sèche récente à Edéa :

1 450 m³/s en 1972-1973

Ce module présenterait, d'après la loi Normale tirée de l'échantillon de 26 ans ne le contenant pas, une récurrence approximative de 75 ans qui est plausible.

Pour les diverses stations, on a calculé les débits spécifiques correspondant aux valeurs moyennes et de récurrence décennale des modules. Le tableau suivant récapitule les débits en l/s.km² :

Tableau 6.39.

Station	Surface de bassin (km²)	Année décennale humide	Moyenne	Année décennale sèche
Edéa	131 500	18.5	15.8	13.0
Nachtigal	76 000	17.6	15.1	12.7
Nanga-Eboko	65 100	18.5	15.8	13.6
Goyoum	50 500	20.0	16.8	14.7
Mbakaou	20 200	24.9	20.9	18.1
Betare-Oya	11 100	19.0	16.3	14.0
Tibati	4 900	23.7	21.0	18.4
Lahore	1 680	25.7	23.2	20.5
Goura	42 300	20.7	18.0	15.3
Bafoussam	4 740	27.2	23.2	19.2
Magba	4 020	30.1	25.3	20.9

Le problème de l'irrégularité interannuelle du régime hydrologique et celui de l'acuité de la sécheresse des années 1972 et 1973 seront examinés après l'essai d'homogénéisation des modules observés sur une même période longue.

2.3.2. Recherche de corrélations

La recherche de corrélations est utile pour procéder à « l'homogénéisation » des données hydrologiques issues de plusieurs stations hydrométriques, afin d'éviter d'avoir à comparer des valeurs moyennes obtenues à partir de durées d'observations hétérogènes.

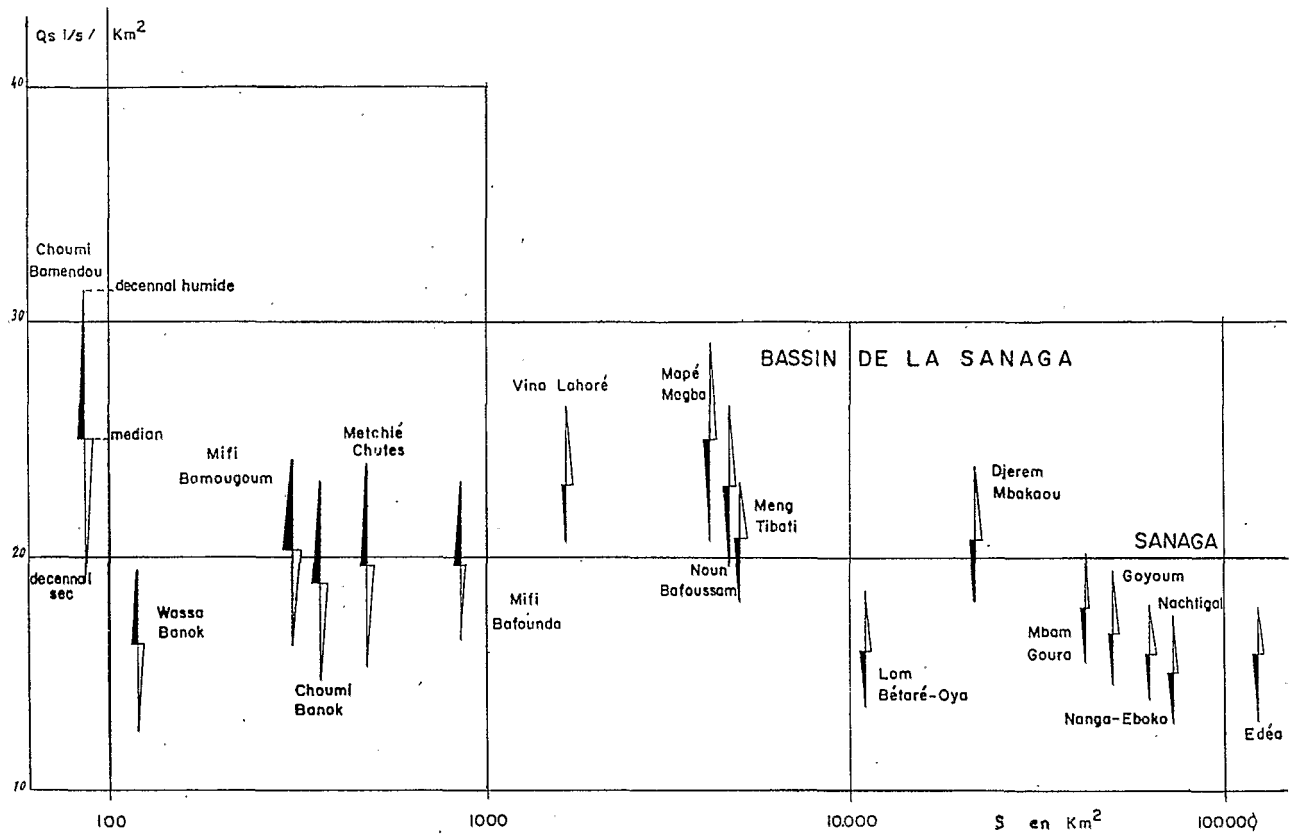


Fig. 6.19. – Modules spécifiques et superficie des bassins.

La méthode d'« homogénéisation » permet d'améliorer la connaissance sur les modules d'une station. On obtient un gain d'information d'autant plus intéressant, en %, que la période d'observation d'une station est courte vis-à-vis de celle de la station de référence de longue durée. *Mais l'homogénéisation des données hydrométriques ne peut être utile que si les corrélations sont suffisamment étroites.*

Nous étudierons successivement les corrélations entre les modules et la pluviométrie moyenne des différents bassins puis les corrélations entre les modules des différentes stations et celui d'une station de référence qui sera Edéa. Enfin, nous évoquerons les corrélations entre modules de stations voisines.

Afin de faciliter les comparaisons entre bassins, nous avons substitué aux modules, la valeur des lames d'eau écoulées annuellement, exprimées en millimètres. Rappelons que la lame d'eau écoulée annuellement est obtenue par l'expression suivante :

$$He_{mm} = \frac{Q \times 31{,}6.10^3}{S}$$

Q : module en m^3/s et S : superficie du bassin en km^2.

Précisons encore qu'un nombre minimal d'années d'observations communes est requis pour l'établissement de corrélations. Ceci limite nos recherches à *onze stations principales* du bassin de la Sanaga.

2.3.2.1. Corrélations pluies-lames d'eau écoulées

La recherche de telles corrélations est généralement intéressante car la mesure des précipitations est souvent effectuée en Afrique depuis de longues années. Mais ces corrélations ne sont possibles que pour des bassins versants de taille importante pour lesquels le réseau pluviométrique du pays permet une approche valable des hauteurs pluviométriques moyennes.

Le calcul des hauteurs pluviométriques moyennes des différents bassins a été fait par la méthode de Thiessen qui affecte aux résultats de chaque poste pluviométrique un coefficient de pondération proportionnel à son aire d'influence.

On admet généralement que les lames d'eau écoulées sont liées aux précipitations annuelles par une fonction de la forme :

$$He = a\,p^n \text{ avec } n \geqslant 1.$$

Pour la Sanaga, les régimes pluviométriques montrent une faible irrégularité interannuelle et des précipitations relativement abondantes. Dans ce cas l'erreur apportée, en assimilant une portion de parabole à une droite, est négligeable et le choix d'une relation linéaire simplifie beaucoup les calculs des corrélations (n = 1).

Nous avons porté dans le tableau 6.40, ci-après, les coefficients de corrélation ainsi que les équations des droites de régression donnant les lames écoulées à partir de la pluviométrie moyenne pour les onze stations retenues.

Les équations ne sont données que si le coefficient de corrélation est significatif au seuil de 5 % (test de Student ou de Fisher), c'est-à-dire pour cinq stations sur onze seulement.

Tableau 6.40. – Corrélation entre la hauteur moyenne de précipitation annuelle et la lame d'eau annuelle écoulée (millimètres).

Station	Nombre années	Coefficient de corrélation r :	Equation de régression
Sanaga à Edéa	20	0.59	$He = 0.131\ P_c + 256$
Sanaga à Nachtigal	19	0.35	
Sanaga à Nanga-Eboko	21	0.41	$He = 0.296\ P_H + 24$
Sanaga à Goyoum	9	0.49	
Djerem à Mbakaou	11	0.25	
Lom à Betare-Oya	19	0.32	
Meng à Tibati	15	0.67	$He = 0.305\ P_H + 150$
Vina au Lahore	10	- 0.40	
Mbam à Goura	19	0.64	$He = 0.376\ P_H - 91$
Mape à Magba	17	0.39	
Noun à Bafoussam	19	0.46	$He = 0.186\ P_H + 374$

P_c : hauteur pluviométrique annuelle (année calendaire comptée du 1er janvier au 31 décembre).
P_H : hauteur pluviométrique annuelle (année hydrologique comptée du 1er avril au 31 mars de l'année suivante).

Un simple examen des coefficients de corrélation obtenus montre que, pour l'ensemble des stations du bassin de la Sanaga, il n'y a pas de corrélation étroite entre les lames écoulées et la pluviosité. A une exception près, les coefficients sont positifs. Cela indique qu'il y a une certaine dépendance entre la lame écoulée et la hauteur annuelle des précipitations, ce dont personne ne saurait douter, mais les *coefficients sont trop faibles pour que l'on puisse tenter une quelconque homogénéisation des lames écoulées.*

Un aspect aussi négatif de nos recherches pourrait être inquiétant ; il est difficile d'imputer la dispersion des points expérimentaux à des erreurs sur la détermination des débits (à quelques exceptions près, les relevés limnimétriques et les tarages des stations sont satisfaisants), comme cela a été dit pour le Nyong.

En fait, il faut sans doute incriminer la répartition des pluies au cours de l'année, de fortes précipitations en début de saison ne provoqueront pas la même lame écoulée que les mêmes précipitations tombées en septembre-octobre, sans oublier également la faiblesse du réseau des postes pluviométriques, particulièrement au centre du bassin.

L'hétérogénéité de la répartition des averses en cours d'année est d'autant plus forte que la superficie des bassins est importante. Ainsi, à Edéa, pour un mois de début de saison des pluies, la lame écoulée sera plus forte pour des précipitations même très localisées sur la partie aval du bassin, qui n'auront qu'un poids négligeable dans le calcul de la pluviosité moyenne, que pour des précipitations généralisées sur la partie amont du bassin, consommées essentiellement par évaporation et d'un poids important dans la pluviosité moyenne. Il est probable que les disparités des « anomalies » de la répartition des pluies en cours d'année ont à l'échelle d'un grand bassin un effet cumulatif plutôt que compensateur. Ce qui expliquerait que les corrélations y soient moins bonnes.

S'il est incontestable que la période d'étiage se situe, généralement, en mars-avril, ce qui justifie le choix d'une année hydrologique allant du 1er avril au 31 mars, il n'en est pas moins vrai que le minimum pluviométrique mensuel est, dans la plupart des cas, observé en décembre-janvier. Or, comme nous l'avons déjà fait observer les averses de début de saison des pluies ont un comportement hydrologique sensiblement différent de celles tombées au milieu ou en fin de saison. Ce qui explique que nous ayons, pour la station d'Edéa, où les averses observées de janvier à mars ne sont pas négligeables, corrélé les lames écoulées, calculées sur l'année hydrologique et les hauteurs pluviométriques annuelles calculées sur l'année civile. De ce fait le coefficient de corrélation passe de 0,14 à 0,59.

Pour les stations du Djerem à Mbakaou (r = 0,25) et de la Vina au Lahore (r = — 0,40), la corrélation est très faible ou négative. Ces deux stations présentent un point commun, le « poids » important donné aux précipitations de Ngaoundere dans le calcul de la lame pluviométrique annuelle (32 % pour le Djerem, 96 % pour la Vina). Sans mettre en cause la qualité des observations effectuées à Ngaoundere, la situation de cette station sur le plateau de l'Adamaoua montre qu'elle n'est probablement pas représentative des précipitations reçues par le bassin de la Vina (les relevés d'une station pluviométrique située dans la vallée montreraient sans doute une très faible corrélation avec ceux de Ngaoundere). Précisons également que certains relevés limnimétriques effectués sur la Vina sont tout à fait douteux.

C'est probablement la faible interdépendance des précipitations mesurées aux stations de l'ouest qui explique les faibles coefficients de corrélation déterminés pour la Mape à Magba et le Noun à Bafoussam, d'autant plus que les périodes d'observation des différents postes pluviométriques ne sont pas homogènes.

Enfin pour le Lom à Betare-Oya, la faiblesse des précipitations y rend l'écoulement encore plus dépendant de la répartition mensuelle de celles-ci.

Des relations hydropluviométriques à l'échelle du mois auraient sans doute amélioré la qualité des corrélations annuelles pour les petits bassins, mais auraient introduit une telle complexité d'analyse qu'elles n'étaient pas envisageables pour les grands bassins.

Mais en définitive, il n'y a pas lieu de regretter outre mesure le côté médiocre de ces corrélations, car avant le début des observations à Edéa la densité des postes pluviométriques était faible, la qualité des observations médiocre, de sorte que même avec des coefficients de corrélation voisins de 1 il n'aurait pas été possible de remonter dans le temps au-delà de 1945.

2.3.2.2. Corrélation entre les lames d'eau écoulées aux différentes stations et celles d'Edéa

Ramener la période de référence des lames d'eau de toutes les stations aux 26 années d'observation d'Edéa ne représentera un gain sensible d'information que dans la mesure où les corrélations seront très bonnes ($r > 0{,}90$).

En reconstituant les modules à partir d'une droite de corrélation on atténue artificiellement la variance de l'échantillon, et ce, avec d'autant plus d'importance que la corrélation est moins étroite. Aussi n'est-il pas question d'étudier la distribution statistique d'échantillon de 26 valeurs, en partie reconstituées, qui n'amènerait pas une meilleure analyse de la fonction de répartition que l'étude de l'échantillon naturel de 18 ou 20 ans. Mais une telle corrélation peut améliorer la connaissance du module moyen et de sa variance.

Ceci dit, on peut s'attendre à ce que les corrélations soient bonnes lorsque le rapport des superficies des bassins sera proche de 1 et de moins en moins bonnes lorsque les superficies des bassins seront de plus en plus dissemblables. De plus, bien que l'ensemble du bassin de la Sanaga soit situé dans la zone à climat tropical de transition, les régimes hydrologiques des petits bassins présentent des différences notables, du nord au sud et de l'est à l'ouest.

Enfin, la pluviosité d'une année, et par suite l'hydraulicité, peut être forte dans une partie seulement du bassin de la Sanaga sans que cela se traduise obligatoirement au niveau d'Edéa.

Le tableau 6.41 réunit les différentes valeurs établies pour les 10 stations principales. Tous les coefficients de régression sont significatifs sauf celui du Lom, au seuil de 5 %.

Les équations des droites d'estimation des lames d'eau des différentes stations à partir de celles d'Edéa ont été portées également dans le tableau 6.41.

Les coefficients de corrélation calculés montrent dans l'ensemble la hiérarchie de qualité (fonction du rapport des superficies des bassins versants) que nous pressentions. Les plus fortes valeurs obtenues pour Goyoum et Mbakaou portent sur 9 et 11 années d'observation, pendant lesquelles on peut supposer une meilleure corrélation générale sur la branche majeure de la Sanaga.

Tableau 6.41. – Corrélations entre lames écoulées annuelles à partir de la station d'Edéa.

Station	Nombre années	Coefficient de corrélation r :	Equation de régression (mm)
Sanaga à Edéa			
Sanaga à Nachtigal	19	0.88	$H_N = 0.89\ H_E + 23$
Mbam à Goura	19	0.87	$H_G = 0.94\ H_E + 90$
Sanaga à Nanga-Eboko	21	0.84	$H_{NG} = 0.87\ H_E + 52$
Sanaga à Goyoum	9	0.91	$H_{GO} = 1.02\ H_E + 13$
Djerem à Mbakaou	11	0.90	$H_{MB} = 1.34\ H_E - 20$
Lom à Betare-Oya	19	0.34 (1)	
Meng à Tibati	15	0.56	$H_M = 0.73\ H_E + 294$
Vina au Lahore	17	0.61	$H_V = 0.64\ H_E + 400$
Noun à Bafoussam	18	0.79	$H_N = 1.35\ H_E + 33$
Mape à Magba	17	0.58	$H_{MA} = 1.05\ H_E + 271$

(1) $r = 0{,}76$ en incluant 1972 dans l'échantillon.

Pour le Meng à Tibati et la Mape à Magba, il n'est pas exclu que la détermination des modules soit entachée d'erreurs, l'étalonnage de ces stations montrant une certaine dispersion des jaugeages.

On aurait pu, pour le Lom également, tenter d'incriminer la qualité des relevés hydrométriques. Il semble bien qu'il n'en soit rien. En effet un test peut être effectué en comparant les modules du Lom à ceux du bassin de la Sanaga compris entre Goyoum et Mbakaou, c'est-à-dire incluant le bassin du Lom. La corrélation sur 9 années communes est bonne ($r = 0{,}90$).

Le problème du Lom est facile à éclaircir. Le bassin de ce cours d'eau est moins arrosé que le reste du bassin de la Sanaga (1 680 mm en moyenne contre 1 700 à 1 900 mm dans le bassin du Mbam par exemple) ; il est en outre à l'extrémité orientale et de ce fait assez éloigné des autres, ce qui ne favorise pas une variation concomitante des pluviosités annuelles. On constate en effet qu'une telle concomitance ne se manifeste nettement que lors d'années exceptionnelles au cours desquelles la situation météorologique intéresse une très vaste région. Ainsi en est-il lors des années pluvieuses 1954-1955 et 1969. Si l'on adjoignait à l'échantillon l'année sèche récente de 1972, on retrouverait une même concomitance et la corrélation s'en trouverait améliorée. Le coefficient de corrélation passerait à 0,76 devenant alors significatif et comparable aux autres.

On verra dans un prochain paragraphe (2.3.3) ce qu'il y a lieu de déduire des corrélations significatives quant à la connaissance des modules moyens.

2.3.2.3. Corrélations entre lames d'eau écoulées de stations voisines

a) Mbam à Goura-Mbam à Mantoum : Déterminé sur 5 années communes, le coefficient de corrélation est de 0,88. Il est tout juste significatif au seuil de 5 % ; on peut donc seulement parler d'une tendance. L'équation de la droite de régression est : He Mantoum = 1,26 He Goura + 16 (en millimètres).
b) Meng-Maouor : Calculé sur 7 années communes, le coefficient de régression de 0,95 est nettement significatif. La corrélation est bonne. L'équation de la droite de régression s'écrit He Maouor = 0,91 He Meng + 49 (en millimètres).
c) Noun à Bafoussam-Bamendjing : Calculé sur 5 années, le coefficient de corrélation est de 0,97 ; la corrélation est bonne. L'équation de la droite de régression s'écrit He Bamendjing = 1,285 He Bafoussam — 249 (en millimètres).

Ces trois exemples choisis montrent que les corrélations sont excellentes pour des bassins de taille modeste dans le rapport de 1 à 2 (Meng 4 900 km² – Maouor 2 250 km² – Noun à Bafoussam 4 700 km² – Bamendjing 2 120 km²), mais moins bonnes pour des bassins plus dissemblables (Goura 43 000 km² – Mantoum 14 700 km²).

D'autres corrélations ont été calculées dans le cadre d'études particulières (Mifi, Metchié, Noun...) mais notre propos n'est pas de faire une énumération de toutes les corrélations possibles ou établies.

2.3.3. Signification des modules moyens

Les bonnes corrélations interstations mises en évidence aux paragraphes 2.3.2.2 et 2.3.2.3 pourraient servir à l'extension des échantillons courts de certaines stations et permettre de préciser la valeur moyenne de leur module et de réduire l'intervalle de confiance sur cette moyenne.

L'opération d'extension semble à priori intéressante pour les stations très courtes de Goyoum (9 ans) et Mbakaou (11 ans) qui ont les meilleurs coefficients de corrélation avec Edéa ($r \geqslant 0{,}90$).

Pour les autres stations, le gain de l'extension sera plus modeste.

Pour toutes les stations, l'extension devrait conduire à des résultats de même nature, c'est-à-dire à diminuer le module moyen et peut-être à augmenter sa variance. En effet la période uniquement observée à Edéa, comprise en 1945 et 1951, contient une série d'années déficitaires et aucune année excédentaire. Le tableau suivant donne une idée de l'effet de cette extension (effet théorique puisque les modules à Goyoum et Mbakaou suivant une loi Gamma incomplète, on ne peut pas en toute rigueur calculer de valeurs basées sur l'extension) :

Station	Valeurs observées		Valeurs après extension	
	Module	Écart-type	Module	Écart-type
Goyoum	849	124	837	124
Mbakaou	422	60,6	418	61,9
Goura	762	87,8	748	90,8

On voit que l'homogénéisation sur Edéa conduirait à une modification négligeable des paramètres : réduction de 1 à 2 % du module, augmentation de 1 à 2 % de l'écart-type. Comme l'homogénéisation est inefficace pour plusieurs stations à faible corrélation avec Edéa ($r = 0{,}80$), il ne paraît pas souhaitable de l'effectuer systématiquement pour une partie seulement des stations puisque l'incidence sur module et écart-type est négligeable, en termes de précision.

D'autre part, l'extension des séries du Maouor à partir de celle du Meng à Tibati, et de Bamendjing à partir de celle de Bafoussam pourrait également être statistiquement fructueuse ($r = 0{,}95$). On constate qu'une telle extension reviendrait à augmenter le module moyen de 0 à 3 % et la variance de plus de 10 %.

Station	Valeurs observées		Valeurs après extension	
	Module	Écart-type	Module	Écart-type
Maouor	45,1	4,96	46,8	5,28
Bamendjing	50,4	2,29	49,7	2,87

Si l'on a présent à l'esprit que, sur leurs périodes observées, Tibati et Bafoussam présentent des modules excédentaires de 1 à 2 % vis-à-vis de celui d'Édéa sur 26 ans, on peut conclure que les modules moyens observés sur le Maouor et à Bamendjing (malgré la faible durée) sont bien proches de ceux correspondant à 26 ans de relevés. Par contre les valeurs observées des écarts-types sont beaucoup trop faibles et les valeurs « étendues », biaisées par les régressions, ne donnent qu'une idée de leurs vraies valeurs.

En conclusion, l'homogénéisation générale sur Édéa 26 ans n'est ni possible, ni utile. Les modules moyens observés rendent bien compte des valeurs probables sur 26 ans, les écarts-types aussi, sauf pour le Maouor et le Noun à Bamendjing.

A titre d'information, il est intéressant de noter ce que deviennent les paramètres de la station de référence d'Édéa lorsque l'on porte la période à 29 ans en y incluant les 3 années récentes postérieures à 1969-1970 à la sécheresse marquée.

Le module moyen descend de 2 070 à 2 036 m³/s, soit une réduction de 1,5 % ; l'écart-type est augmenté d'environ 1 %. On peut donc penser que la période retenue dans cette monographie, bien que n'incluant pas les années sèches récentes, rend assez bien compte des valeurs moyennes de l'abondance de l'écoulement.

Dans quels intervalles de confiance s'inscrivent les modules moyens observés dans le bassin de la Sanaga ?

Nous nous répèterons en disant que plus la période d'observation sera longue, plus la moyenne des modules sera connue avec une bonne précision. Pour une période d'observation pratiquement infinie, dans notre cas portant sur plusieurs siècles, on aboutirait à la détermination d'une « moyenne vraie » des modules, pour autant bien entendu, qu'il n'y ait pas eu de variations climatiques majeures au cours de cette période.

Le calcul des « intervalles de confiance » permet de définir à partir de notre échantillon, dans quelles limites la « moyenne vraie » des modules a x chances sur 100 de se situer. Un calcul classique permet de déteminer l'erreur-type d'échantillonnage, dans le cas où l'échantillon des modules suit une loi normale, c'est-à-dire pour cinq stations seulement.

En prenant des intervalles à 80 et 90 %, on obtient les résultats suivants pour Edéa sur 26 ans :

$2\,072 \pm 94$ m³/s soit $\pm$ 4.5 % (IC 80)
$2\,072 \pm 113$ m³/s soit $\pm$ 5.5 % (IC 90)

La différence entre 80 et 90 % serait du même ordre sur les autres stations. Contentons-nous de calculer l'intervalle à 80 %. En voici les résultats à partir des séries observées suivant des lois normales :

Nachtigal	$1\,153 \pm 58$	m³/s soit $\pm$ 5	% (IC 80)
Goura	762 ± 35	m³/s soit $\pm$ 4.6	% (IC 80)
Bafoussam	110 ± 6.1	m³/s soit $\pm$ 5.5	% (IC 80)
Magba	102 ± 6.1	m³/s soit $\pm$ 6	% (IC 80)

Si l'on avait tenu compte des corrélations d'extension, les séries étendues auraient été assimilables à des séries fictives de durée plus longue, donc N croissant l'intervalle de confiance aurait diminué. En prenant l'exemple de Goura, on peut calculer que la durée de la série passerait de 19 à 22 ans, grâce à la corrélation avec Edéa (r = 0,87), c'est-à-dire que le gain serait de 3 ans sur 7 (26 — 19) ans.

L'intervalle précédant à 80 % deviendrait alors :

$$762 \pm 33 \text{ m}^3/\text{s}$$

ce qui correspond à un gain insignifiant, justifiant à posteriori le peu d'intérêt de l'extension dans ce cas.

Comme on l'a vu, l'extension serait intéressante, surtout pour Goyoum et Mbakaou. Malheureusement les modules en ces stations suivent des lois de Pearson III et le calcul des intervalles de confiance en est malaisé sinon impossible correctement.

En supposant que ces séries suivent des lois normales, on peut se faire une idée du gain de l'extension quant à la précision sur le module moyen.

L'exemple de Goyoum donne :

série observée de 9 ans : 849 ± 77 m³/s soit ± 9 % (IC 90)

série étendue à 19 ans : 837 ± 49 m³/s soit $\pm$ 5.9 % (IC 90).

L'amplitude de l'intervalle de confiance à 90 % serait réduite de 150 à 100 m³/s environ et la précision améliorée de 3 %, passant de 9 à 6 %. Bien que non rigoureux, cet exemple montre la tendance du gain fourni par l'extension avec Edéa.

2.3.4. Irrégularité interannuelle et hydraulicité

On a présenté en 2.3.1. l'analyse statistique des séries des modules observés. On y trouve dans le texte et les tableaux 6.38,39 les moyennes, les médianes et les valeurs décennales de ces modules (en m³/s et en l/s.km²).

Le paragraphe 2.3.2. a montré que les valeurs précédentes tirées des séries observées pouvaient être considérées, à 2 % près, comme équivalentes aux valeurs homogénéisées sur 26 ans de relevés à Edéa (1945-1970).

On peut donc revoir l'irrégularité interannuelle d'après les résultats de l'analyse statistique des données observées.

2.3.4.1. Irrégularité interannuelle

Le tableau 6.42 récapitule diverses valeurs remarquables des séries de modules : moyennes et écarts-types en m³/s et en mm de lame d'eau, coefficients de variation – rapport de l'écart type à la moyenne, et coefficient K_3 rapport des modules décennaux.

Les coefficients de variation et les rapports K_3 caractérisent l'irrégularité interannuelle. Ils sont très faibles et peu variables d'une station à l'autre, ce qui est normal en régime tropical de transition africain.

Seules les stations du Meng àTibati et de la Vina au Lahore montre des coefficients un peu plus faibles : 0,10 contre 0,12–0,13 d'une part et moins de 1,30 contre 1,35–1,40 d'autre part. On ne peut d'ailleurs rien en déduire car les échantillons observés étant de courte durée la dispersion d'échantillonnage est telle que les écarts de ces coefficients ne sont peut-être pas significatifs.

2.3.4.2. Variations de l'hydraulicité de la Sanaga à Edéa

L'examen de la série chronologique des modules de la Sanaga permet de mettre en évidence que :

1. de 1940 à 1945, la Sanaga a montré une faible hydraulicité ;
2. on note de 1945 à 1957 une hydraulicité croissante qui se stabilise à un haut niveau (1950-1957). Cette période correspond à un cycle hydrologique humide que l'on retrouve dans toute l'Afrique tropicale boréale ;
3. de 1957 à 1967, l'hydraulicité décroît mais reste à un niveau moyen ;
4. vers 1967, on observe une pointe d'hydraulicité ;

Tableau 6.42. – Étude des modules – valeurs des principaux paramètres étudiés.

Station	Années observées	Surface bassin km^2	Module moyen m^3/s	Ecart-type m^3/s	Coef. de variation	K_3	Lame d'eau moyenne mm	Ecart-type mm
Sanaga à Edéa	26	131 500	2 072	281	0.136	1.42	497	67.4
Sanaga à Nachtigal	19	76 000	1 150	147	0.128	1.39	478	61.0
Sanaga à Nanga-Eboko	21	65 100	1 028	125	0.121	1.36	498	60.6
Sanaga à Goyoum	9	50 500	849	124	0.147	1.36	530	77.4
Djerem à Mbakaou	11	20 200	422	60.6	0.144	1.37	659	94.6
Lom à Betaré-Oya	19	11 100	181	23.7	0.131	1.36	514	67.3
Meng à Tibati	15	4 900	103	10.8	0.105	1.29	663	69.5
Vina-Sud au Lahore	17	1 680	39.0	3.58	0.092	1.25	732	67.7
Mbam à Goura	19	42 300	762	87.8	0.115	1.35	568	65.5
Noun à Bafoussam	18	4 740	110	14.95	0.136	1.42	732	99.5
Mape à Magba	17	4 020	102	14.4	0.141	1.44	800	113

5. depuis 1969, l'hydraulicité est à nouveau décroissante vers un minimum en 1972 ou 1973 suivant les cours d'eau, minimum qui est souvent inférieur à celui de 1945, et qui, tout au moins sur le Niger, le Sénégal et le Chari, est voisin de celui de 1913 ou 1914. Malheureusement à cette époque, la Sanaga n'était pas observée et l'expérience de 1972-1973 montre qu'un fort déficit sur ce fleuve n'étant préjudiciable qu'à la production d'énergie électrique, ne pouvait pas à cette époque frapper l'esprit des riverains.

Une étude sur la sécheresse des années 1972 et 1973 au Cameroun (Olivry – 1974e) montre que la pluviosité annuelle a été en déficit de 10 à 25 % par rapport à la normale dans le bassin de la Sanaga, le déficit le plus accentué correspondant à l'ouest du bassin (bassin du Mbam).

Quant aux modules dans le bassin de la Sanaga, ils ont été pour ces deux années beaucoup plus faibles généralement que le plus faible module de la période observée. En voici quelques exemples (débits en m^3/s) (tableau 6.42a).

Tableau 6.42a

Station	Module minimum observé avant la sécheresse récente	Module 1972-73	Module 1973-74
Noun à Bafoussam	82.9	84	80
Mbam à Goura	557	519	513
Lom à Betare-Oya	142	121	133
Vina au Lahore	31.0	26.7	25.0
Sanaga à Edéa	1 510	*1 450*	

En dehors du Noun point trop atteint, les autres bassins accusent la sécheresse. Les récurrences que l'on pourrait calculer d'après les lois de distribution ajustées seraient souvent irréalistes et sans signification pratique si ce n'est, rappelons-le, de marquer du sceau exceptionnel la sécheresse récente. On peut parler d'un phénomène d'ordre centennal sans préciser.

2.3.5. Comparaison des lames d'eau moyennes écoulées aux différentes stations de la Sanaga

Les lames d'eau écoulées interannuelles des différentes stations ont été portées dans le tableau 6.43.

En outre, nous avons calculé pour quelques confluents de branches majeures du réseau hydrographique la lame d'eau moyenne écoulée :

- confluent Sanaga – Mbam 121 900 km^2 He = 510 mm
- confluent Mape – Mbam 13 900 km^2 He = 767 mm
- confluent Meng – Maouor 7 300 km^2 He = 653 mm
- confluent Djerem – Meng 20 100 km^2 He = 607 mm

(Dans ce dernier cas, on notera que la lame d'eau écoulée est de 7,6 % inférieure à celle calculée pour le Djerem à Mbakaou dont la superficie du bassin a 20 200 km^2.)

Il est bon de rappeler ici que les modules moyens ne sont connus qu'à 5 ou 6 % dans un intervalle de confiance à 80 % afin de ramener à de justes proportions la recherche d'explications aux différences entre stations.

2.3.5.1. Influence de la superficie du bassin

L'examen de ces valeurs montre à première vue une hiérarchie liée à la superficie des bassins versants. Les pertes par évaporation sont plus fortes pour des grands bassins et, à pluviosité égale, les petits bassins dont les eaux parviennent rapidement à l'exutoire auront des lames d'eau écoulées plus élevées, mais les facteurs hauteurs de précipitations annuelles et pente interviennent également et parfois dans le même sens ; nous avons porté sur un graphique à abscisses logarithmiques les lames d'eau interannuelles en fonction des superficies des bassins versants (figure 6.20).

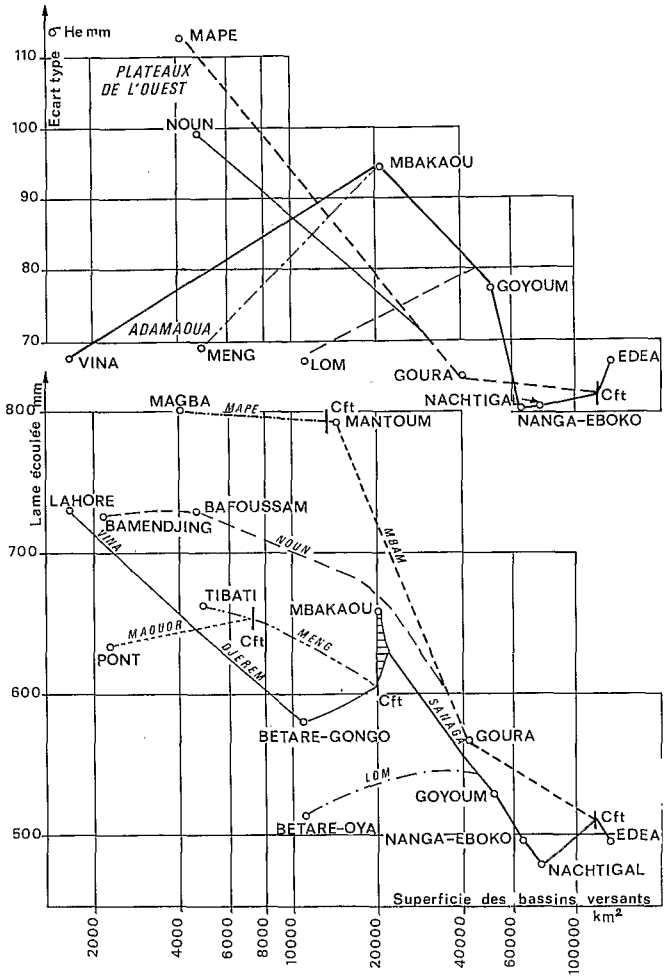


Fig. 6.20. – Variation de la lame écoulée et de son écart-type en fonction de la superficie du bassin versant.

Pour les grands bassins, les variations de hauteur des lames écoulées semblent bien s'expliquer par celles des superficies des bassins versants. Par contre, pour des bassins inférieurs à 20 000 km², pour une région donnée, nous ne trouvons pas de variations très significatives. Les conditions climatologiques, orographiques et géo-pédologiques semblent jouer un rôle important, mais difficile à préciser quantitativement.

On voit simplement que le Lom est un bassin nettement déficitaire vis-à-vis de tous les autres bassins de la Sanaga dont la branche Mbam est un peu plus abondante que la propre branche Sanaga.

Sur la même figure (6.20), les variations de l'écart-type des lames écoulées paraissent également liées à la superficie du bassin. Pour les petits bassins, l'influence régionale est davantage mise en évidence. Ainsi, les rivières des plateaux de l'ouest auraient des écarts-types plus forts que ceux des rivières de l'Adamaoua, ce qui se traduit par des coefficients de variation plus grands dans l'ouest. Il ne faut cependant pas perdre de vue non plus la dispersion propre aux écarts-types moyens observés. Leur intervalle de confiance à 80 %, calculé d'après une loi de X^2 est de l'ordre de 15 à 20 mm ; des différences inférieures ont peu de chances d'être significatives.

2.3.5.2. Influence de la forme du bassin et de sa pente

Parmi les paramètres de forme des bassins versants, nous avons retenu la longueur du rectangle équivalent Lr_e (cf. tableau 6.1) qui traduit bien, à notre sens, la durée nécessaire pour amener une lame d'eau à son exutoire.

Les variations de lame calculées aux différentes stations ont été portées en fonction de Lr_e, exprimée en kilomètres, sur une figure à abscisses logarithmiques (figure 6.21).

Hormis pour les stations de Betare-Oya (précipitations moins abondantes), de Mbakaou et de Magba, les valeurs des stations principales s'ordonnent relativement bien autour d'une courbe moyenne.

Pour les petits bassins, dont la période d'observation est souvent très courte, la longueur du rectangle équivalent n'explique plus les variations des lames écoulées, notamment dans l'ouest. Les zones marécageuses y retardent l'écoulement amenant un déficit d'écoulement plus élevé. Ceci est caractéristique du Noun à Bamendjing par exemple.

La fig. 6.21 donne, également, les variations de lame en fonction de l'indice de pente de Roche Ip. On peut, seulement, parler de tendance (Ip n'est pas connu pour la Mape et le Noun). Ip pourrait être utilisé comme facteur correctif d'une fonction donnant la lame écoulée d'après la longueur du rectangle équivalent.

2.3.5.3. Influence de la pluviosité

En fait il paraît vain de vouloir établir une relation étroite entre paramètres physiques des bassins et lames d'eau écoulées quand on connaît la diversité des

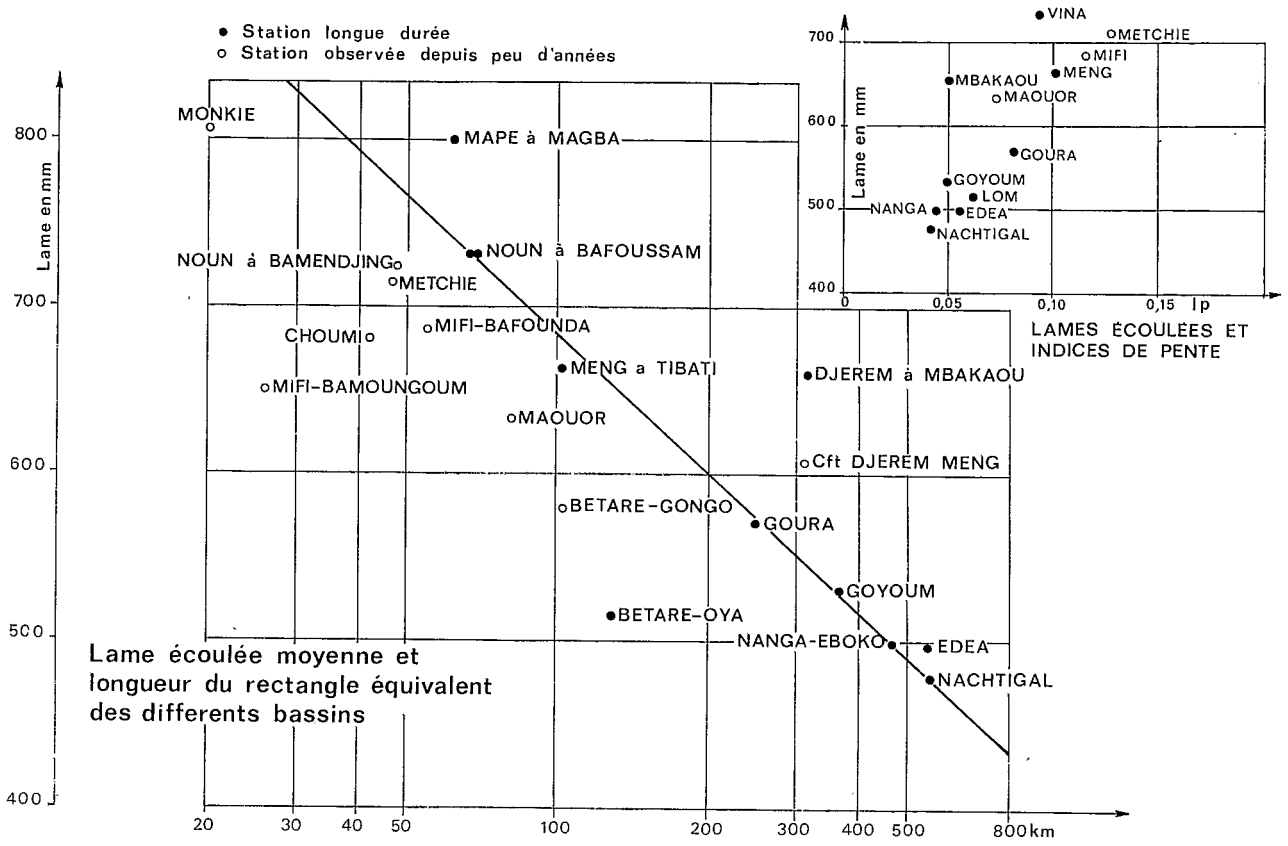


Fig. 6.21. – Lame écoulée moyenne et longueur du rectangle équivalent des différents bassins.

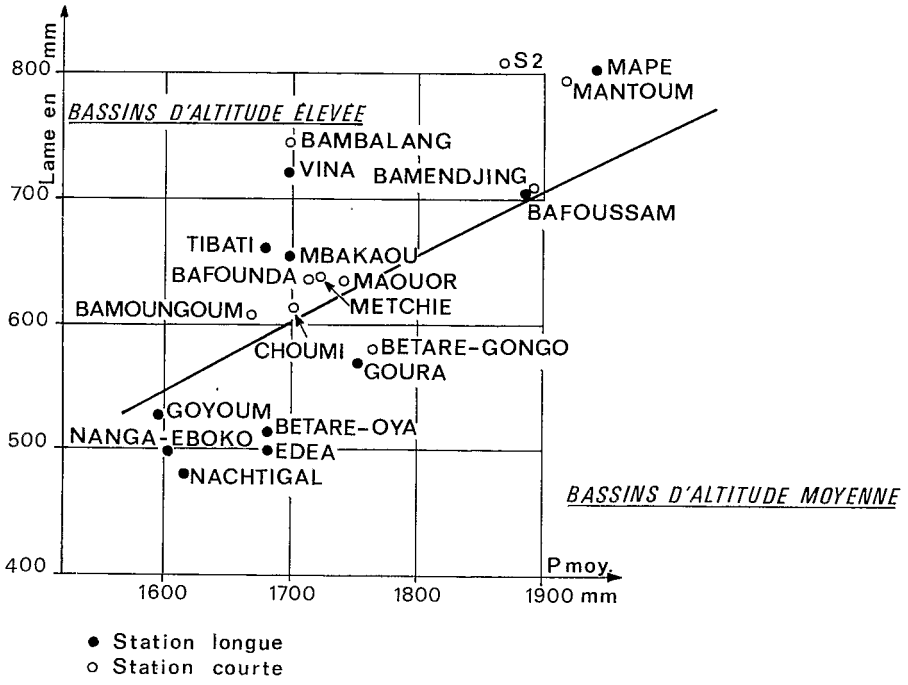


Fig. 6.22. – Lame écoulée et hauteur pluviométrique annuelle.

paysages rencontrés sur le bassin de la Sanaga, paysages orographiques, phytogéographiques ou géologiques.

De plus, ce serait méconnaître l'incidence de la hauteur des précipitations reçues par le bassin, incidence non négligeable comme le montre la figure 6.22.

Sur cette figure, on peut séparer nettement les stations de bassins d'altitude moyenne élevée, des stations de la pénéplaine du centre Cameroun, d'altitude plus basse. Nous verrons plus loin l'importance de ce facteur altitude dans l'étude du déficit d'écoulement.

L'étude de détail effectuée en pays bamiléké (Olivry, 1974 i) a montré pour le bassin de la Mifi-Sud une assez bonne relation entre la hauteur de précipitations des années observées et les lames écoulées correspondantes ; cette relation – qui inclut une correction de pente des bassins – confirme que pour des bassins d'altitude élevée, correspondent pour une même hauteur de précipitation des lames écoulées plus élevées.

L'esquisse de courbes d'égales lames écoulées moyennes sur le bassin de la Sanaga montrerait une croissance du sud-est au nord-ouest, passant de 300 mm à 800 mm, la majeure partie du centre du bassin se situant entre 500 et 700 mm.

2.3.6. Déficits et coefficients d'écoulement

On sait que la formule du bilan hydrologique annuel ($P = He + Er + R_1 - R_0$; avec $De = Er + R_1 - R_0$) se simplifie dans le cas d'une période pluriannuelle ; la variation des réserves peut être considérée comme négligeable, et le calcul du déficit d'écoulement est obtenu à partir de l'équation simplifiée du *Bilan hydrologique :*

$$De = P - He$$

dans laquelle P est la hauteur moyenne des précipitations annuelles tombées sur le bassin, et He la lame d'eau annuelle écoulée mesurée à l'exutoire.

Le déficit d'écoulement représente donc approximativement l'évapotranspiration réelle du bassin, pour autant que l'on puisse considérer comme négligeable les écoulements occultes (inféro-flux par exemple) qui pourraient se produire à l'exutoire, ce qui est le cas pour des grands bassins dont le substratum est cristallin pour l'essentiel.

Le coefficient d'écoulement traduit sous une autre forme cette équation du bilan hydrologique en donnant en pourcentage le rapport entre la lame et la hauteur pluviométrique annuelle :

$$K\ \% = \frac{He}{P} \times 100$$

Le tableau 6.43 donne les valeurs moyennes et extrêmes des déficits et coefficients d'écoulement des différents bassins. Les valeurs moyennes obtenues pour les onze stations principales (de plus de neuf ans de relevés) sont en général assez cohérentes.

Pour les stations de courte durée d'observations, il serait dangereux de calculer leur déficit moyen d'écoulement et de le comparer aux autres, car leur période d'observation inclut l'année 1969 qui fut la plus abondante depuis 1944. On s'est limité dans le tableau aux seules stations ayant plus de cinq ans de relevés, pour lesquelles cependant les valeurs moyennes sont seulement indicatives.

En outre pour les bassins de montagne (région volcanique de l'ouest) du pays Bamiléké, la densité du réseau pluviométrique suffisante pour fournir un indice de pluviosité ne l'est plus lorsqu'il s'agit d'exprimer la hauteur annuelle de précipitation en termes de bilan. Aussi le déficit d'écoulement du Choumi et de la Metchie a-t-il été repris de l'étude effectuée en pays bamiléké sur 3 ans avec un réseau pluviométrique dense plutôt que sur une période plus longue mal connue.

Nous avons étudié les variations du déficit d'écoulement en fonction de la hauteur pluviométrique moyenne interannuelle des bassins versants. Celle-ci varie entre 1 600 et 1 900 mm. Généralement, on note une corrélation assez nette entre ces deux facteurs. Mais la dispersion des points est cependant telle que l'on doit faire intervenir l'altitude pour envisager une explication plausible, sans oublier que la nature géologique des terrains et la couverture végétale peuvent jouer un certain rôle.

La figure 6.23 rend à peu près compte de la décroissance du déficit d'écoulement avec l'altitude, à hauteur de précipitations constante.

On peut alors classer les bassins en deux sous-ensembles relatifs l'un à la Sanaga et à tous ses formateurs de rive gauche et de l'est (affluents de la branche Djerem), l'autre au bassin supérieur de montagne du Mbam.

Dans le premier sous-ensemble, l'évolution est logique depuis les bassins de basse altitude sous couvert forestier dense (Tere, Nianiang) jusqu'aux savanes d'altitude de l'Adamaoua (Meng, Vina), le déficit moyen décroissant de 1 300 mm à 1 000 mm.

Dans le second sous-ensemble, il reste un groupe à fort déficit – environ 1 200 mm – pour une pluviosité élevée – 1 900 mm – à une altitude qui est celle du bassin de la Vina. Dans ce sous-ensemble, on doit également ranger les rivières du pays bamiléké tout en notant que la hauteur de précipitations est plus modeste (1 700 mm) [1]. Si l'on devait suivre les relations obtenues pour le reste de la Sanaga, De tomberait à 950 mm. Nous avons expliqué ce

(1) La figure 6.23 mentionne les valeurs d'autres BV de la Mifi-Sud non reportés dans le tableau.

Tableau 6.43. – Déficits et coefficients d'écoulement. Valeurs moyennes et extrêmes.

Station	Nombre d'années	Altitude moyenne m	P mm	Année moyenne			Valeurs max observées		Valeurs min observées	
				He mm	De mm	Ke %	De max	Ke % max	De min	Ke % min
Sanaga à Edéa	26	860	1 686	498	1 188	29.5	1 294	35.0	1 018	22.2
Sanaga à Nachtigal	19	835	1 618	478	1 140	29.5	1 237	36.6	946	24.2
Sanaga à Nanga-Eboko	21	870	1 606	499	1 107	31.1	1 219	38.6	951	25.6
Sanaga à Goyoum	9	925	*1 598*	*531*	*1 067*	*33.2*	1 138	44.4	902	29.1
Djerem à Mbakaou	11	1 059	1 699	656	1 043	38.6	1 140	51.9	816	33.7
Lom à Betare-Oya	19	948	1 683	515	1 168	30.6	1 308	39.6	1 006	25.5
Meng à Tibati	15	1 153	1 681	663	1 018	39.4	1 304	46.5	837	34.1
Maouor au Pont	6	1 170	*1 742*	*633*	*1 109*	*36.3*	1 387	40.6	999	33.4
Vina au Lahore	17	1 290	1 691	732	959	43.2	1 239	53.0	749	33.8
Tere à Ngoumba	6	665	*1 647*	*361*	*1 286*	*21.9*	1 380	26.8	1 074	20.2
Nianiang à Megengme	6	645	*1 647*	*262*	*1 385*	*15.9*	1 499	20.6	1 164	11.6
Mbam à Goura	19	980	1 758	570	1 188	32.4	1 364	37.4	1 075	28.1
Mbam à Mantoum	5	*1 300*	*1 926*	*794*	*1 132*	*41.2*	1 268	44.6	1 066	37.5
Mape à Magba	17	*1 300*	1 943	803	1 140	41.3	1 324	52.4	766	34.4
Noun à Bafoussam	18	*1 300*	1 886	725	1 161	38.4	1 287	46.0	1 019	33.1
Noun à Bamendjing	5	1 340	*1 898*	*726*	*1 172*	*38.2*	1 399	44.7	1 001	29.5
Metchie aux Chutes	3	1 547	*1 722*	*640*	*1 081*	*37.2*				
Choumi à Banok	3	1 560	*1 704*	*612*	*1 092*	*35.9*				

Les valeurs indiquées en italiques sont seulement indicatives.

particularisme bamiléké par le retard à l'écoulement provoqué par les zones marécageuses favorisant une évaporation plus grande et par l'albedo de ces régions couvertes de basaltes ou de sols provenant de leur altération qui, étant plus faible que celle des régions voisines, favoriserait aussi l'évaporation.

Il est difficile de comparer les valeurs du déficit d'écoulement à celles de l'évaporation potentielle mesurée sur bac en de rares stations du bassin. Notons simplement que le déficit d'écoulement n'est pas très inférieur à l'évapotranspiration potentielle pour les bassins méridionaux de la Sanaga (Tere, Nianiang) – ce qui rejoint les conclusions obtenues sur les fleuves côtiers où l'ETP est satisfaite – et que l'écart croît lorsque la latitude augmente.

Les variations interannuelles du déficit d'écoulement peuvent être importantes ; toutefois les différentes durées d'observation ne permettent pas de comparer les bassins entre eux.

En ce qui concerne les coefficients d'écoulement, on ne note pas de corrélation avec la hauteur pluviométrique annuelle. La moyenne des coefficients d'écoulement se situe autour de 35 %. Mais les coefficients extrêmes varient de 15 % (Nianiang) à plus de 40 % (haut-Mbam et Vina). Le rôle de la situation géographique des bassins est loin d'être négligeable ; une analyse paramétrique ferait double emploi avec celle du déficit d'écoulement.

2.4. Actualisation de quelques résultats

Certains résultats présentés dans la Monographie de la Sanaga (op. cit.) ont été corrigés dans ce qui précède à la lumière de travaux particuliers contempo-

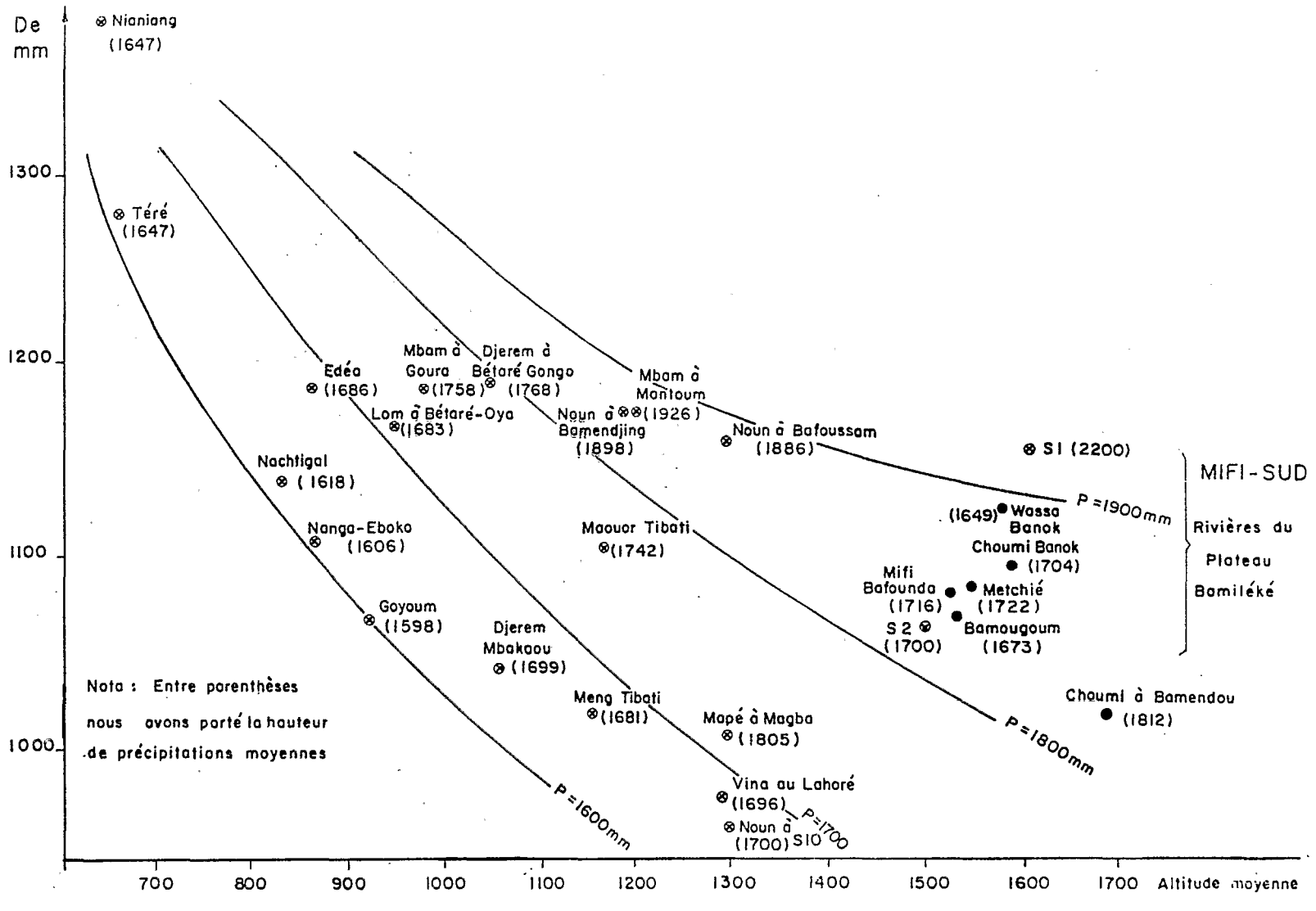


Fig. 6.23. – Variations du déficit d'écoulement en fonction de l'altitude moyenne et de la hauteur de précipitations annuelles des bassins versants.

rains de la réalisation de cette monographie (régimes en pays bamiléké par exemple). Mais, d'une manière générale, on n'a pas tenu compte de la décennie 70 pour des raisons déjà invoquées qui tiennent essentiellement à un régime influencé depuis cette époque par la gestion de deux grands barrages de retenue.

Cependant, il a paru intéressant d'actualiser certains résultats au vu des données acquises pendant *grosso modo* 10 années supplémentaires sur des stations dont le régime naturel n'a pas été perturbé par l'homme.

Cette actualisation a un côté positif, elle permet des études statistiques fréquentielles plus fouillées à partir d'échantillons plus grands. Mais elle a aussi un côté négatif – nous l'avons souligné en tête de ce chapitre –, le déficit global de la dernière décennie pourrait conduire à biaiser les résultats vers une sous-estimation pour les séries peu étendues.

C'est donc avec circonspection que l'on devra comparer les résultats actualisés aux résultats antérieurs.

On a retenu les stations de la Vina au Lahore, du Lom à Betare Oya, de la Tere à Ndoumba, de la Mape à Magba, du Mbam à Mantoum et de la Metchie aux Chutes. Ce sont celles dont les données de bases ont été indiquées plus haut en 1.3.

2.4.1. Étiages

D'une manière générale l'actualisation conduit à obtenir des valeurs médianes plus faibles que celles qui avaient été déterminées. Ainsi pour la Vina, l'étiage absolu médian passe de 5,13 à 3,74 m³/s, soit une baisse de 27 % ; l'étiage décennal n'est plus que de 2 m³/s ; l'ensemble de l'étude statistique porte sur 25 ans, la distribution est normale. Pour le Lom, l'étiage absolu médian est passé de 35,2 à 26,7 m³/s, avec un nouvel ajustement suivant une loi de Pearson III, soit une baisse de 24 %. Cette baisse passe à 33 % pour l'étiage décennal (21,3 à 14,3 m³/s) ; l'échantillon de valeurs est de 30 années et l'étiage absolu centennal est estimé à 7,73 m³/s. Pour la Mape à Magba, l'étiage absolu médian passe de 2,45 à 1,62 m³/s, soit — 34 % pour un échantillon qui passe de 17 à 28 valeurs. L'étiage absolu décennal passe de 1,13 à 0,731 m³/s. Pour le Mbam à Mantoum, le très faible échantillon initial n'avait permis que la seule estimation de l'étiage absolu médian. Celui-ci, de 17 m³/s, passe à 11 m³/s (16 ans) soit également une baisse de 35 %.

Ainsi on peut grosso modo estimer que l'étiage absolu mesuré sur les tributaires de la Sanaga principalement issus de l'Adamaoua et des massifs raccordant l'Adamaoua aux régions de l'Ouest a diminué du tiers depuis l'observation de la récente période déficitaire. Ce pourcentage diminue plus au Sud. La Metchie, issue du pays bamiléké, a un étiage médian en baisse de 17 % (de 1,12 à 0,930 m³/s) ; la Tere a un étiage médian sans modification significative (de 3,5 à 3,69 m³/s).

Ces résultats, pour limités qu'ils soient, pourraient indiquer que les valeurs qui ont été indiquées dans l'étude initiale doivent être revues en baisse dans des proportions plus importantes pour la partie nord du bassin que pour la moitié sud. Les corrections à apporter doivent toutefois rester inférieures aux % de baisses qiu ont été mentionnés du fait du poids trop fort de la décennie sèche sur l'ensemble de l'échantillon.

2.4.2. Maximums de crue

Ici, les données complémentaires acquises au cours de la décennie des années 70 conduisent paradoxalement, en dehors des valeurs médianes, à une correction en hausse des estimations fréquentielles initiales. Ce n'est pas que cette période apporte des valeurs extrêmes de maximums de crue plus élevées, mais seulement que le gain de poids des échantillons autorise une recherche plus complète dans le choix des meilleurs ajustements ; ainsi il s'avère que la loi normale précédemment retenue est moins bien adaptée que les lois hypergaussiques, lesquelles caractérisent le plus souvent la distribution des maximums annuels de crue.

Ainsi pour la Vina, une loi de Galton a été retenue ; le maximum de crue médian est de 112 m³/s (contre 118 m³/s pour les estimations précédemment proposées), mais la crue décennale est de 147 m³/s (contre 140 m³/s) et la crue centennale atteint 189 m³/s (contre 155 m³/s). Il y a donc une dissymétrie positive bien accentuée. C'est aussi le cas du Lom à Betare Oya. On a une crue médiane de 538 m³/s contre 555 précédemment, mais la crue décennale est de 683 m³/s (contre 665) et la crue centennale est de 853 m³/s (contre 760). On notera cependant que la crue décennale reste très largement dans les limites de l'intervalle de confiance défini à 80 % ($\pm$ 35 m³/s). Pour le Mbam à Mantoum, on en est resté à une distribution normale dont les valeurs, sécheresse oblige, sont en deça de celles estimées (médiane : 1 240 m³/s contre 1 345, décennale : 1 520 m³/s contre 1 650, centennale : 1 750 m³/s). Sur la Mape, une distribution de Goodrich a été retenue ; elle est très peu dissymétrique et les résultats sont peu différents de ceux de la distribution normale (médiane : 397 contre 405, décennale : 527 contre 525 et centennale : 638 contre 620 m³/s).

Sur la Metchie, une distribution de Galton donne des résultats supérieurs aux précédentes estimations (médiane à 34,8 m³/s contre 32,6, décennale à 45,9 m³/s contre 40 ; une centennale à 60 m³/s paraît encore sous-estimée au regard de la crue d'octobre 1971 qui a atteint 83 m³/s).

Tableau 6.44. – Étude fréquentielle des modules (période déficitaire des années 70 incluse).

Station (Ajustement retenu) et période	Paramètres a	b	c	Années sèches 100	20	10	Médiane	Années humides 10	20	100
Vina Lahore (Goodrich) 1951-80	39.6	0.0	0.109	24.0	28.7	31.0	38.1	43.4	44.6	46.8
Lom, B-Oya (Galton) 1951-80	110.9	64.2	0.201	134	144	150	175	208	219	241
Mape Magba (Goodrich) 1952-80	82.75	19.69	0.182	55.6	68.0	74.7	97.1	116	121	129
Mbam Mantoum (Goodrich) 1965-80	344.8	0.0	0.143	178	225	250	327	389	404	429
Metchie Chutes (Gauss) 1964-78	2.33	9.88		4.46	6.04	6.89	9.88	12.9	13.7	15.3
Tere (Galton) 1963-78	10.46	7.22	0.300	12.4	13.6	14.4	17.7	22.6	24.4	28.2
Njeke (Goodrich) 1968-80	39.54	0.0	0.252	12.4	18.7	22.4	36.1	48.8	52.1	58.1

Nota : Pour ce qui concerne la Njeke à Ngongon (BV de 3 720 km²) qui apparaît pour la première fois dans cette étude, les résultats sont évidemment nettement sous-estimés, vu la période d'observation.

Sur la Tere, enfin, on a des résultats, suivant une loi de Gumbel, très voisins de ce qui était estimé (61 m³/s pour la crue médiane, 86 m³/s contre 83 pour la décennale et 117 m³/s pour la centennale).

Si l'on admet la validité de ces ajustements, on note que les distributions hypergaussiques modifient considérablement les rapports Crue centennale/Crue décennale et par suite les remarques faites en 2.2.5. Ce rapport passe de 1,18 à 1,21 pour la Mape, de 1,14 à 1,25 pour le Lom et de 1,11 à 1,29 pour la Vina... Il n'est plus possible de parler pour cette dernière de forte régularisation des crues par les zones marécageuses qui se trouvent sur le bassin... d'ailleurs on retrouve une valeur de 1,30 pour la Metchie et 1,36 pour la Tere dont les zones d'inondation ou marécageuses sont importantes.

Qu'en conclure ? Le rôle tampon des zones marécageuses n'est pas à nier, il y a bien amortissement, étalement de la crue, mais arrive un seuil de remplissage de ces zones à partir duquel la fonction « amortisseur » disparaît, à partir duquel la crue est transférée à l'exutoire sans étalement... On a bien des crues décennales « amoindries » en débits spécifiques du fait des zones marécageuses, mais pour des événements plus rares, plus exceptionnels, comme la crue centennale, on se rapproche des débits spécifiques observés sur des bassins voisins ne comportant pas de zones marécageuses et pour lesquels les rapports étudiés ici seraient inférieurs.

L'étude du rapport « crue centennale/crue décennale » doit de toute manière être reliée aux débits spécifiques de crue et aux superficies des bassins pour pouvoir être interprétée.

2.4.3. Modules

On a repris l'étude fréquentielle des modules de la Vina, du Lom et de la Mape, stations pour lesquelles les valeurs médiane, décennales, vicennales, centennales sèches et humides avaient été déterminées (tableau 6.44).

Pour la Vina, une distribution suivant une loi de Goodrich a encore été retenue ; l'ajustement conduit au tracé d'une courbe à dissymétrie négative plus marquée, les modules d'années sèches étant plus faibles pour des fréquences de retour identiques. Le module médian est plus faible de 3,5 % (38,1 m³/s) ; pour le module décennal sec, la baisse est de 10 % et elle atteint 20 % pour le module centennal. Les modules d'années humides sont comparables.

Pour la Mape, une loi de Goodrich, de forme légèrement hypogaussique, se substitue à la loi normale. Les écarts avec les précédents résultats de 5 % pour le module médian augmentent pour les faibles récurrences. Le poids des années sèches sur l'ensemble de l'échantillon est ici trop évident pour que ces résultats soient adoptés d'emblée. Pour le Lom, l'ajustement le plus satisfaisant semble suivre une loi de Galton (c'était une loi de Pearson III précédemment). La dissymétrie positive paraît moins marquée. Les résultats de l'actualisation conduisent à une légère minoration des modules de fréquence donnée. Cette minoration est inférieure à 2 % pour le module médian, à 4 % pour le module décennal sec.

Pour les autres stations, la comparaison n'est pas possible, l'analyse fréquentielle n'ayant pu être effectuée dans le détail. Dans le tableau 6.44 ci-après, les déterminations portent sur l'ensemble de la période d'observation jusqu'aux dernières informations connues.

En dehors de l'étude fréquentielle proprement dite, on peut remarquer que la comparaison des modules moyens calculés jusqu'en 1970 et actualisés depuis montre pour les bassins étudiés que l'on passe :

- pour la Vina au Lahore, de 39,1 à 37,1 m³/s (soit — 5,1 %),
- pour le Lom à Bétare-Oya, de 181 à 175 m³/s (— 3,3 %),
- pour la Mape à Magba, de 102 à 95,7 m³/s (— 6,1 %),
- pour le Mbam à Mantoum, de 369 à 321 m³/s (— 13 %),
- pour la Metchie aux Chutes, de 10,2 à 10,1 m³/s (— 1 %),
- pour la Tere à Ndoumba, de 18,9 à 17,4 m³/s (— 8 %).

Cette baisse n'est vraiment sensible que pour le Mbam à Mantoum ; mais l'estimation de la moyenne initiale ne portait que sur 5 années et était de toute évidence trop forte.

Pour les autres, les pourcentages sont inférieurs ou très voisins de ceux qui ont été déterminés pour l'intervalle de confiance de la Sanaga (Mbam Goura $IC_{80} = \pm 4{,}6$ %, Sanaga Nachtigal $IC_{80} = \pm 5$ %, Mape Magba $IC_{80} = \pm 6$ %), et en tous cas inférieurs à l'intervalle de confiance à 90 %.

2.4.4. Conclusions

La figure 6.24 résume la comparaison des études fréquentielles pour le Lom à Betare-Oya.

En définitive, l'actualisation des résultats montre que seule l'estimation des étiages de récurrence donnée est vraiment affectée par la décennie déficitaire des années 70. Le poids de cette décennie sur l'échantillon global souvent trop court conduit probablement à sous-estimer les valeurs caractéristiques. Pour les maximums de crue, les modifications apportées résultent seulement d'un meilleur ajustement qui n'aurait pu être effectué en 1970 sur les échantillons dont on disposait alors ; mais cela ne remet pas en cause les déterminations faites pour les stations principales du bassin. Enfin pour les modules on vient de voir qu'en dépit du poids de la décennie 70, les nouvelles estimations restaient dans l'intervalle de confiance des précédentes déterminations faites pour des séries courtes. C'est dire que pour les stations principales, les estimations effectuées doivent être proche des valeurs caractéristiques « vraies ».

C'est bien ce que nous avons souligné en introduction de ce chapitre d'interprétation, c'est bien ce qui a été développé à propos des modules et de la signification des résultats (2.3.3.).

2.5. Régularisation des débits sur le bassin de la Sanaga

Aux fins d'augmenter le productible de la Centrale Hydro-électrique d'Edéa installée au fil du courant et par suite le débit garanti à la période des basses-eaux, deux barrages réservoirs ont été construits. Le premier sur le Djerem à Mbakaou a été mis en eau à partir de juillet 1969 et a une capacité d'environ 2,6 milliards de m³. Le second mis en eau à partir de juillet 1974, 5 ans plus tard, a été construit sur le Noun à Bamendjing ; sa réserve utile dépase 1,8 milliards de m³.

La retenue de Mbakaou ne stocke que le 1/4 de l'écoulement moyen annuel ; autrement dit la mise en réserves au moment de la crue annuelle va de pair avec l'évacuation d'une grande partie de celle-ci et le rôle régulateur du barrage est somme toute assez modeste sur le bassin aval.

La retenue de Bamendjing qui concerne un bassin versant dix fois plus petit que celui de Mbakaou stocke, par contre, l'ensemble des apports pour les redistribuer exclusivement pendant la saison sèche. En année moyenne, les possibilités de stockage ne dépassent pas 1,4 à $1{,}5.10^9$ m³. L'occurence est grande, donc, de remplissages déficitaires. Bien entendu, l'ensemble du régime de hautes-eaux est très affecté sur le Noun en aval par ce stockage du bassin amont.

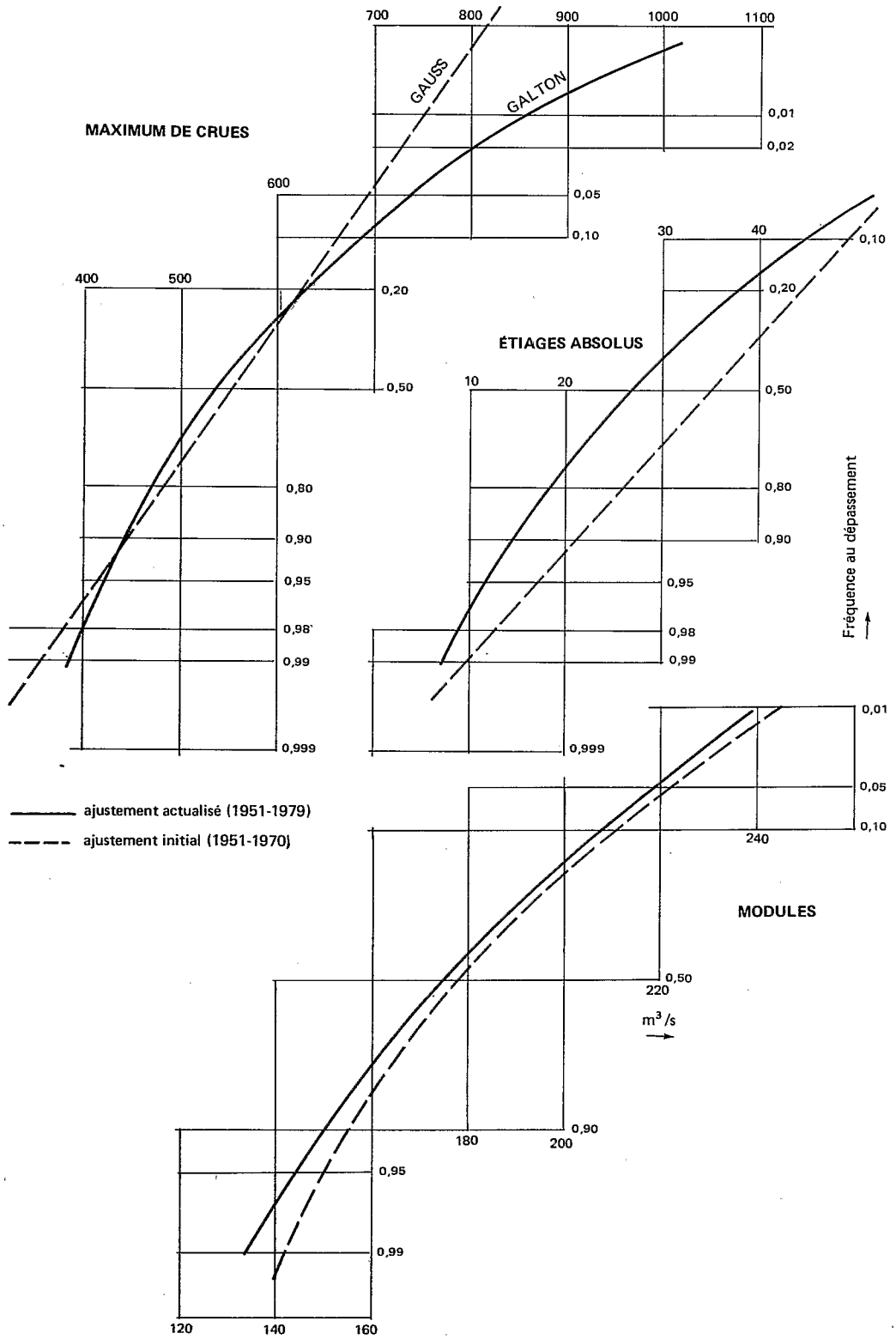


Fig. 6.24. – Comparaison des ajustements statistiques sur les échantillons de données anciennes et actualisées du Lom à Bétaré-Oya.

Tableau 6.44a. – Différences entre débits moyens des régimes naturel et régularisé.

	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	Total excédent minimal saison sèche 10^9 m^3
Noun à Bamendjing	98.9	55.0	*29.5*	*55.6*	*88.4*	*107*	*88*	*67.7*	*9.5*	90.9	116	103	1.2
Mbam à Goura	10	*35.0*	*147*	*144*	*126*	*194*	*214*	*150*	*74*	34	76	41	0.42
Djerem Mbakaou	125	13	*81*	*174*	*265*	*245*	*374*	*310*	*89*	43	246	290	1.86
Sanaga Nachtigal	56	*84*	*182*	*328*	*262*	*553*	*648*	*599*	*172*	*99*	103	159	0.82
Sanaga Edéa	71	*97*	*198*	*429*	*340*	*957*	*945*	*199*	*376*	*169*	65	162	0.77

C'est donc en moyenne un volume de 4,5.10^9 m^3 qui est disponible pendant la saison sèche pour « soutenir » le débit turbiné d'Edéa, et aujourd'hui de Song Loulou.

En comparant la moyenne des débits moyens mensuels en régime naturel (jusqu'en 1970) et en régime régularisé, on peut se faire une idée de l'incidence des réservoirs sur l'écoulement de saison sèche.

La figure 6.25 montre les périodes de gain et celles qui pourraient être considérées comme périodes de stockage. On a choisi une échelle des débits logarithmique pour mieux mettre en évidence les modifications du régime au niveau des réservoirs. Le tableau 6.44a ci-après indique pour Bamendjing, Goura, Mbakaou, Nachtigal et Edéa, mois par mois le gain en débit ou la diminution (en italiques) par différence entre débits moyens mensuels du régime naturel ancien et du régime régularisé actuel.

La dernière colonne traduit en volumes la somme des gains de la saison sèche par rapport à la normale qui correspond à la restitution minimale des volumes stockés dans les réservoirs. Déjà au niveau de ceux-ci on est bien au-dessous des réserves potentielles ce qui signifie que ces stocks ont été utilisés pour pallier au déficit hydrométrique naturel de la décennie des années 70 pendant les mois de saison sèche mais aussi probablement pendant les mois charnières avec la saison des pluies. En allant vers l'aval le volume « gagné pour l'hydro-électricité » diminue, les volumes compensateurs du déficit augmentant avec la superficie des bassins.

Ainsi par exemple pour Edéa en ramenant les débits mensuels du régime naturel à ce qu'ils auraient pu être pendant la décennie 70 par le simple rapport des débits annuels (0,84), le gain de saison sèche passe à un minimum de 1,9.10^9 m^3 contre 0,77.10^9 m^3 précédemment.

On doit souligner qu'en dépit de cette décennie largement déficitaire, les barrages réservoirs ont permis une croissance de la production non négligeable pendant la saison sèche alors qu'en régime naturel l'usine d'Edéa aurait connu des défaillances sans précédent. Le débit minimal garanti est aujourd'hui supérieur à 600 m^3/s.

Un exemple rapide du régime régularisé du bassin de la Sanaga est proposé ci-après :

Dans la figure 6.26 on a retracé pour la saison sèche 1974-1975 l'évolution comparée des débits sur la Sanaga et le Mbam consécutive à l'exploitation des réservoirs de Mbakaou et de Bamendjing.

On notera les lâchures ponctuelles du mois de décembre à Bamendjing qui ont servi à l'étalonnage de la station aval (Olivry et. al., 1975e).

Les hydrogrammes montrent que le tarissement de la Sanaga est enrayé dès la mi-décembre et que l'on a une remontée des débits à Goyoum et Nachtigal à partir de la mi-janvier qui se traduit au niveau d'Edéa par une stabilisation du débit toujours supérieur à 700 m^3/s jusqu'en avril. La stabilisation du Mbam à Goura se situe à un niveau moyen de 150 m^3/s en février-mars puis les débits remontent.

La courbe de tarissement théorique (en régime naturel, cf. 2113) de la Sanaga a été esquissée et est supposée se poursuivre jusqu'à la fin mars, période à laquelle les débits remontent (la courbe est calée schématiquement sur le bilan d'Edéa et des lâchures à la fin mai). L'aire comprise entre la courbe des débits régularisés et celle supposée traduire les débits en régime naturel indique un volume de l'ordre de 5.10^9 m^3 pour l'essentiel concernant 4,5.10^9 m^3 de lâchures (volumes cumulés de 1,5.10^9 pour Bamendjing et 3.10^9 pour Mbakaou, volumes effectivement mesurés aux stations hydrologiques (Olivry, op. cit.)). Le volume résiduel de 0,5.10^9 m^3 correspond aux apports des pluies pendant la période de tarissement sur le bassin aval.

Notre propos n'est pas de rentrer dans le détail de la gestion des retenues aux meilleures fins d'utilisation en termes de production électrique. Cette gestion implique de connaître les temps de propagation des

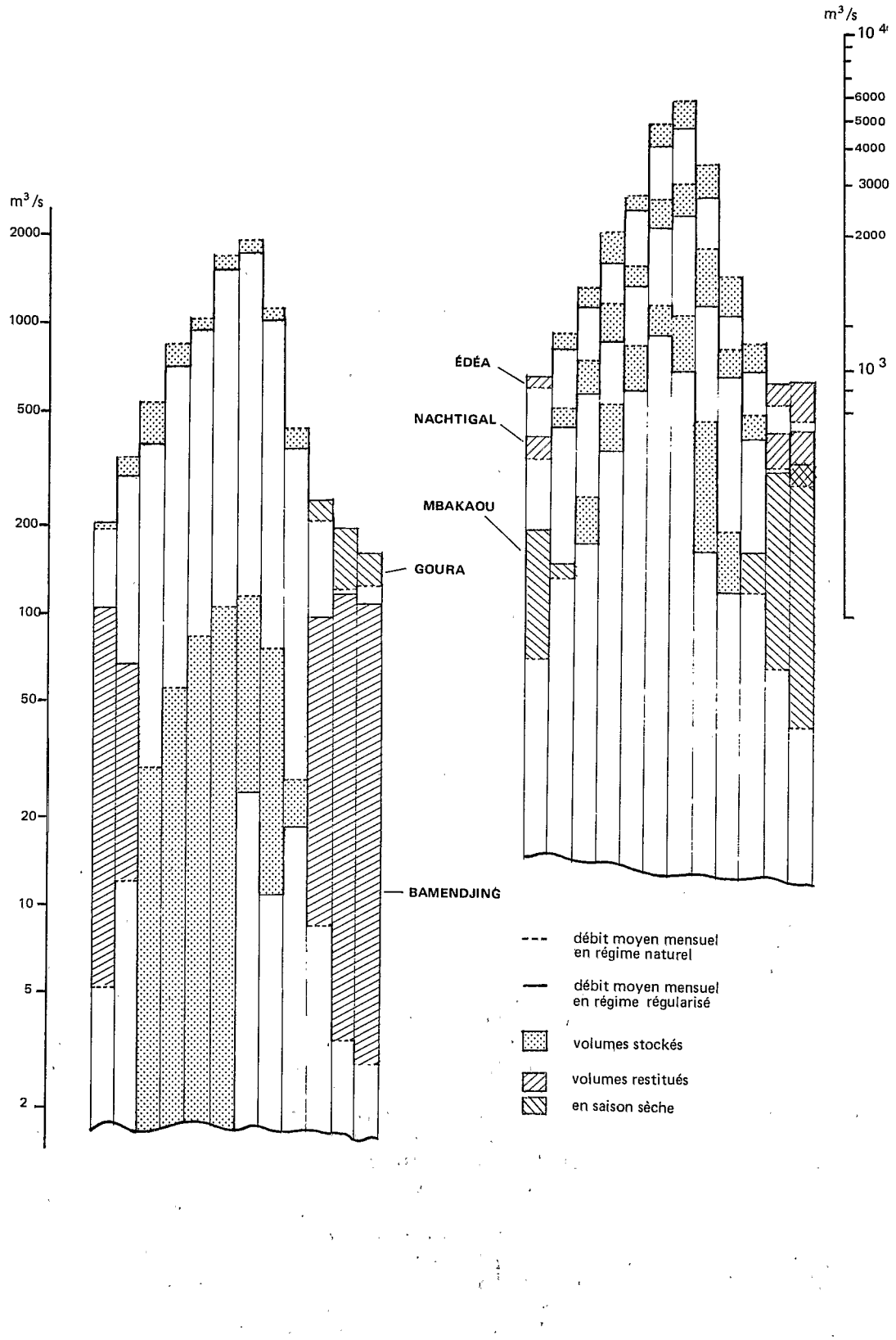


Fig. 6.25. – Régularisation du Mbam et de la Sanaga par les barrages-réservoirs de Bamendjing et Mbakaou : un gain d'apports à Édéa en saison sèche.

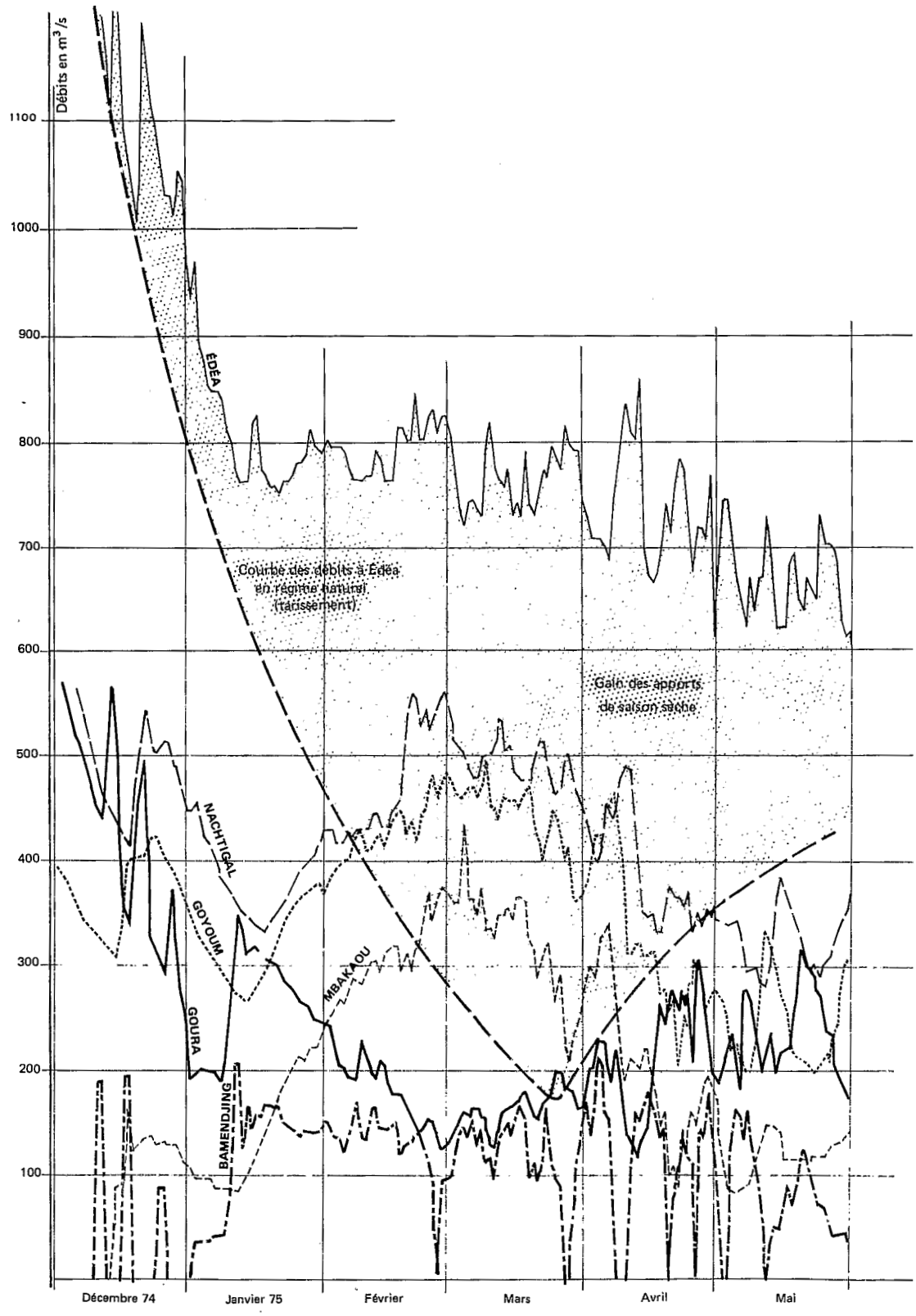


Fig. 6.26. – Exploitation des réservoirs de Mbakaou et Bamendjing. Année 74-75.

lâchures lesquels varient avec le débit [1] et le comportement hydrologique des bassins intermédiaires, en particulier les apports dus aux précipitations de saison sèche sur la partie aval du bassin. Pour connaître ces différents paramètres, il est nécessaire de disposer d'un réseau de stations hydrométéorologiques avec transmission rapide des données (réseau B.L.U. ou système Argos par Satellite).

La mise au point de modèles, mathématique (Rochette) ou graphique (Le Pesant), a été faite sur la base de nombreuses études citées en bibliographie (Nouvelot, 1970c ; Cadier 1971a ; Sechet 1972, 1973a,b ; Casenave 1974a ; Olivry 1975d, 1976e, 1978d). La poursuite des aménagements sur le bassin implique d'autres études de ce type et une mise au point de plus en plus précise des modèles de gestion.

Les besoins de l'homme sont tels que la Sanaga sauvage – tout comme les éléphants porteurs d'ivoire des savanes de Yoko – n'est déjà plus qu'un souvenir dans leur mémoire.

(1) Par exemple de Bamendjing à Edéa, la propagation se fait en 88 heures pour 200 m³/s, 100 heures pour 95 m³/s (environ 8 jours entre Mbakaou et Edéa).

CHAPITRE VII

Les tributaires camerounais du bassin du fleuve Congo

Le domaine de la grande forêt déborde largement des zones étudiées précédemment, drainées par le Nyong et les fleuves côtiers.

Il s'impose sur une grande partie des régions sud-est du Cameroun dont les cours d'eau sont tributaires du bassin du Congo.

Ces régions, délimitées *grosso modo* par un triangle dont les sommets seraient Sangmélima à l'ouest, Garoua-Boulai au nord et Ouesso à l'est, couvrent 93 000 km², soit 1/5 du territoire camerounais.

Mais à l'extension géographique, relativement importante, de cette zone, ne correspond qu'un poids modeste dans l'économie du pays. Le sud-est du Cameroun est surtout riche en potentialités : ressources forestières, éventuelles ressources minières qui font l'objet d'actives prospections et ressources hydro-électriques.

De fait, ces régions sont caractérisées par un sous-peuplement général. La densité moyenne de population dépasse à peine 2 habitants au km², et de vastes zones sont entièrement vides d'hommes, notamment au Sud.

Ce faible peuplement constitue bien entendu un obstacle majeur au développement régional et explique le caractère limité des infrastructures existantes. Celles-ci sont en particulier relativement réduites dans le domaine routier, ce qui n'a pas permis l'implantation d'un réseau hydrométrique de densité satisfaisante.

Aussi, les travaux des hydrologues de l'ORSTOM au Congo, et dans une moindre mesure en Centrafrique, viennent compléter utilement l'information recueillie au Cameroun.

En effet, ces régions appartiennent à un ensemble plus vaste constitué par le bassin versant de la Sangha.

Cette rivière est le deuxième affluent, en importance, de la rive droite du fleuve Congo (ou Zaïre). Elle se jette dans le grand fleuve à Mossaka, 150 km à l'aval du confluent Oubangui-Congo, 400 km en amont de Brazzaville. Elle appartient au vaste réseau de cours d'eau navigables de la cuvette congolaise. La Sangha, avec la Likouala aux Herbes et la Likouala-Mossaka, draine alors, à son confluent, un bassin versant total de 280 000 km² environ.

... Mais c'est à cinq cents kilomètres en amont de son confluent avec le Congo – à Ouesso – que les eaux de la Sangha ont quitté définitivement le Cameroun.

Le bassin versant de la Sangha à Ouesso couvre une superficie totale de 158 350 km². Il est compris entre les latitudes 1° 37′ et 6° 40′ N et les longitudes 11° 51′ et 16° 44′ E. Il concerne trois pays dans des proportions différentes :

Cameroun :	93 000 km²	58,7 %
Centrafrique :	54 500 km²	34,4 %
Congo :	10 350 km²	6,9 %
Total B.V. Sangha :	158 350 km²	100 %

Ouesso, ville du Nord-Congo, est située en rive droite de la Sangha au confluent de deux branches majeures concernant toutes deux, pro parte, le territoire camerounais :
- la Sangha proprement dite venant du Nord,
- la Ngoko (ou Dja) venant de l'Ouest.

Les deux sous-bassins sont d'importance comparable :
- 82 350 km² pour la Sangha supérieure,
- 76 000 km² pour la Ngoko.

Ils présentent toutefois des différences assez notables du fait de leurs situations respectives en latitude. Alors que le bassin de la Ngoko présente une homogénéité climatique et phytogéographique (forêt équatoriale), le bassin de la Sangha supérieure présente une zonalité latitudinale des climats et de la végétation et à ce titre rappelle celui de la Sanaga.

La description du milieu naturel correspondant dans les grandes lignes à ce qui a été vu pour les fleuves côtiers, le Nyong puis la Sanaga, nous nous bornerons à en brosser les caractéristiques à grands traits en soulignant les éléments originaux.

Au niveau des données de base et de l'interprétation, nous insisterons davantage lorsque ce sera possible sur les aspects spécifiques au Cameroun.

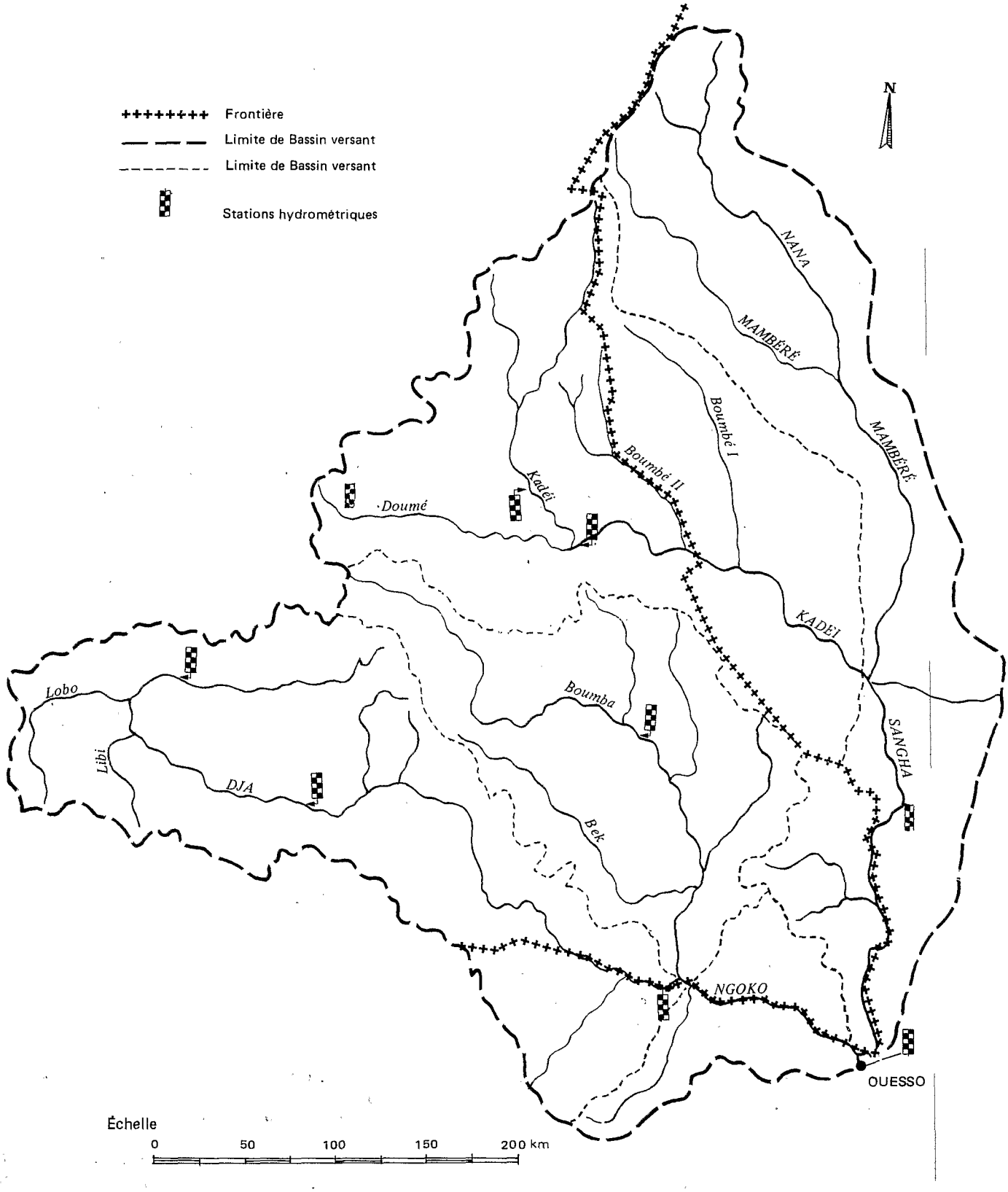


Fig. 7.1. – Bassin versant de la Sangha à Ouesso.

1. LE MILIEU NATUREL DU BASSIN DE LA SANGHA

1.1. Les facteurs géographiques

1.1.1. La végétation

La forêt constitue l'unique paysage végétal sur toute la partie du bassin située au sud d'une ligne Batouri-Berbérati. Sur le bassin de la Ngoko (Dja et Boumba), un interminable manteau forestier recouvre la région ; c'est la forêt dense humide semi-décidue, essentiellement hémi-ombrophile dite congolaise car elle caractérise toute la cuvette du fleuve Congo. Elle est en partie périodiquement inondée sur le cours inférieur du Dja, de la Boumba, de la Ngoko et de la Sangha ; aux essences dominantes classiques de la forêt congolaise (*Albizzia gummifera, Ceiba pentandra, Musanga cecropoïdes*) s'ajoutent alors quelques espèces particulières tel *Guibourtia demeusei* pour les Copaliers, et aussi *Trichilia retusa* et *Xylopia valotii.* Cette forêt congolaise montre une certaine caducité des feuilles. Sa frange nord, au nord d'une ligne Nola-Yokadouma-Abong Mbang, est marquée par le passage progressif à la forêt semi-décidue à Celtis et Sterculiacées (vallées de la Doumé, de la Kadeï inférieure).

Cette zone, qui a été décrite (études du Nyong, de la Sanaga), est en voie de défrichement et passe rapidement à la savane au nord d'une ligne Bertoua-Batouri-Berbérati. Cette savane dite « post forestière guinéenne » correspond à la savane herbeuse de la zone équatoriale coupée d'îlots forestiers et de nombreuses forêts-galeries.

C'est ce type de végétation qui concerne la majeure partie du bassin de la haute Sangha (Mambere) et de la Kadei, avec à partir de la latitude Garoua-Boulaï-Bouar (environ 6°) le passage aux savanes arbustives soudano-guinéennes de transition, succession de paysages phytogéographiques tout à fait comparable à ce qui a été observé sur la Sanaga.

Ainsi sur les deux branches majeures du bassin de la Sangha à Ouesso, l'une – la Ngoko – appartient entièrement au domaine de la forêt congolaise, l'autre – la Sangha-Mambere – présente une zonalité en latitude allant de la forêt congolaise aux savanes de l'Adamaoua.

1.1.2. Le substratum géologique

Au nord-ouest d'une ligne reliant *grosso modo* Souanke à Nola, on retrouve un ensemble de terrains dont la description a été faite dans l'étude du milieu naturel des fleuves côtiers et de la Sanaga. Ainsi du sud-ouest vers le nord-est, on a approximativement la succession suivante sur le bassin du Dja : vers Djoum puis Sangmélima, le Complexe du Ntem est présent avec son complexe calco-magnésien indifférencié et les granites calco-alcalins à pyroxènes ; puis on observe des granites syntectoniques anciens subconcordants avec les migmatites du « Complexe de base ».

Un accident tectonique majeur orienté WNW-ESE, long de 250 km, emprunté par la vallée du Dja sur plus de 100 km, sépare ces granites et migmatites des schistes chloriteux et des quartzites de la série de Mbalmayo-Bengbis que nous avons citée à propos du bassin du Nyong.

Plus au nord et à l'est, le complexe de base est de nouveau représenté par des micaschistes, gneiss et migmatiques ; au nord de Batouri, le substratum est composé de granites syntectoniques anciens et tardifs ; enfin la série du Lom est présente aux sources de la Mambere et d'affluents de la Nana.

Mais l'originalité géologique des régions sud-est du Cameroun est dans la série du Dja inférieur qui couvre le triangle Souanke-Nola-Ouesso, prend le nom de série de Nola en Centrafrique et constitue au Congo la partie supérieure de ce qui a été appelé série de Sembe-Ouesso.

Cette série date du Précambrien A (Bessoles, 1980) ; son extension se situe à la jointure des deux ensembles structuraux : zone mobile et craton.

Trois termes lithologiques principaux ont été identifiés : les pélites, les quartzites et le complexe schisto-doléritique. Les deux premiers forment ce qu'on a appelé le complexe du Beuk. Pour le dernier, les roches basiques sont intrusives et recoupent les schistes mais aussi toutes les formations antérieures, des pélites aux formations glaciaires supérieures. La mise en place de ces puissants ensembles intrusifs doléritiques dont on doit souligner l'orientation NE-SW pourrait être liée à la position de la série du Dja en bordure du craton du Congo. La série du Dja affecte une allure synclinale soulignée par l'alternance des faciès pélites-schistes et quartzites. Les plis sont également de direction NE-SW et ont, semble-t-il, affecté les formations glaciaires supérieures.

Celles-ci constituent le complexe tillitique camerounais et le complexe tillitique de la Bandja. Le premier se situe sur le cours inférieur du Dja sur environ 50 km et en lambeaux disséminés sur les formations de la série du Dja ; le second, en R.C.A. entre Nola et Yokadouma, doit son nom à un affluent de la Kadei. Ce sont des formations conglomératiques dont l'origine glaciaire est mise en évidence par la coexistence d'éléments anguleux et arrondis, l'absence de classement des matériaux et de toute stratification, enfin la présence de galets à faces planes et polies.

On verra à la description du réseau hydrographique que les cours d'eau sont coupés de nombreux rapides et de chutes. Ces ressauts dans le profil des rivières sont provoqués par des bancs de quartzites et micaschistes consolidés, par des amphibolites à grenats et par des intrusions doléritiques (chutes de Nki).

1.1.3. Les sols

Les sols du bassin du Dja-Ngoko sont essentiellement des sols ferrallitiques rouges dérivés de roches métamorphiques acides, que ces roches appartiennent au complexe de base ou à la série du Dja. Vers l'ouest, on retrouve l'imbrication de ces sols rouges avec les sols jaunes des bassins côtiers. L'altération des roches doléritiques aboutit à la formation de sols ferrallitiques rouges dérivés de roches basiques. Dans les zones périodiquement inondées, il y a imbrication de sols hydromorphes aux sols ferrallitiques rouges.

Si le bassin de la Sangha entre Ouesso et Nola montre des paysages pédologiques tout à fait comparables, la partie amont et le bassin de la Kadei présentent l'évolution classique en latitude, des sols ferrallitiques épais aux sols complexes de savane. On relève successivement le passage des sols rouges aux sols ferrallitiques cuirassés avec en particulier horizons profonds de ces sols rouges localement cuirassés et mis à nus avec d'abondantes concrétions ferrugineuses, puis le passage à des sols complexes de savanes, sols remaniés avec concrétions et débris de cuirasse. Enfin localement sur la haute Mambere en particulier, on peut trouver de grandes surfaces cuirassées plus ou moins remaniées.

1.2. Description du réseau hydrographique

1.2.1. La Sangha en amont de Ouesso et son affluent principal : la Kadei

La branche majeure de la Sangha supérieure que l'on a admis être ici la haute Mambere prend sa source à plus de 1 100 m d'altitude au nord de la route Garoua-Boulaï-Bouar, à la frontière entre Centrafrique et Cameroun. La source est à 650 km à l'amont de Ouesso. Elle est située sur un appendice massif du sud du plateau de l'Adamaoua. La Mambere reçoit deux affluents principaux, la Yoyo en rive gauche et la Limba en rive droite avant de confluer avec la Nana un peu en amont de Carnot. Cet affluent comparable en importance à la Mambere (plus long d'environ 20 km) prend sa source plus au nord près des sources du Lom vers la Sanaga et du Lim vers le Logone (massif culminant à 1 410 m). Le confluent au km 440 de Ouesso est à 455 m d'altitude ; la Mambere coule alors dans la grande forêt humide suivant un axe nord-sud qui sera conservé jusqu'à Ouesso. Elle atteint Nola au km 250 à l'altitude de 383 m. Sa pente n'est plus que de 0,4/1 000 ; elle tombera à 0,2/1 000 entre Nola et Salo, 50 km à l'aval (altitude 373 m), qui constitue le dernier port fluvial amont sur la Sangha.

A Nola, la Mambere, exclusivement centrafricaine, reçoit les apports de la Kadei, pro parte camerounaise, et prend le nom de Sangha. Le cours d'eau devient alors large et puissant ; entre Salo et Ouesso la pente reste constante autour de 0,2/1 000. Depuis Carnot, aucun affluent important n'est venu rejoindre la Sangha à l'exception de la Kadei ; dans le bief aval, la Lobeke est un affluent camerounais drainant une zone de forêt inondable de la cuvette congolaise.

La Kadei a un bassin versant qui représente plus de 60 % du bassin de la Sangha à Nola (39 % pour la Mambere, 61 % pour la Kadei), soit pour un BV total d'environ 67 500 km² un bassin de 41 000 km² dont plus de la moitié sur le territoire camerounais.

Elle prend sa source à environ 1 000 m d'altitude à Garoua Boulaï et délimite la frontière entre le Cameroun et la Centrafrique sur environ 80 km. Son réseau est en forme d'arête de poisson avec des affluents courts dont le chevelu est bien souligné par les forêts-galeries qui caractérisent le haut bassin de la Kadei. La direction générale est nord-sud jusqu'à la latitude 5° ; sur les 150 premiers kilomètres, la pente moyenne est de 1,7/1 000 ; elle est régulière. La Kadei va quitter les flancs du bastion le plus méridional de l'Adamaoua pour le plateau du Centre-Sud par de brefs crochets vers l'ouest, qui suivent les chutes de Boden jusqu'à Ngoura.

La Kadei a perdu 100 m d'altitude en 25 km dont 40 m en 5 kilomètres. La rivière Oudou, un affluent de rive droite, qui prend sa source à 900 m d'altitude près du carrefour de la route du Nord et de la piste de Betare-Oya, parcourt plus d'une centaine de kilomètres avant de rejoindre la Kadei en aval de Ngoura à une altitude de 606 m. La rivière qui a repris une direction générale N-S a une pente plus douce ; jusqu'à Batouri (alt. 588 m), celle-ci est de 0,3/1 000. Les affluents, tous modestes à l'exception de la Koubou qui a une longueur de 70 km, présentent des bas-fonds qui commencent à rappeler les régions du haut-Nyong par le mauvais drainage du chevelu très fréquemment marécageux ou inondable. La similitude sera encore plus parfaite en aval de Batouri avec en particulier le bassin de la Doume.

La Doume rejoint la Kadei à Mindourou alors que celle-ci a pris une direction S-E ; le cours général de la Doume, un des principaux affluents de la Kadei, est orienté W-E ; il a une longueur de 180 km, sa pente moyenne est inférieure à 0,2/1 000. La Doume a pour principaux affluents le Touki en rive gauche long de 90 km et le Mbang en rive droite long de 60 km. La physionomie du bassin est comparable à celle du Nyong supérieur et on rappellera la difficile limite de partage des eaux entre Abong-Mbang et Doume (zone de capture).

Après Mindourou, la Kadei prend *grosso modo* une direction N-E jusqu'à Pana puis une direction Est jusqu'à la frontière centrafricaine où elle reçoit les eaux de la Boumbe II, le premier affluent important de rive gauche qui marque la frontière entre

Cameroun et Centrafrique. La Boumbe II est longue de 150 km et a pris sa source à 950 m d'altitude.

Entre les confluents de la Doume et de la Boumbe II, la Kadei n'a perdu que 18 mètres d'altitude, soit une pente voisine de 0,2/1 000.

Trente kilomètres après le passage de la frontière, la Kadei reçoit, toujours en rive gauche, la Boumbe I, rivière sœur de la précédente, de même importance (longueur 160 km) et issue du même endroit.

La Kadei va rapidement quitter les rebords du plateau du Centre-Sud pour rejoindre la cuvette congolaise. La pente est passée à 2/1 000 sur les 50 km qui suivent le passage de la frontière. Le lit de la rivière est entrecoupé de rapides, il s'élargit, de nombreuses îles rocheuses apparaissent. La Kadei traverse les gorges de Yamene dont les escarpements ont jusqu'à deux cents mètres de haut et où chutes et rapides se succèdent (environ 30 m de dénivelée). La Kadei atteint Nola à 383 m pour former la Sangha avec la Mambere ; elle a parcouru depuis sa source 570 km, laquelle est à 820 km de Ouesso.

1.2.2. Le système Dja-Ngoko

D'importance presque comparable, en superficie drainée, à la Sangha, la Ngoko conflue en rive droite un kilomètre en amont de Ouesso ; la Sangha devient alors une puissante rivière assagie de 800 à 1 000 m de large.

Mais c'est à 990 km de Ouesso que la Ngoko, appelée Dja, a pris sa source. La source du Dja est située dans le département du Haut Nyong à 760 m d'altitude, au sud-est d'Abong-Mbang et au nord de Lomie. On retrouve le paysage de forêt dense recouvrant le plateau du Centre Sud que l'on a décrit sur le Nyong supérieur ou la moyenne Kadei. En traversant la piste Abong-Mbang-Lomie (km 950), le Dja prend une direction générale E-W puis reçoit en rive droite le Mev au km 900 de Ouesso, long de 45 km (alt. cft. 641), le Ndjou au km 870, long de 50 km et le Mpoo au kilomètre 840 long de 65 km (alt. cft. 627 m). Ces affluents, comme le haut-Dja, présentent les mêmes caractéristiques morphologiques et diffèrent du Haut-Nyong par l'absence de bas-fonds marécageux ; le réseau à chevelu en arête de poissons paraît plus jeune. Seule la vallée du Dja est bordée par endroits de quelques zones inondables. La pente du cours d'eau sur ce bief de 60 km est de 0,23/1 000. Du confluent du Mpoo au confluent de la Lobo, la pente est de 0,2/1 000 et les affluents de rive droite présentent souvent des bas-fonds et une analogie avec le bassin du Nyong supérieur en particulier du Lon Mafok.

Le Dja est à 617 m d'altitude à Somalomo (km 800) ; au niveau du méridien de Bengbis, il oblique vers le sud et reçoit la Lobo au kilomètre 730 à 602 m d'altitude. Cet affluent, long de 120 kilomètres est issu de la région de Sangmélima (altitude 700 m) où il reçoit l'Afamba qui alimente cette ville en eau ; la Lobo coule vers le Nord sur la moitié de son cours puis, après un coude à 90°, plein Est pour rejoindre le Dja. C'est cette partie du bief de la Lobo qui semble avoir été empruntée par le Dja pour rejoindre le Niong par le Soo à une époque plus ou moins reculée ; la zone de capture s'est aujourd'hui déplacée vers Zoetele dans la région d'Abangok (cf chapitre Hydrologie du Nyong 1.2.3).

Cette ancienne capture paraît d'autant plus probable que le Dja va prendre une direction opposée à celle du Dja supérieur pour rejoindre la cuvette congolaise. Il coule à partir de Nyobesse d'ouest en est. Il reçoit là en rive droite la Libii (km 690) longue de 90 km et enrichie du Ndou.

Ce changement de direction s'accompagne d'un changement de pente et de l'apparition des premiers rapides au nord de Djoum. Le Dja s'enrichit des apports en rive droite de la Menyii et de la Momo. A Bi (km 530), le Dja est à 533 m, soit depuis le confluent de la Lobo une pente de 0,67/1 000, autrement dit des biefs très calmes entre les zones de rapides. De Bi au bac de Ngoïla (km 435) la pente est même inférieure à 0,2/1 000 ; toute la dénivelée est localisée dans les rapides. En rive gauche, des affluents plus courts drainent la Réserve du Dja et la région de Lomi (Long, Makoum, Myin, Edje).

Une vingtaine de kilomètres après le bac de la piste de Ngoïla, dernier accès routier du Dja, côté Cameroun, avant Moloundou (alt. 519), la rivière s'oriente plein sud sur cinquante kilomètres environ. Elle reçoit en rive droite la Mye. Les zones de rapides se multiplient, le Dja par endroits forme plusieurs bras et de multiples îlots rocheux plus ou moins marqués par la forêt dense. Entre le bac de Ngoïla et l'aval du bief sud-nord, la pente augmente (0,86/1 000). Elle augmente encore sur les 60 kilomètres suivants qui mènent le Dja par une direction générale S-E au sommet des chutes de Nki (alt. 384 m). La pente moyenne y est de 1,25/1 000.

Les très belles chutes de Nki ont une hauteur totale de 29 m. On notera que le bas des chutes à 355 m d'altitude n'est plus qu'à 29 m au-dessus de Ouesso éloigné encore de 295 km. Trente kilomètres en aval, la frontière congolaise est atteinte et le Dja franchit les trois séries de rapides des Chutes Cholet qui ont pour nom d'amont en aval : Alassion, Apan, Edouadouang. Les Chutes Cholet marquent la limite amont de la navigation fluviale sur le Dja en provenance de Ouesso. Le poste de Ngbala (ex Fort Soufflay) est atteint quarante kilomètres plus loin. Venant du territoire congolais, la Koudou grossie de la Sembe constitue alors l'affluent le plus important depuis la source de Dja.

Avant son passage à Moloundou (km 138), le Dja reçoit en rive gauche la puissante Boumba exclusivement camerounaise dont on reparlera plus loin.

Le Dja qui devient Ngoko s'enrichira encore des apports congolais de la Como longue de 90 km au km 125 et de la Pandama (km 35), et côté camerounais, des apports de la Djombi avant de rejoindre la Sangha à Ouesso.

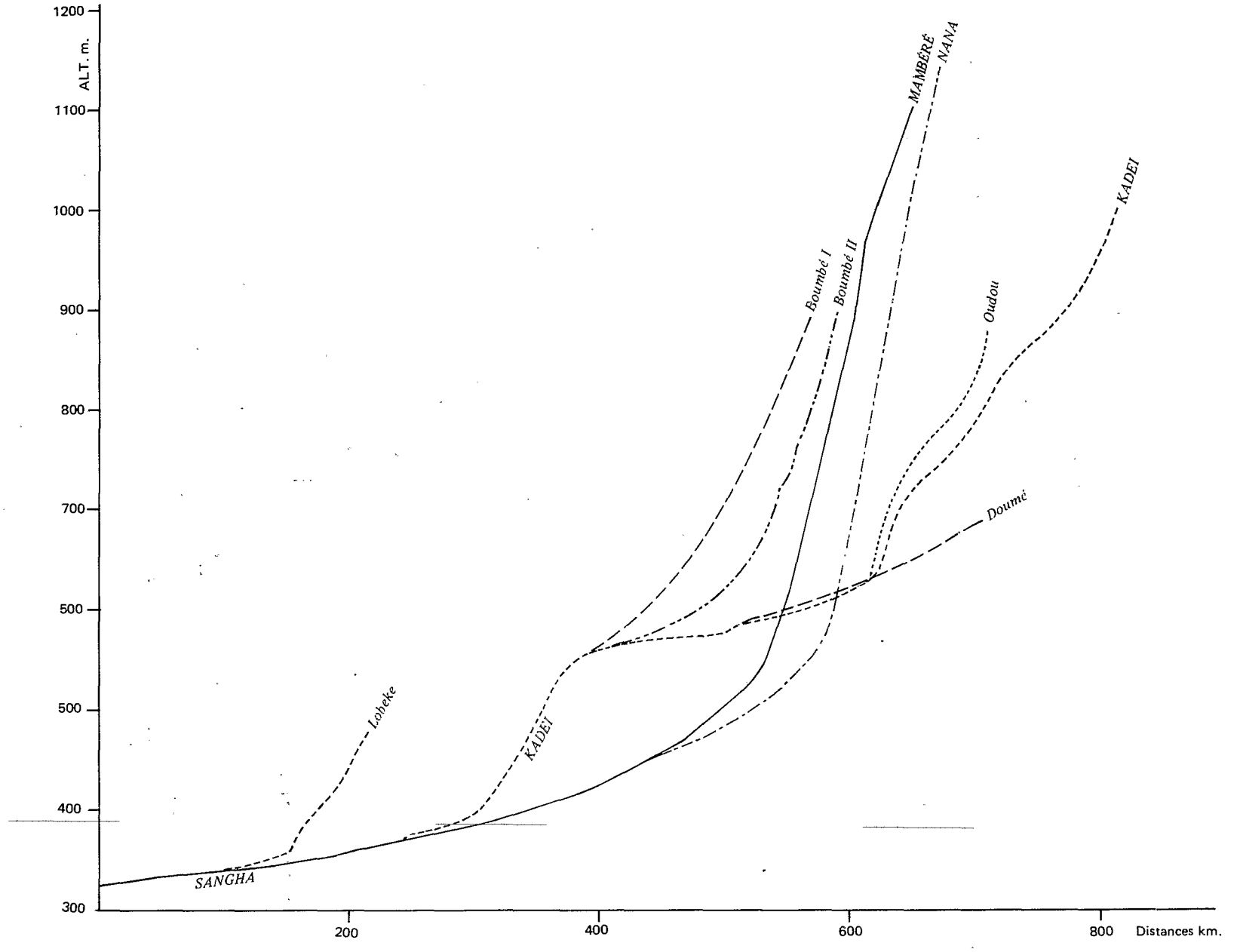


Fig. 7-2. – Sangha à Ouesso. Profil en long.

La Boumba longue de 530 km prend sa source dans le Haut-Nyong à une altitude de 780 m au contact des sources du Nyong. Elle a alors pour nom Mpomo puis Mpouop. Elle prend une direction générale WNW-ESE jusqu'à Biwala et reçoit en quittant le plateau du Centre-Sud ses principaux affluents en rive droite. Ce sont la Medoum (km 293), la Bouda (km 273) et le Ndjwe (km 238). C'est un peu avant le confluent de la Medoum (alt. 526) qu'apparaissent les premiers rapides ; chutes et rapides sont plus importants avant le confluent du Ndjwe (481 m), gros affluent venu du nord. A Biwala (km 221), la Boumba est à 467 m d'altitude et prend une direction sud-sud-est. Près de Bangue, elle reçoit à 425 m d'altitude en rive droite la rivière du même nom qui arrose Yokadouma et a un cours nord-sud. Plus au sud (km 91), elle reçoit encore en rive droite à l'altitude 395 m la Lokomo, longue de 120 km qui draine mal des zones très marécageuses.

Son affluent principal conflue peu en aval de la Lokomo en rive gauche (km 67) ; c'est le Bek [1] qui prend sa source à l'est de Lomie et a plus de 200 kilomètres de long.

La Boumba rejoint le Dja à environ 335 m d'altitude. De toutes les rivières qui coulent sous la grande forêt congolaise, la Boumba est celle qui draine les régions les plus isolées et les moins peuplées du Cameroun.

Les profils en long sont donnés dans les figures 7.2 et 7.3. On relèvera les ruptures de pente communes aux branches principales du réseau de la Sangha marquant le passage de l'Adamaoua au plateau du Centre-Sud pour le nord du bassin (Kadei) et du plateau du Centre-Sud à la cuvette congolaise (Dja, Boumba, Kadei). On notera que pour la Mambere le passage de l'Adamaoua à la cuvette congolaise se fait directement.

(1) appelé aussi Beuk ou Bock.

1.3. L'environnement climatique

L'environnement climatique des bassins des tributaires du Congo correspond pour l'essentiel à ce qui a été déjà étudié dans le détail dans les chapitres relatifs au climat des bassins côtiers du Sud Cameroun et des régions est du bassin de la Sanaga.

Quelques différences minimes pourront être relevées ; elles tiennent soit à l'altitude moins élevée atteinte dans la cuvette congolaise, soit au caractère plus continental des bassins, soit encore au caractère équatorial plus marqué pour les régions sud.

Une étude exhaustive des paramètres climatiques apporterait donc peu de chose et un simple rappel des valeurs caractéristiques du climat précèdera une rapide analyse du régime des précipitations.

1.3.1. Quelques caractéristiques climatiques

Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 23° C et 24° C pour la plus grande partie du bassin de la Sangha, concernant en particulier le plateau du Centre-Sud et les régions sud de l'Adamaoua et située à l'ouest d'une ligne Souanke-Bouar. Seul un « îlot », aux sources de la Mambere et de la Nana, voit sa température tomber en dessous de 23° C.

A l'est d'une ligne Moloundou-Berberati, la température moyenne annuelle dépasse 25° C et elle approche 26° C à Ouesso. Continentalité, altitude plus basse expliquant cette augmentation de température d'ouest en est.

Le tableau 7.1. donne les températures moyennes mensuelles et annuelles des principales stations météorologiques du bassin.

L'amplitude thermique annuelle entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid est la plus faible du Cameroun. Elle est de 2° C, ou inférieure, pour

Tableau 7.1. – Températures moyennes mensuelles.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ouesso	25.6	26.0	26.6	26.6	26.5	25.5	24.9	24.9	25.1	25.3	25.2	25.2	25.6
Souanke	23.7	24.1	24.7	25.0	24.8	23.9	23.1	22.9	23.7	23.9	24.0	23.8	24.0
Berberati	24.5	25.4	25.7	25.6	25.9	24.2	23.7	23.7	24.0	23.3	24.5	24.2	24.6
Bouar	25.0	25.7	25.2	24.6	23.9	23.0	22.3	22.1	22.3	22.8	24.0	24.7	23.8
Abong-Mbang	22.8	23.8	24.4	24.4	23.9	23.5	22.4	22.5	23.3	23.4	23.5	22.9	23.4
Sangmélima	23.7	24.5	24.3	24.2	23.9	23.4	22.6	22.2	23.1	23.2	23.5	23.3	23.5
Betare-Oya	23.5	24.5	25.0	24.4	23.8	22.8	22.2	22.2	22.7	23.1	23.5	23.3	23.4
Batouri	23.4	24.6	25.1	25.2	24.6	23.7	22.8	22.8	23.1	23.7	23.9	23.3	23.8

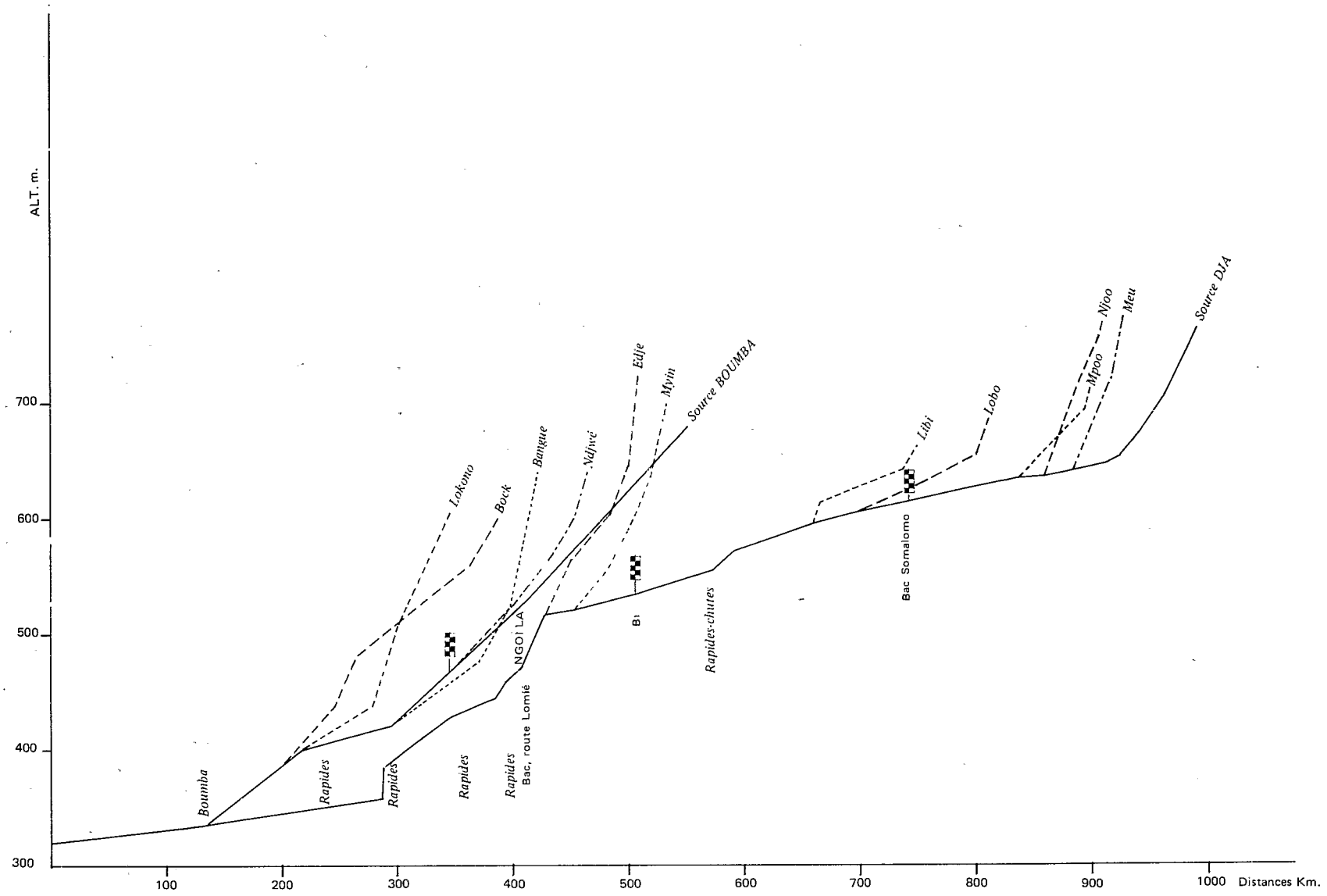


Fig. 7.3. – Le Dja, la Boumba, la Ngoko.

tout le bassin de Dja-Ngoko et au sud d'une ligne Abong-Mbang-Nola, inférieure à 2,5° C au sud d'une ligne Bertoua-Berberati ; elle est encore inférieure à 4° C aux sources de la Mambere dans l'Adamaoua. Ces faibles amplitudes sont caractéristiques de la forêt congolaise. L'amplitude thermique diurne moyenne varie de 9 à 11° C pour toute la zone purement forestière en augmentant d'ouest en est. Elle augmente aussi du sud au nord de 10 à 13° C.

Les températures minimales les plus basses sont observées en décembre ou janvier sur la majeure partie du bassin de la Sangha et sont de l'ordre de 20° à 17° C entre Ouesso et Abong-Mbang. Au sud-ouest d'une ligne Batouri-Nola un minimum secondaire apparaît pendant la saison humide ; ce minimum de saison humide (en juillet-août au sud d'une ligne Yaoundé-Yokadouma, en octobre au nord) devient même le minimum principal dans l'ouest du bassin du Dja (Sangmélima).

Les moyennes mensuelles des températures maximales dépassent 32° C en mars ou février à l'est d'une ligne Bouar-Ouesso ; le maximum diminue vers l'ouest et est même inférieur à 30° C à Abong-Mbang, Sangmélima et Lomie ; il est alors observé en mars ou avril.

La zonalité d'ouest en est sur les moyennes mensuelles des températures maximales est particulièrement nette sur le bassin du Dja au sud du parallèle 4°. On passe des régions de Sangmélima, Lomie où la température moyenne mensuelle des maximums (Tx) ne dépasse jamais 30° C à celles de Batouri, Yokadouma où Tx est supérieur à 30° C pendant 4 à 5 mois, puis de Berberati-Moloundou où la période de maximums supérieur à 30° C est de 6 à 7 mois, pour arriver enfin à Ouesso où cette période est de 8 à 9 mois.

L'humidité relative est toujours élevée ; ses variations montrent une zonalité de latitude. Au sud du parallèle 4°, on retrouve les conditions hydrométriques des fleuves côtiers ; au nord, les conditions d'humidité des bassin de la Kadei et de la Mambere peuvent s'identifier à celles du bassin de la Sanaga.

Dans le 1er cas, de Sangmélima à Yokadouma et Ouesso, l'humidité relative moyenne du mois le plus sec est toujours supérieure à 70 % et celle du mois le plus humide varie de 80 à 90 % ; la valeur moyenne annuelle est supérieure à 80 % ; les maxima mensuels d'humidité relative sont toujours supérieurs à 90 % ; les minima mensuels inférieurs à 55 % ne sont jamais observés au sud de Yokadouma. Ces minimums sont les plus faibles en février ou mars.

Au nord du parallèle 4°, la variation est plus rapide avec la latitude mais aussi l'altitude. L'hygrométrie moyenne du mois le plus humide est encore comprise entre 80 et 85 % mais celle du mois le plus sec varie de 50 à 70 % et même de 30 à 50 % aux sources de la Mambere. L'humidité relative moyenne annuelle tombe de 80 % à moins de 70 % à l'extrême nord du bassin. Aux limites septentrionales du bassin, on n'observe plus que 6 à 7 mois pour lesquels la moyenne mensuelle des maximums d'humidité relative dépasse 90 %. Corrélativement à cette diminution de l'hygrométrie, on observe au nord de Batouri au moins 6 à 5 mois pour lesquels la moyenne des minimums est inférieure à 55 % ; on passe même à 8 ou 7 mois au nord de Bouar. Dans cette dernière zone, l'humidité du mois le plus sec varie de 25 % à moins de 20 % (en janvier) ; entre Batouri et Betare-Oya, l'humidité minimale mensuelle la plus faible est comprise entre 45 et 30 % ; elle est observée en février.

La tension de vapeur moyenne annuelle est de l'ordre de 22 à 24 millibars sur la majeure partie du bassin de la Sangha sauf au nord où elle tombe à 18 millibars.

L'évaporation Piche moyenne annuelle est inférieure à 500 mm à Lomie et à 750 mm au sud du parallèle 4° ; mais elle grimpe très vite pour atteindre 1 750 mm aux sources de la Mambere.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de TURC est comprise entre 1 150 et 1 300 mm sur le bassin de Dja-Ngoko et entre 1 300 et 1 500 mm sur le bassin de la Kadei ; la partie centrafricaine du bassin de la Sangha a une évapotranspiration potentielle comprise entre 1 300 et 1 600 mm.

L'insolation moyenne annuelle augmente d'ouest en est et du sud au nord. Le bassin du Dja supérieur jusqu'à Souanke n'a que 1 500 à 1 750 heures d'ensoleillement effectif par an.

La zone Bertoua-Batouri-Yokadouma-Moloundou-Ouesso reçoit un ensoleillement compris entre 1 750 et 2 000 heures par an. Sur le plateau de l'Adamaoua, cet ensoleillement est compris entre 2 250 et 2 500 heures par an.

On notera que le faible ensoleillement des régions ouest du bassin forestier de la Sangha par rapport à la région de Ouesso est à rapprocher de l'observation d'une petite saison sèche mieux marquée en juillet-août à l'ouest qu'à Ouesso, ces mois étant par ailleurs les mois de plus faible insolation.

L'observation des **vents** confirme l'importance des calmes en zone de forêt équatoriale ; les vents sont le plus souvent de secteur sud à ouest. Au nord, l'Harmattan se fait ressentir saisonnièrement (Bouar) et des vents de secteur Nord et Est peuvent être observés jusqu'à Ouesso dans la vallée de la Sangha.

1.3.2. Les précipitations

La zonalité climatique latitudinale se retrouve bien entendu dans le régime des précipitations. Cependant, la majeure partie du bassin camerounais de la Sangha est située au sud du parallèle 4°30 et tout le bassin Dja-Ngoko est au sud du parallèle 4°, ce qui donne une prédominance du climat équatorial, de transition ou non, dans lequel on mettra en évidence une zonalité d'ouest en est.

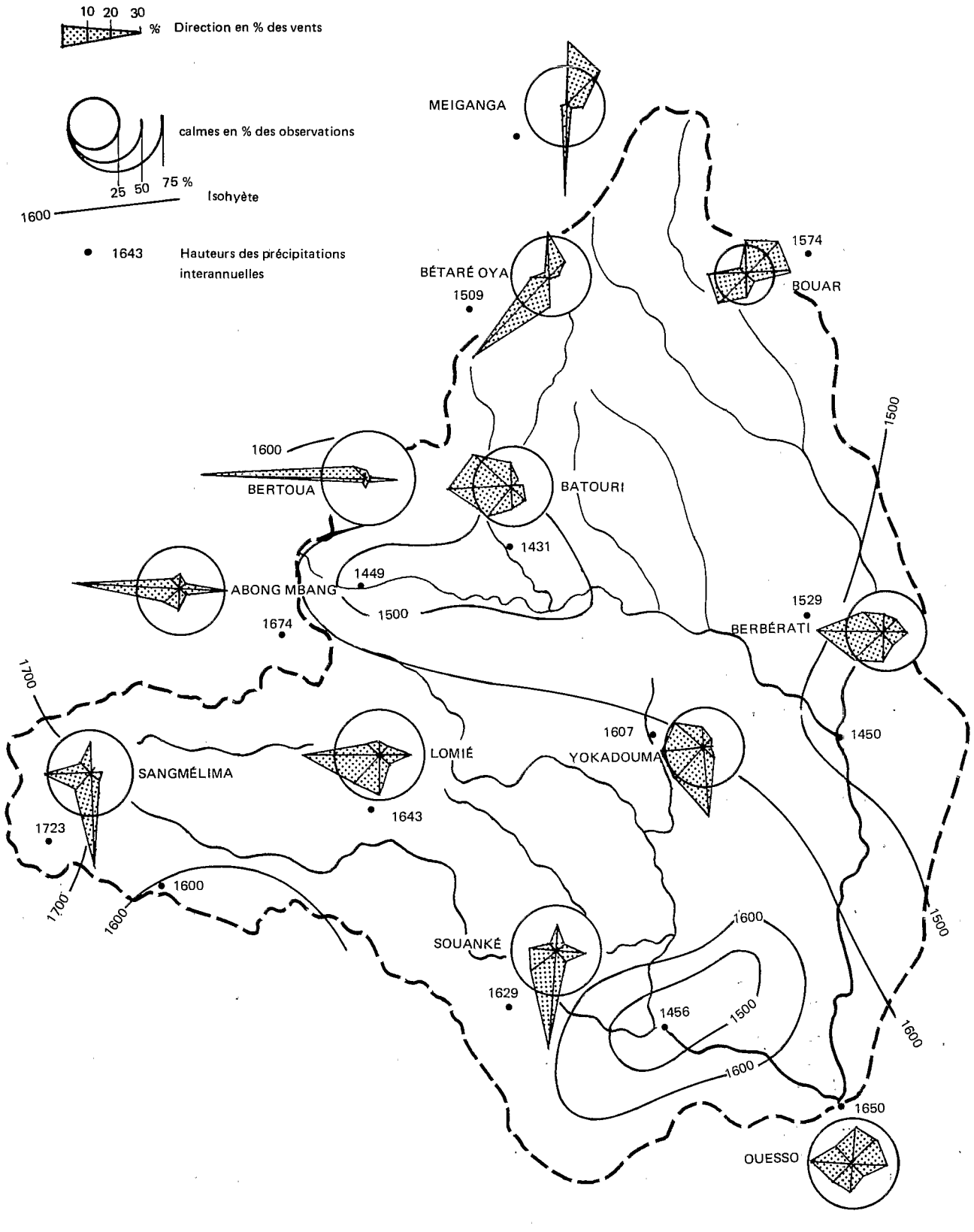


Fig. 7-4. – Vents et précipitations annuelles sur le bassin de la Sangha.

Tableau 7.2. – Répartition statistique des hauteurs de précipitations annuelles.

Station	Nb. années	Années humides			Moyenne	ET	Années sèches			C_V
		20 ans	10 ans	5 ans			5 ans	10 ans	20 ans	
Abong-Mbang	45	2001	1929	1841	1673	199	1506	1418	1346	0.119
Sangmélima	42	2158	2062	1950	1723	265	1500	1384	1288	0.154
Djoum	29	1988	1903	1800	1600	237	1400	1296	1211	0.148
Doume	24	1815	1735	1655	1449	223	1250	1163	1083	0.154
Batouri (Aéro)	43	1731	1665	1585	1431	183	1278	1197	1131	0.128
Betaré-Oya	37	1801	1737	1659	1509	178	1359	1280	1216	0.118
Lomie	44	2113	2010	1883	1643	286	1402	1276	1172	0.174
Yokadouma	43	2058	1959	1838	1608	274	1377	1256	1157	0.170
Moloundou	27	1752	1687	1607	1456	180	1304	1224	1159	0.124
Ouesso	31	2012	1936	1843	1666	211	1489	1396	1320	0.127
Souanke	27	2040	1950	1840	1629	250	1420	1310	1220	0.153
Bouar	24	1957	1851	1725	1473	295	1230	1095	989	0.200

Les hauteurs de précipitations interannuelles sont comprises entre le maximum de Sangmélima (1 723 mm) et le minimum de Batouri Aérodrome (1 431 mm), soit une variation importante de près de 300 mm. Mais les variations spatiales de la pluviométrie annuelle ne semblent pas répondre à une zonalité déterminée. Ainsi, du sud au nord du bassin de la Sangha, on passe de 1 666 mm à Ouesso à 1 574 mm à Bouar ; de l'ouest à l'est, on passe de 1 723 mm à Sangmélima à 1 698 mm à Salo (pour 15 ans de données seulement il est vrai). Mais on relève, de plus, le voisinage des 1 456 mm de Moloundou avec les 1 650 mm de Ouesso, des 1 449 mm de Doume avec les 1 674 mm d'Abeng-Mbang, des 1 450 mm de Nola avec les 1 607 mm de Batouri. Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de dire ce qui détermine ces variations. Topographie, végétation, hydrographie (les confluents ?). L'analyse fréquentielle des échantillons disponibles a abouti aux déterminations de hauteurs de précipitations de différentes périodes de retour en années sèches ou humides. Ces valeurs sont indiquées dans le tableau 7.2. On a indiqué également les écarts-types (ET) et le coefficient de variation (Cv).

L'examen de ce tableau montre que l'**irrégularité interannuelle** est plus forte suivant une large bande centrale couvrant le bassin de la Sangha. De Sangmélima à Yokadouma, en passant par Djoum, Doume, Lomie, le coefficient de variation est de l'ordre de 0,15-0,17 alors qu'il n'est plus que de 0,12-0,13 tant au nord, nord-ouest (Abong-Mbang, Batouri, Betare-Oya) qu'au sud (Moloundou, Ouesso). Ainsi l'irrégularité interannuelle pourrait être plus forte en climat équatorial de transition qu'en climat tropical de transition au nord et qu'en climat sub-équatorial au sud.

La Répartition des pluies dans l'année ou l'étude des Précipitations mensuelles présente des variations plus facilement interprétables. L'influence équatoriale se traduit par l'apparition de quatre saisons dans le régime des précipitations.

En effet presque toutes les stations du bassin de la Sangha présentent l'aspect caractéristique en « dos de chameau » du régime équatorial avec deux maxima et deux minima bien marqués. Le second maximum est toujours le plus puissant comme on l'a vu pour les autres régions méridionales du Cameroun. Il se situe en octobre pour tout le bassin du Dja et la moyenne partie du bassin de la Kadei. Septembre

devient le mois le plus pluvieux à Betare-Oya, au nord, et à Nola à l'est. J.B. Suchel (1972) indique qu'à l'est du méridien 16° ce maximum apparaît irrégulièrement d'août à octobre suivant les stations (maximum en août à Bouar). Au maximum mensuel correspond la « grande saison des pluies » plus abondante mais plus courte (2 à 3 mois) que la « petite saison des pluies » qui s'étend de mars à juin.

La « grande saison sèche » est observée de novembre à février, mais elle n'est vraiment marquée qu'en décembre et janvier. En fait si l'on s'en tient à la définition du « mois sec » [1] les mois dits de saison sèche entre 25 et 50 mm pourraient encore être considérés comme humides d'autant que l'hygrométrie reste forte. Il en est de même pour la « petite saison sèche » et on peut répéter ici encore que la caractéristique essentielle du climat du Cameroun méridional est son humidité ; cette caractéristique tient davantage à une répartition des pluies équilibrée dans l'année qu'à un régime de précipitations présentant une exceptionnelle abondance.

(1) Le mois sec, suivant Gaussen, est défini par Pmm < 2 t°c.

Tableau 7.3 a. – Précipitations mensuelles et annuelles sur le bassin de la Sangha.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Abong Mbang													
Moy.	26.4	58.9	135.0	166.8	212.5	178.0	86.9	104.1	257.1	304.7	110.6	36.2	1673.5
Q1	43.9	85.9	173.7	201.2	239.8	224.4	112.5	145.8	315.8	356.0	140.4	53.7	1825.5
Q3	0.8	20.6	87.5	132.2	174.4	132.8	53.7	62.4	175.8	245.2	75.4	7.3	1516.8
ET	26.0	46.9	64.0	47.8	59.5	65.1	53.8	98.1	87.9	51.1	51.1	34.1	199.7
Sangmélima													
Moy.	42.3	63.0	154.1	197.0	210.1	165.9	83.3	92.0	241.6	282.8	147.6	44.4	1723.0
Q1	67.2	82.9	190.7	228.3	257.3	200.8	126.3	118.8	298.9	316.5	200.0	74.9	1922.6
Q3	13.8	35.0	103.0	159.3	156.7	120.5	35.1	42.5	199.8	237.7	97.5	21.2	1568.0
ET	32.2	40.0	82.0	62.9	76.4	68.4	64.0	63.1	74.2	67.7	62.8	32.6	265.0
Djoum													
Moy.	36.6	60.2	129.6	177.1	197.1	158.0	71.0	79.5	218.7	263.6	139.9	51.4	1599.6
Q1	53.0	77.9	161.2	225.2	233.8	184.6	95.8	107.9	297.0	312.4	185.4	73.3	1791.8
Q3	12.9	36.9	93.5	135.2	164.6	116.7	23.0	34.0	119.7	190.1	82.0	31.8	1407.7
ET	30.3	41.8	54.4	57.3	51.5	74.1	57.3	60.4	109.6	86.2	66.1	27.5	236.8
Doume													
Moy.	27.6	51.7	116.4	139.7	187.1	166.1	89.6	91.6	190.2	251.7	87.2	25.9	1449.1
Q1	54.3	80.9	139.9	168.7	219.7	190.6	126.6	132.0	225.9	319.5	118.0	32.0	1606.7
Q3	5.7	15.8	78.5	89.0	130.5	131.8	48.8	43.0	129.7	196.2	42.5	0.0	1305.2
ET	28.5	47.8	56.8	77.6	81.5	72.0	58.9	56.8	74.4	79.5	53.3	33.4	223.2
Batouri (Aero)													
Moy.	27.3	37.9	102.6	127.6	158.0	151.6	112.8	130.6	210.9	238.7	96.5	34.4	1431.4
Q1	39.0	59.1	126.1	160.9	195.4	189.8	157.1	162.0	268.2	280.2	136.3	58.6	1589.5
Q3	8.3	13.4	68.3	97.1	120.9	98.1	61.8	88.6	163.4	184.0	50.9	8.4	1300.5
ET	25.9	32.8	51.7	50.0	57.5	66.1	67.6	60.2	73.0	64.2	55.8	36.3	182.8
Betare-Oya													
Moy.	9.7	23.8	70.6	127.1	161.4	170.2	161.1	112.1	256.0	247.0	51.4	10.5	1508.8
Q1	18.1	32.6	91.8	159.7	195.7	217.6	207.0	272.3	282.2	278.2	79.0	18.1	1649.5
Q3	0.0	5.1	33.3	95.7	120.5	117.2	114.8	153.1	218.3	201.3	19.5	0.0	1379.8
ET	14.4	24.1	43.1	43.4	58.5	70.3	63.8	73.6	72.4	70.0	39.5	13.5	178.4
Lomie													
Moy.	39.7	56.5	124.9	167.5	187.8	141.6	91.2	132.3	257.8	263.0	227.4	45.4	1642.6
Q1	60.0	76.9	159.0	206.2	230.5	189.2	123.9	174.1	307.4	324.0	156.5	62.3	1782.1
Q3	11.3	24.8	75.5	123.0	147.5	92.7	45.0	71.2	187.0	204.6	92.5	27.0	1444.9
ET	36.5	41.9	61.6	56.9	51.3	64.1	59.6	76.4	93.0	83.4	49.2	30.8	286.7

Tableau 7.3 b. – Précipitations mensuelles et annuelles sur le bassin de la Sangha (suite).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Yokadouma													
Moy.	29.6	49.7	126.5	156.1	171.6	161.1	122.0	146.7	236.7	238.6	110.0	47.1	1607.5
Q1	39.6	65.0	156.2	183.8	212.2	201.3	169.4	193.6	293.7	307.1	149.0	58.9	1800.2
Q3	7.1	26.8	84.2	121.0	127.6	119.1	58.6	70.0	174.4	184.2	72.9	17.2	1403.4
ET	25.4	33.3	61.2	53.7	60.1	64.8	72.7	78.4	95.5	74.4	49.7	37.6	274.7
Mouloundou													
Moy.	53.2	77.5	133.9	152.5	149.5	132.6	58.4	95.7	190.0	200.0	143.7	69.5	1455.7
Q1	85.9	107.4	166.1	179.7	188.5	167.5	91.1	137.4	269.5	233.3	171.1	87.3	1576.4
Q3	19.3	45.6	97.4	115.5	88.7	86.4	24.9	58.3	138.8	173.0	120.0	38.8	1318.0
ET	49.5	47.1	53.1	53.0	79.9	65.7	50.5	46.2	79.0	53.6	38.9	38.1	180.6
Bouar (31 ans)	5	27	75	122	139	174	198	316	282	197	36	4	1574
Berberati (31)	20	47	89	140	159	159	135	195	221	257	85	23	1529
Nola (25)	26	44	108	133	151	167	138	161	199	176	109	39	1450
Salo (15)	29	63	146	154	154	155	149	195	214	236	149	54	1698
Souanke (27)	52.9	86.3	173.9	172.7	210.8	109.4	71.1	93.9	220.2	251.1	168.4	54.2	1629.4
Ouesso (41)	59.8	89.8	134.4	135.5	179.2	135.2	98.5	138.2	225.1	232.0	157.5	78.4	1650.7

La « petite saison sèche » constitue le trait le plus original de la région par rapport à celles environnantes. En effet, elle apparaît comme moins marquée à l'extrême sud-est du pays (Ouesso, Moloundou), de basses latitudes que pour de plus hautes latitudes (Sangmélima, Yaoundé). Le caractère équatorial est paradoxalement plus net alors que l'on s'est davantage éloigné de l'équateur. La figure 7.5 donnant les histogrammes des précipitations mensuelles est particulièrement parlante.

Ainsi dans cette bande méridionale, au sud du parallèle 5°, une zonalité méridienne, qui sous-entend la distance à l'Océan, paraît plus déterminante que la zonalité en latitude dont le rôle ne redevient majeur qu'au nord de Betare-Oya. De l'ouest vers l'est la petite saison sèche s'atténue au point de se transformer en un simple palier en RCA. Le fait d'une petite saison sèche plus marquée au parallèle 4° par 12° de longitude qu'au parallèle 1° 30 par 16° de longitude est à rapprocher, avec l'influence océanique, du décalage en latitude (d'au moins 3°) de l'influence équatoriale en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. Il s'agit là encore d'une des conséquences de la position charnière du Cameroun.

L'étude statistique des précipitations journalières a été faite en ajustant à l'échantillon d'années complètes une distribution de Pearson III. La prédétermination d'averses journalières de différentes périodes de retour est indiquée dans le tableau 7.4 ci-après.

Tableau 7.4. – Averses journalières de différentes périodes de retour.

Station	N années observ.	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Betare-Oya	26	64.3	74.5	88.0	98.3	108.6	122.4	132.8
Batouri	34	70.6	81.7	96.4	107.6	118.8	133.6	144.9
Abong-Mbang	30	75.5	87.4	103.4	115.5	127.7	143.9	156.2
Sangmélima	27	73.0	84.6	100.0	117.7	123.5	139.1	150.9
Djoum	9	75.2	87.2	103.2	115.5	127.9	144.4	157.1
Lomie	25	78.4	91.1	108.1	121.0	134.0	151.3	164.4
Yokadouma	27	75.8	88.1	104.9	117.7	130.5	147.8	160.9
Moloundou	13	70.0	81.0	95.6	106.6	117.7	132.4	143.5
Ouesso	31	85.2	99.8	119.3	134.2	149.2	169.1	184.2

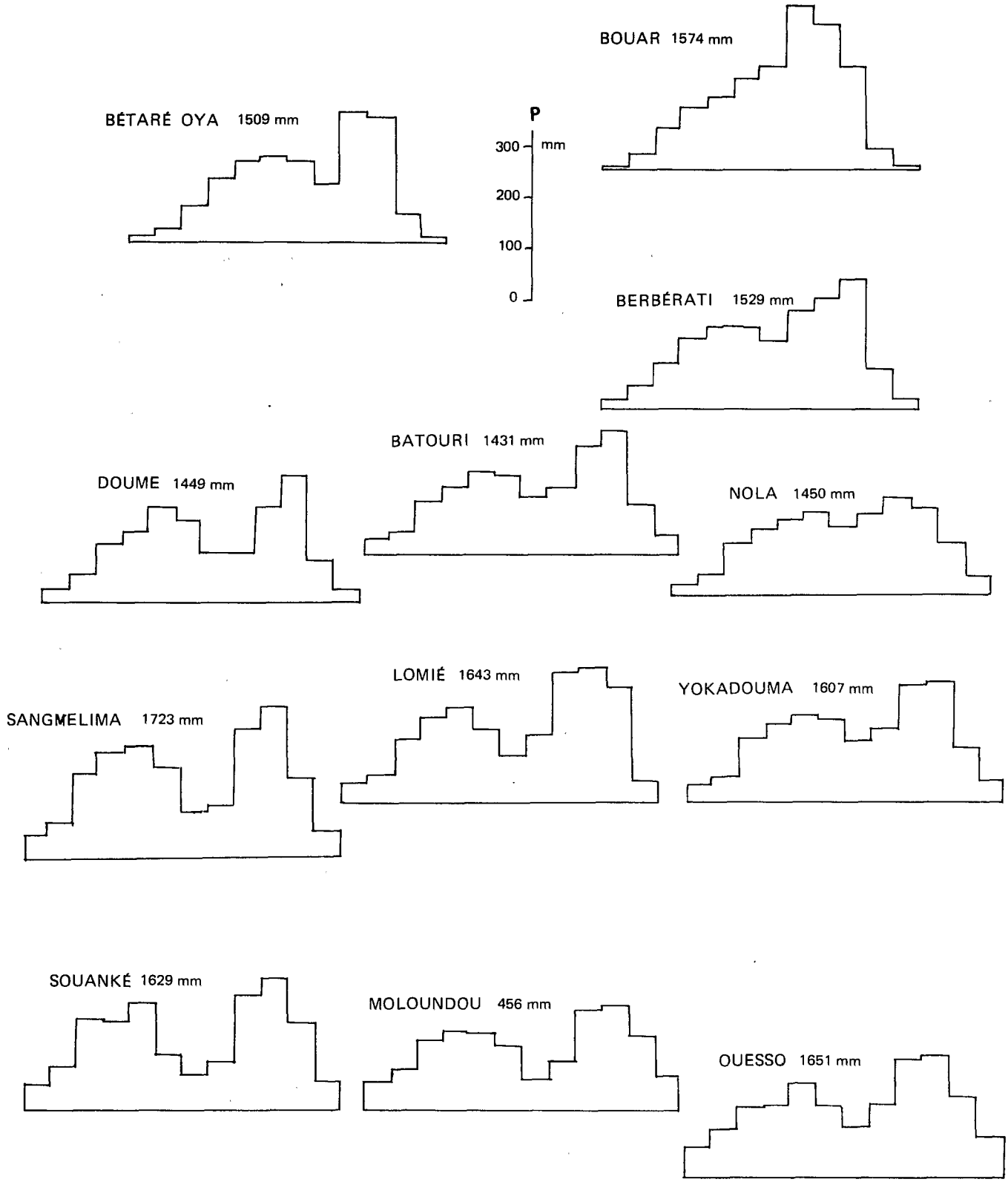


Fig. 7.5. – Bassin de la Sangha. Précipitations moyennes mensuelles.

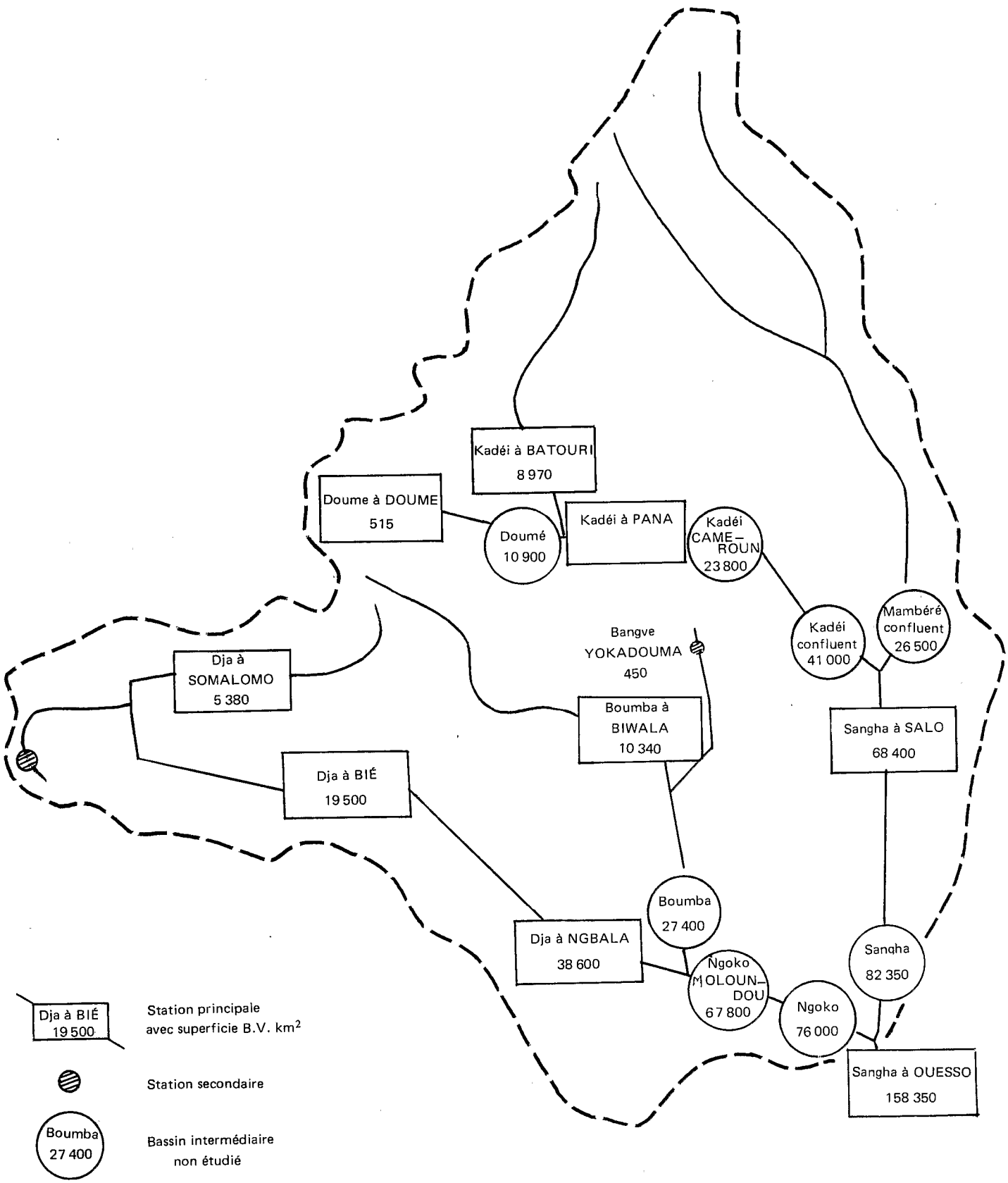


Fig. 7.6. – Schéma du réseau hydrologique du bassin de la Sangha.

Pour les stations longue durée du sud et de l'est, on note des averses journalières plus élevées pour une même période de retour que dans les régions du nord-ouest du bassin.

2. CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS ET DONNÉES DE BASE

2.1. Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques

Les observations de neuf stations seront étudiées ici. Six sont situées au Cameroun, une en Centrafrique et deux au Congo. Deux autres stations sont citées pour mémoire (l'Afamba et la Banque), leurs observations trop récentes n'ayant pas été exploitées.

Les caractéristiques géométriques de ces bassins sont données ci-après (tableau 7.4 a).

On peut souligner l'allongement extrême du bassin du Dja-Ngoko correspondant à la longueur exceptionnelle du cours d'eau et dont la grande boucle a été prise en compte pour la détermination du périmètre du bassin servant au calcul du coefficient de compacité.

Les pentes sont faibles pour les grands bassins et même très faibles pour l'ensemble Dja-Ngoko d'une part, Sangha supérieure d'autre part... Plateau du Centre-Sud et passage progressif à la cuvette congolaise expliquent la mollesse des profils hypsométriques... On signalera cependant les deux ressauts provoqués au nord entre l'Adamaoua (au sens large) et le plateau du Centre-Sud, et au sud-ouest entre ce même plateau et la cuvette congolaise.

La carte schématique proposée dans la figure 7.6 donne les différents sous-bassins de la Sangha à Ouesso, avec indication des superficies des bassins-versants, ainsi que les bassins versants déterminés par les stations hydrologiques dont les observations sont traitées ici. La répartition spatiale de ces stations, leur importance dans l'écoulement sont très hétérogènes ; nous l'avions souligné en introduction de ce chapitre sur les tributaires camerounais du bassin du fleuve Congo. La station de l'Afamba, d'un intérêt très marginal [1], ainsi que celle de la Bangue [2] ont seulement été rappelées ici.

(1) Station mise en service dans le cadre d'une étude des Étiages destinée aux Études d'adduction d'eau de Sangmélima (Olivry 1976 f).

(2) Même type d'étude que pour l'Afamba (Nana Tchoudja 1979, Carre 1981).

Tableau 7.4 a.

	Superf. km^2	Périm. km	Forme Kc	Rectangle Equivalent L	Rectangle Equivalent l	Alt. en m max	Alt. en m min	I_G m/km
Dja à Somalomo	5 380	340	1.29	126	43	800	603	1.43
Afamba à Sangmélima	191	60	1.22	21	9	1 013	660	16.2
Dja à Bie	19 500	770	1.55	323	60	1 013	533	1.35
Dja à Ngbala (Ft Soufflay-Congo)	38 600	1 130	1.62	485	80	1 013	335	1.29
Boumba à Biwala	10 340	525	1.45	216	48	927	467	1.90
Bangue à Yokadouma	450	90	1.20	30	15	671	540	4.0
Kadéi à Batouri	8 970	410	1.21	140	64	1 027	588	2.96
Doume à Doume	515	127	1.57	55	9	680	610	1.09
Kadéi à Pana	20 370	726	1.42	292	70	1 027	570	1.44
Sangha à Salo	68 400	1 200	1.29	447	153	1 200	373	1.55
Sangha à Ouesso	158 350	1 800	1.27	677	234	1 200	326	0.96
(dont Sangha Sup.)	82 350	1 440	1.41	580	142	1 200	326	1.12
et Ngoko Ouesso)	76 000	1 560	1.59	664	114	1 013	326	0.83

2.2. Données de base sur les précipitations

A partir des rares postes pluviométriques du bassin de la Sangha et de l'esquisse des isohyètes interannuelles proposée dans la figure 7.4, on a estimé, par planimétrage des aires ainsi définies, la hauteur de précipiations annuelles reçues par les différents bassins contrôlés aux stations hydrologiques. Ces résultats sont donnés ci-après :

Bassin du Dja-Ngoko		
– Dja à Somalomo	1 640 mm	
– Dja à Bie	1 660 mm	ensemble Nogko à Ouesso 1 635 mm
– Dja à Fort-Soufflay	1 625 mm	
– Boumba à Biwala	1 620 mm	
Bassin de la Kadéi-Sangha		
– Kadéi à Batouri	1 530 mm	
– Doume à Doume	1 550 mm	ensemble Kadéi-Sangha amont Ouesso 1 538 mm
– Kadéi à Pana	1 510 mm	
– Sangha à Salo (RCA)	1 534 mm	
– Bassin aval Sangha	1 557 mm	
Sangha à Ouesso	1 585 mm	

A titre d'information complémentaire, on a indiqué ci-après la série chronologique des précipitations annuelles de la station de Ouesso de 1935 à 1976 :

Année	Pmm	Année	Pmm
1935	1375	1955	1731
1936	1480	1956	1595
1937	1572	1957	1938
1938	1724	1958	1633
1939	1858	1959	1891
1940	1616	1960	1515
1941	1373	1961	1748
1942	–	1962	1852
1943	1518	1963	1977
1944	1987	1964	1923
1945	1470	1965	1658
1946	1437	1966	2102
1947	1499	1967	1625
1948	–	1968	1492
1949	1581	1969	1667
1950	1529	1970	1880
1951	1304	1971	1992
1952	1751	1972	1438
1953	1289	1973	1509
1954	1531	1974	1527
		1975	1651
		1976	1795

2.3. Les débits

L'échantillon de débits est relativement hétérogène dans le temps non seulement du fait de mises en service des stations d'observations à des dates très différentes, mais aussi parce que l'origine des relevés concerne des services nationaux différents [1].

La qualité des observations est aussi très variable ; certains résultats pourront à l'analyse être corrigés ; signalons cependant que l'analyse critique qui a été faite, notamment par la méthode du vecteur régional (Y. L'Hôte [2]), rend crédibles des relevés pour lesquels nous étions assez réservés.

Les tableaux des débits moyens mensuels et des débits caractéristiques résument l'information disponible.

En complément des commentaires qui suivent, quelques figures présentent des exemples d'hydrogrammes annuels d'années sèche et humide ainsi que les valeurs caractéristiques de débits mensuels et débits classés pour quelques stations.

2.3.1. Bassin du Dja-Ngoko

Les modules spécifiques sont de l'ordre de 12 à 10 l/s.km². Le module spécifique du Dja à Somalomo est de 12,26 l/s.km² (66,0 m³/s) ; celui du Dja à Bie qui ne porte que sur 7 années récentes (globalement déficitaires) n'est que de 10,3 l/s.km² et devrait être corrigé en hausse probablement jusqu'à 12 l/s.km² soit 234 m³/s. Le module spécifique du Dja à Ngbala tomberait à 10,9 l/s.km² surtout du fait des apports des affluents de rive gauche moins riches comme semble l'indiquer le module spécifique de la Boumba à Biwala (10,1 l/s.km²), encore que pour cette station une certaine prudence soit de rigueur pour la qualité des observations.

La distribution mensuelle des débits est intéressante car elle recoupe, et ce n'est pas surprenant, ce qui a été dit dans l'étude du régime des précipitations. Le régime est à quatre saisons, l'influence équatoriale est bien marquée. Une certaine régularité apparaît dans les débits moyens mensuels dans ce sens qu'il n'y a pas de très fortes amplitudes. Seul le débit de février – sauf pour le Dja à Bie où il y a aussi mars – est

(1) Pour le Congo, les renseignements les plus récents nous ont été communiqués par M. Molinier ; nous avions nous même procédé fin 1967 à la réouverture de la station de Fort-Soufflay devenue Ngbala et réactualisé les mesures de débits sur la Sangha à Ouesso, les stations du Nord Congo étant alors quelque peu délaissées (cf. Olivry, 1967 b). Pour la Centrafrique, les données de la Sangha à Salo ont été communiquées par J. Callède. Les difficultés rencontrées par ce pays expliquent sans doute l'abandon présumé de la station fin 1975.

(2) Y. L'Hôte a appliqué la méthode du vecteur régional utilisé pour les précipitations aux modules.

Tableau 7.5. – Dja à Somalomo.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1954-55												14.0	
55-56	21.6	43.9	47.3	26.0	27.1	69.4	76.7	101	43.6	19.3	11.1	64.0	46.0
56-57	52.2	72.5	90.1	54.3	24.0	59.3	86.4	112	77.4	37.5	23.0	18.7	59.0
57-58	26.3	47.7	89.4	59.4	52.0	140	193	155	98.7	50.8	28.1	36.0	81.6
58-59	58.4	77.1	69.6	20.6	22.6	38.5	87.8	79.3	52.7	26.7	14.7	14.0	46.9
59-60	37.7	71.8	73.7	68.0	48.9	79.4	164	134	81.4	49.9	33.2	31.1	72.9
60-61	52.0	67.6	66.2	73.2	93.2	92.0	173	165	86.8	53.3	35.5	23.9	82.1
61-62	44.1	46.9	50.3	59.7	20.1	48.6	98.5	87.3	40.8	16.0	12.3	54.2	48.4
62-63	71.2	66.7	58.4	45.3	24.6	66.8	150	122	88.7	44.4	30.1	80.9	71.0
63-64	68.6	110	88.2	65.6	66.8	123	129	110	58.2	50.7	37.3	27.7	77.9
64-65	54.7	59.3	91.4	58.1	26.7	118	231	210	107	70.2	58.9	71.3	96.4
65-66	69.0	83.7	72.0	74.0	77.3	77.3	133	123	68.1	47.4	28.7	42.2	74.9
66-67	52.0	74.1	104	75.8	76.2	87.5	139	206	111	62.8	52.7	33.5	89.6
67-68	29.4	50.5	77.8	58.6	56.9	80.1	168	108	69.4	54.5	33.5	37.4	68.8
68-69	55.9	85.8	89.9	63.8	32.9	93.2	128	111	86.1	43.0	42.8	119	79.5
69-70	75.2	82.0	87.2	85.7	99.5	111	148	129	77.8	44.9	29.8	56.4	85.8
70-71	43.3	64.0	77.4	47.5	63.1	72.9	126	133	48.5	37.4	16.9	26.8	63.2
71-72	46.7	45.2	55.2	44.0	46.5	85.8	154	129	89.5	33.5	19.0	39.0	65.7
72-73	54.3	43.8	53.3	44.2	40.8	54.4	100	88.7	33.2	35.6	20.7	21.5	49.3
73-74	22.8	63.4	69.0	34.5	26.7	75.3	112	109	52.8	30.8	24.3	20.3	53.5
74-75	42.0	71.6	45.7	40.5	62.7	65.0	124	153	82.6	32.6	42.9	34.0	66.5
75-76	43.7	80.4	73.3	67.0	27.8	57.7	118	140	77.3	44.9	36.9	60.7	69.0
76-77	67.4	58.2	63.9	35.3	34.5	50.6	112	111	58.9	39.4	22.1	18.8	56.1
77-78	35.6	50.6	38.7	21.7	21.1	98.1	98.0	63.0	44.7	14.7	11.2	24.0	43.5
78-79	52.0	73.5	64.7	47.3	20.5	41.7	99.8	107	35.0	19.8	11.6	15.5	49.2
79-80	27.6	57.0	93.0	33.0	33.0	71.5	132	101	40.0	22.4	11.7	12.1	52.9
80-81	40.4	45.0	73.8	31.8	62.6	115	161	149	60.5				
MED.	49.4	65.4	72.7	50.9	37.7	76.3	128.5	117.0	68.8	39.4	28.1	32.3	
ET.	15.3	16.3	17.0	17.8	23.5	26.2	35.8	34.4	22.4	14.5	13.1	25.1	
MOYE.	47.8	65.1	71.7	51.3	45.7	79.7	132	124	68.1	39.3	27.6	38.3	66.0
Q1	55.9	74.1	88.2	65.6	62.7	93.2	154	140	86.1	50.3	36.2	54.2	
Q3	37.7	50.5	58.4	35.3	26.7	59.3	100	107	48.5	28.8	15.8	20.3	

Tableau 7.6. – Dja à Somalomo.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1955-56	16/2	4.3	7.0	10.2	25.3	57.6	78.8	101	127	137	05/11
56-57	27/2	11.9	13.4	15.9	29.4	52.5	93.4	123	174	192	08/11
57-58	31/7	14.0	15.3	19.2	27.1	52.3	89.4	172	202	224	13/10
58-59	26/3	8.3	10.1	14.3	27.7	56.8	78.4	97.6	123	156	27/10
59-60	10/3	19.2	23.5	29.0	45.2	68.0	107	150	175	189	22/10
60-61	12/8	14.8	16.8	18.9	34.2	49.8	80.5	173	197	209	10/11
61-62	13/2	9.6	10.1	13.4	24.9	56.2	74.2	98.4	109	122	15/10
62-63	04/4	36.1	40.5	47.5	63.3	84.1	113	142	166	175	23/10
63-64	27/3	14.5	16.6	22.0	40.0	58.0	92.9	132	163	183	24/09
64-65	31/7	45.9	52.3	56.6	64.6	78.4	97.7	125	261	266	01/11
65-66	05/3	17.1	20.0	25.7	49.2	75.0	101	121	147	165	02/11
66-67	20/4	16.5	22.7	30.6	43.6	65.4	97.3	178	217	234	04/11
67-68	23/8	22.3	26.4	30.2	41.7	67.2	95.5	150	180	185	22/10
68-69	14/2	21.5	24.1	38.4	65.4	91.8	113	139	149	162	26/10
69-70	06/3	17.8	22.2	33.6	43.6	65.2	83.6	141	157	168	10/10
70-71	06/5	13.9	15.9	18.4	30.6	47.7	72.7	140	169	185	05/11
71-72	22/2	14.0	15.9	21.0	34.4	49.8	74.4	151	184	197	20/10
72-73	21/2	8.3	11.1	15.5	23.7	38.6	74.2	97	125	135	02/11
73-74	12/3	12.7	14.0	18.0	32.7	48.7	72.7	106	156	169	05/11
74-75	03/3	17.8	21.8	25.5	37.5	58.4	91.4	134	161	170	05/11
75-76	11/9	20.5	25.7	25.7	40.0	56.8	78.8	132	152	171	05/11
76-77	13/3	7.5	10.8	13.6	21.2	41.4	71.1	111	122	141	16/11
77-78	03/3	9.1	10.2	12.8	17.0	52.6	50.6	92.0	132	150	22/09
78-79	24/2	9.3	10.8	12.4	16.8	29.0	72.5	104	145	160	11/11
79										169	29/10
MED.		14.3	16.3	20.1	34.3	57.2	82.1	132.0	159	170	
ET.		9.1	10.7	11.5	13.9	14.3	15.1	37.2	34	32	
Q1		17.8	22.7	29.0	43.6	65.4	95.5	142.0	175	189	
Q3		9.3	10.8	14.3	25.3	49.8	74.2	104.0	132	158	

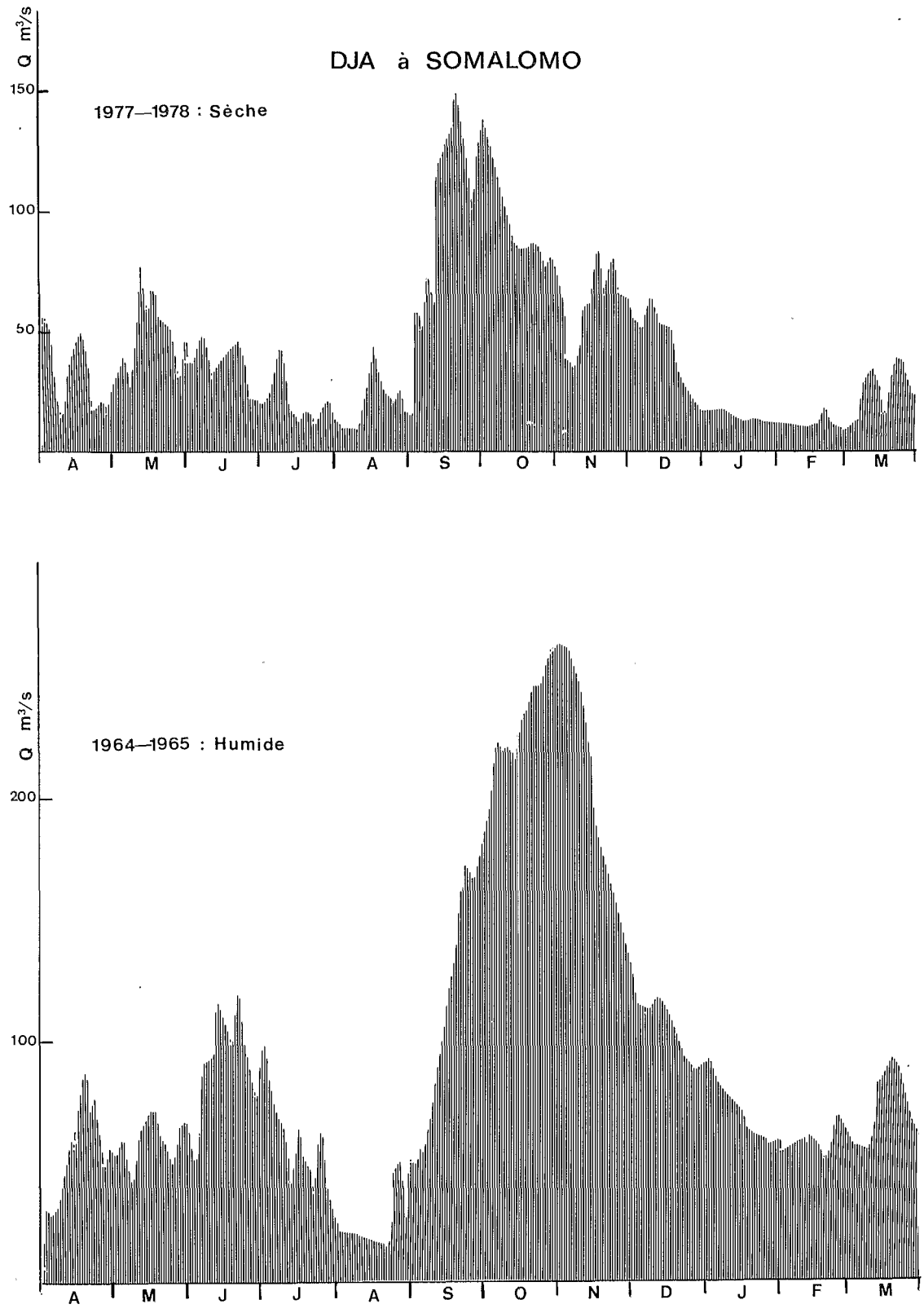


Fig. 7.7. – Exemple d'hydrogrammes annuels.

Tableau 7.7. – Dja à Bie.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1971-72	158	132	164	132	122	228	446	417	140	128	81.7	87.6	183
73-74	102	216	353	149	107	278	431	432	183	96.7	85.5	78.2	206
74-75	160	256	256	249	239	329	546	580	263	114	136	135	268
75-76	154	208	155	172	75.1	329	381	530	306	104	104	139	209
76-77	167	186	195	124	90	187	497	416	224	140	87	63	198
77-78	97.4	139	155	73.5	68.0	326	374	228	156	57.6	33.5	47.3	146
78-79	182	339	214	159	77.4	*115*	430	455	174	91.5	55.4	58.7	196
79-80	172	236	259	178	135	183	203	429	176				
MOYE.	149	210	219	155	114	*247*	414	436	203	105	83	87	201

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1972-73	13/3	45.0	57.3	76.7	104	145	195	443	541	572	30/10
73-74	31/7	47.5	60.7	70.7	91.3	149	329	424	551	593	04/11
74-75	08/3	86.1	92.1	110	149	226	332	573	649	673	06/11
75-76	29/8	45.0	59.8	83.5	118	160	300	487	541	554	18/11
76-77	18/3	42.0	52.0	67.0	90.4	134	230	478	530	541	24/10
77-78	05/3	25.2	28.8	35.6	57.8	85.0	192	392	448	479	28/09
78-79	27/2	37.9	44.2	53.0	108			448	526	537	11/11
79										545	17/11
MED.		45.0	57.3	70.7	104.0	147.0	265	448	541	550	
ET.		18.8	19.3	23.5	28.0	45.6	65	58	59	56	
Q1		66.8	76.4	96.8	133.5	193.0	331	530	600	593	
Q3		31.6	36.5	44.3	74.1	109.5	194	408	487	537	

Tableau 7.8. – Dja à Ngbala (Fort Soufflay).
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1954-55			529				763	659	450				
55-56		310	394	322	265	463	697	754	340	268	208	352	
56-57	413	541	547	358	170	233	601	912	604	273	179	189	419
57-58	279	466	578	500	365	788	1610	1370	731	320	209	211	621
58-59	289	508	435	167	145	178	409	503	305	172	142	134	283
59-60	218	342	337	334	319	462	1080	1250	594	259	209	228	470
60-61	335	367	399	338	411	711	1340	1320	589	319	218	167	544
61-62	242	239	259	276	159	212	641	726	275	119	123	223	292
62-63	405	419	331	268	167	437	1140	1100	607	263	183	342	473
63-64	449	779	648	633	430	733	972	751	357	263	193	188	534
64-65	351	354	544	306	165	571	1160	1530	612	309	251	320	539
65-66	376	395											
66-67													
67-68	189									234	166	193	
68-69	237	620	569			614	771	863	556	297	297	539	
69-70	431	516	458	435	537	654	929	966	538	263	229		
70-71	243		388	233	283	498	832	1040	312	222	183	195	
71-72	239	212	226	224	190	412	765	997	412	152	117	142	340
72-73	243	273	289	210	193	306	899	785	262	241	173	152	336
73-74	196	340	491	262	196	459	689	679	283	132	142	174	337
74-75	250	437	397	252	436	583	1060	1290	559	221	168	218	490
75-76	286	335	280	283	128	202	724	834	427	190	190	228	342
76-77	281	382	474	235	148	284	845	734	413	254	175	117	362
77-78		180	253	117			727	505	350	149	91	118	
78-79	272	533	431	250	136	340	819	762					
MED.	279	383	415	272	193	460	825	848	427	254	179	194	391
ET.	79	143	119	116	125	187	267	284	140	61	49	100	105
MOYE.	296	407	421	300	255	457	885	924	456	234	183	221	420
Q1	363	512	529	336	365	598	1060	1100	591	270	209	228	
Q3	240	322	331	234	159	295	724	734	326	181	142	159	

Tableau 7.9. – Dja à Ngbala (Fort Soufflay).

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1954-55							553	704	792	1090	05/10
55-56	26/2	78	102	220	249	320	523	704	909	1110	30/10
56-57	24/3	155	155	160	203	372	567	772	994	1110	19/11
57-58	03/3	155	164	217	273	425	817	1480	1830	1890	26/10
58-59	06/9	108	118	126	148	227					
59-60	19/3	162	178	199	240	306	474	1120	1450	1630	08/11
60-61	02/4	157	162	179	288	385	583	1390	1430	1470	03/11
61-62	30/1	95	103	122	155	232	310	670	840	1050	09/11
62-63	14/8	127	147	183	255	344	561	1130	1420	1510	20/10
63-64	25/3	158	167	191	286	512	750	909	1030	1090	14/10
64-65	21/8	118	149	191	261	369	661	1240	1670	1880	08/11
65-67											
67-68											
68-69	09/4	167	183	233	309	505	670	827	945	1080	30/10
69-70	15/2	209	220	238	321	474	652	933	1070	1150	01/11
70-71	09/3	155	155	155	214	284	416	927	1220	1310	08/11
71-72	24/2	95	106	122	168	222	414	914	1220	1280	07/11
72-73	13/3	97	130	145	180	238	362	809	1160	1230	28/10
73-74	25/1	91	106	123	163	256	488	633	972	1090	01/11
74-75	18/2	94	121	155	220	367	607	1130	1380	1500	06/11
75-76	01/9	95	107	145	193	262	352	820	873	921	20/10
76-77	22/3	94	99	128	177	264	518	767	972	1050	14/10
77-78	31/7	82	86	93	122	202	422	673	761	812	05/10
MED.		113	148	155	217	313	538	868	1050	1130	
Q1		156	163	191	267	379	630	1125	1400	1485	
Q3		94.5	106	125	173	247	419	736	927	1085	

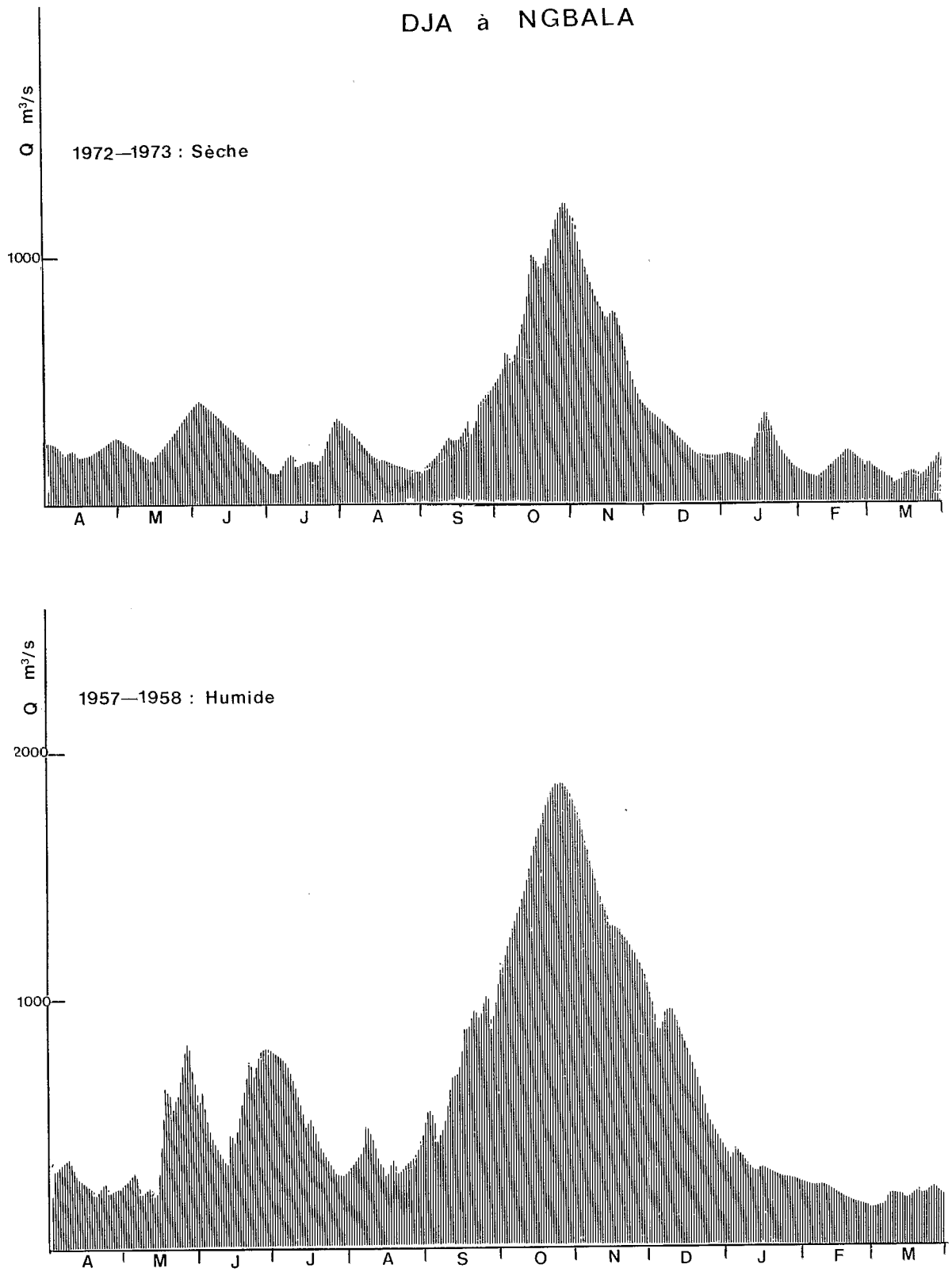


Fig. 7.8. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

Tableau 7.10. – Boumba à Biwala.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1965-66	99.0	69.4	70.4	118	166	151	190	137	78.7	56.7	36.9	44.3	102
66-67	62.2	82.4	120	107	128	164	232	229	155	85.0	65.2	54.8	124
67-68	44.6	73.4	89.9	149	93.1	135	248	113	81.5	70.1	62.1	49.8	101
68-69	75.2	101	94.7	91.7	86.4	185	318	221	87.0	72.5	57.1	108	125
69-70	138	107	109	95.1	142	206	183	132	102	66.0	61.0	69.1	118
70-71	71.6	66.8	71.5	74.9	97.4	201	261	199	95.4	52.9	28.6	61.7	107
71-72	66.4	61.0	76.0	87.7	111	473	367	193	116	70.8	48.5	41.8	143
72-73	72.9	60.3	59.0	52.9	48.7	102	149	108	56.2	41.6	61.1	81.8	74.4
73-74	70.6	93.4	80.4	62.7	71.9	84.9	107	140	49.3				
74-75													
75-76										40.7	34.3	85.0	
76-77	69.3	71.4	95.6	60.5	88.8	150	220	143	111	60.1	53.8	30.9	96.2
77-78	44.5	62.0	78.8	41.8		155	124					27.2	
78-79	54.8	81.1	79.5	43.0	58.0	115	192	246	89.1	61.6	39.1	38.4	91.5
79-80	69.4	90.3	145	96.7	81.3	150	159	123	70.4	48.8	25.1	17.9	89.7
80-81	35.0	82.2	104	82.5	127	177	280	232	110				
MED.	69.4	77.3	85.2	85.1	93.1	153	192	193	89.1	60.9	51.2	49.8	
ET.	25.3	15.0	22.8	30.1	33.7	92.6	76.9	53.4	27.7	13.3	14.3	25.8	
MOYE.	69.5	78.7	91.0	83.1	100	175	216	176	92.4	60.6	47.7	54.7	104
Q1	72.9	90.3	104	96.7	127	185	270	229	111	70.5	61.1	75.5	
Q3	54.8	66.8	76.0	60.5	76.6	135	154	123	74.6	50.9	35.6	34.7	

Tableau 7.11. – Boumba à Biwala.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1965-66	22/2	27.1	29.1	35.9	58.8	85.3	140	182	216	286	20/10
66-67	17/4	24.5	41.8	51.1	71.4	99.1	163	228	283	450	09/11
67-68	27/4	30.1	35.9	43.9	61.0	82.2	117	204	283	329	28/10
68-69	23/2	46.1	54.9	60.4	72.5	88.4	133	242	456	633	29/10
69-70	25/2	51.6	58.2	64.8	84.7	113	137	182	260	328	27/09
70-71	18/2	19.5	25.5	35.4	62.6	78.1	115	255	298	340	01/11
71-72	24/3	28.6	34.3	41.8	63.7	80.4	155	338	656	949	26/09
72-73	28/1	19.5	31.2	39.6	51.6	65.9	85.6	134	164	181	09/10
73-74										143	18/10
74-75											
75-76	03/2	18.0									
76-77	30/3	17.0	24.0	31.0	50.5	74.7				322	28/09
77-78											
78-79	02/4	23.0	30.5	36.0	62.7	90.0	102	189	265	309	08/11
79										210	14/09
MED.		24.5	32.8	40.7	62.7	83.8	133.0	204	283	316	
ET.		11.4	11.7	11.3	10.2	13.2	24.9	58	148	222	
Q1		38.1	48.4	55.8	72.0	94.6	147.5	249	377	450	
Q3		19.5	27.3	35.7	55.2	76.4	108.5	182	238	210	

inférieur à la moitié du module ; c'est le mois d'observation de l'étiage absolu. L'étiage de la petite saison sèche est en août, sauf pour la Boumba à Biwala (bassin plus septentrional) où il se produit en juillet. Les débits mensuels sont compris dans la « fourchette » 1/2 module-module, 6 mois à Somalomo, 5 mois à Bie, 6 mois à Ngbala mais 8 mois à Biwala. La petite saison des pluies est bien marquée à Somalomo (mai supérieur au module), surtout Bie avec 2 mois de débits supérieurs au module en mai et juin, et à Ngbala (mai supérieur au module). A Biwala, mai marque le petit maximum de crue mais son débit reste inférieur au module (situation plus orientale du bassin avec atténuation de la tendance équatoriale à cette latitude).

La saison de hautes-eaux s'étend de septembre à décembre, période pendant laquelle le débit est compris entre 1 module et le double soit quatre mois, sauf à Biwala où la décrue est plus précoce (3 mois). En octobre et novembre (octobre seulement pour Somalomo et Biwala), le débit mensuel est supérieur au double du module. A Bie et Ngbala, la crue est en novembre ; plus au nord, à Biwala et Somalomo, elle est en octobre.

Les valeurs médianes des débits spécifiques de crue sont de l'ordre de 30 l/s.km² et varient peu avec la superficie des bassins : 31,6 à Somalomo, 30,6 à Biwala, 28,2 à Bie et 29,2 à Ngbala. Les valeurs extrêmes atteignent 49,4 l/s.km² à Somalomo, 34,5 à Bie (très faible échantillon), 49,0 à Ngbala et 91,8 l/s.km² à Biwala, valeur exceptionnelle (2e valeur à 61,2 l/s.km²).

Les valeurs médianes des débits spécifiques d'étiage absolu sont comprises entre 2,3 et 2,9 l/s.km². C'est à Ngbala que le débit d'étiage est le plus soutenu (2,93, soit 113 m³/s) avec un minimum minimorum de 2,02 l/s.km², soit 78 m³/s. A Bie, on a une valeur moyenne de 2,31 l/s.km², très influencée, il est vrai, par la valeur minimale observée en 1978 (1,30 l/s.km²). A Somalomo, la médiane est de 2,66 l/s.km² et on a un minimum en 1956 de 0,8 l/s.km² qui paraît douteux au regard de la 2e valeur minimale observée en 1977 de 1,40 l/s.km². Enfin sur la Boumba, la médiane est de 2,37 l/s.km² et le minimum minimorum est de 1,64 l/s.km².

Retenons en conclusion que le Dja à Ngbala a un module interannuel de 420 m³/s soit 10,9 l/s.km² et des valeurs extrêmes médianes de 113 m³/s pour l'étiage (2,93 l/s.km²) et de 1 130 m³/s pour le maximum de crue (29,3 l/s.km²), soit une amplitude interannuelle de 1 à 10. Le débit mensuel interannuel le plus faible est de 183 m³/s.

2.3.2. Bassin de la Sangha supérieure

Les modules spécifiques sont de l'ordre de 11,7 à 13,4 l/s.km². Le module le plus fort est relevé sur la Kadei à Batouri (13,4 l/s.km² pour 120 m³/s). Sur la Doume, il est de 12 l/s.km², ce qui est très voisin de ce que l'on a relevé pour le Dja supérieur et le Nyong supérieur. A Pana, le module spécifique de la Kadei est de 12,1 l/s.km², soit 247 m³/s. A Salo, il baisse légèrement, 11,7 l/s.km², ce qui signifie que l'écoulement sur la branche Mambere serait plus faible que sur la branche Kadei ; les précipitations y sont aussi moins importantes.

La répartition mensuelle des débits montre une influence équatoriale bien marquée pour le petit bassin de la Doume avec un premier maximum en juin et un second maximum en octobre. Pour la Doume, l'irrégularité annuelle est faible et on doit y voir une influence tampon des zones marécageuses, peut-être même une évolution comparable du haut-bassin à ce qui a été observé sur le Nyong à Abon-Mbang. Les débits mensuels sont tous supérieurs à la moitié du module et quatre (juin, puis septembre, octobre, novembre) dépassent la valeur du module sans atteindre son double.

Sur la Kadei, l'irrégularité annuelle est un peu plus marquée ; à Batouri, si aucun mois n'est inférieur au 1/2 module, le mois d'octobre est supérieur à son double mais « la petite saison des pluies » n'est pas marquée (on a seulement un palier d'écoulements en progression lente de mai à août). A Pana, la tendance tropicale est plus nette et si février, mars, avril ont des valeurs inférieures au 1/2 module, on a aussi deux mois : octobre, novembre, de débits supérieurs au double du module. A Salo, même configuration avec cependant régularisation plus nette au cours de l'année : pas de mois inférieur au 1/2 module ; seul le mois d'octobre est supérieur au double du module et 4 mois supérieurs au module. Les maximums de crues surviennent en octobre. En débits spécifiques, ces valeurs médianes sont de 27 l/s.km² pour la Doume à Doume, mais de 36,1 l/s.km² à Batouri, 32 l/s.km² à Pana et encore 32,5 l/s.km² à Salo.

Les étiages absolus sont observés en février à Doume et Pana, en mars à Batouri et Salo. Le débit spécifique médian est de 3,3 l/s.km² à Doume, de 5,3 l/s.km² à Batouri, de 3,8 l/s.km² à Pana et de 4,5 l/s.km² à Salo... donc des valeurs nettement plus soutenues que sur le bassin du Dja et à rapprocher pour ce qui est de la Kadei des étiages du Lom et d'une rivière étudiée pour l'alimentation en eau de Garoua-Boulaï (Nana Tchoudja, 1979). Les valeurs extrêmes connues vont pour les étiages absolus de 1,75 l/s.km² pour la Doume, à 4,0 pour la Kadei à Batouri, 3,1 à Pana et 2,3 pour la Sangha à Salo, et pour les maximums de crue de 42,7 l/s.km² pour la Doume, à 47,7 pour la Kadei à Batouri, 39,0 à Pana, et 44 l/s.km² pour la Sangha à Salo.

Ainsi la branche Sangha à Salo est caractérisée par un module interannuel de 801 m³/s, soit 11,7 l/s.km² et des valeurs extrêmes médianes de 308 m³/s pour l'étiage (4,5 l/s.km²) et de 2 225 m³/s (32,5 l/s.km²) pour le maximum de crue, soit une amplitude interannuelle de 1 à 7. Le débit mensuel interannuel le plus faible est de 411 m³/s.

Tableau 7.12. – Doume à Doume.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1945-46											5.13	3.50	
46-47	4.20	3.39	2.69	2.22	1.92	6.71	12.4	10.3	4.73	2.52	4.77	2.99	4.89
47-48	3.94	3.60	7.18	3.19	5.57	9.51	9.79	7.36	4.58	2.58		6.26	
48-49	10.0	9.68	20.0	9.00	9.06	10.5	12.3	10.9	8.21	7.06	5.98	8.00	10.1
49-50	14.5	8.62	7.01	16.7	9.56	11.1	14.8	11.9	7.28	7.28	8.02	7.02	10.3
50-51	7.76	7.61	8.97	11.8									
51-52	5.46	7.01	7.19	4.58	3.19	11.7	13.9	11.7	6.98	5.53	6.11	3.30	7.21
52-53	4.03	6.84	8.08	5.46	7.37	7.27	9.54	7.31	4.84	3.39	2.70	4.17	5.93
53-54	4.19	4.31	4.07	3.21	1.79	5.25	8.88	7.72	5.93	2.41	4.37	2.81	4.57
54-55	6.33	3.82	6.69						4.92	3.09	3.06	2.23	
55-56	3.35	4.92	8.28	10.0	6.89	8.97	11.3	10.9	7.05	4.82	4.88	7.20	7.39
56-57	6.65	6.48	9.33	7.26	4.44	5.93	9.47	10.2	7.31	4.53	3.67	2.75	6.51
57-58	3.49	4.75	8.85	9.89	7.29	10.8	15.8	14.9	9.63	7.03	5.19	6.13	8.66
58-59	7.41	5.56	7.04	4.07	3.44	9.10	8.91	7.42	5.16	3.63	2.01	3.33	5.60
59-60	4.43	5.89	4.90	5.22	3.89	5.23	10.5	10.8	7.33	4.56	3.21	2.67	5.73
60-61	4.23	4.99	6.28	6.31	5.45	7.72	10.8	9.84	6.82	4.49	2.40	1.80	5.94
61-62	3.88	5.50	5.22	6.04	2.61	4.57	10.8	5.80	3.36	1.45	3.72	4.29	4.78
62-63	4.39	5.54	6.45	6.40	4.79	8.62	11.5	11.3	8.92	6.11	5.59	7.63	7.28
63-64	7.09	9.87	9.42	5.22	4.81	9.73	10.2	7.27	3.74	4.44	4.09	2.71	6.54
64-65	4.66	5.18	7.00	6.75	3.85	6.45	10.4	8.00	6.94	5.24	5.71	5.24	6.29
65-66	5.46	8.97	8.57	7.25	6.46	6.87	7.73	6.09	4.10	2.90	2.63	5.68	6.06
66-67	5.87	9.81	11.7	5.73	5.24	6.69	7.36	7.77	6.70	5.74	3.96	3.97	6.71
67-68	4.02	4.24	4.80	4.08	4.79	7.86	10.2	10.1	8.38				
68-69		4.47	5.19	5.00	3.33	8.41	9.16	8.10	5.93	3.32	2.82	7.69	
69-70	4.70	6.96	8.74	8.49	8.44	9.99	11.5	9.24	7.03	4.16	2.31	4.06	7.16
70-71	2.99	4.51	3.54	4.36	3.84	9.04	11.2	10.4	5.74	3.79	1.80	2.52	5.33
71-72	3.04	5.39	4.17	5.48	6.21	6.92	10.6	7.78	6.06	2.79	1.68	2.48	5.23
72-73	3.62	2.15	4.30	3.91	2.53	4.63	8.43	5.72	2.80	2.73	3.00	2.54	3.86
73-74	2.30	6.63	6.79	3.66	5.50	11.3	13.4	10.1	7.33	4.71	2.67	4.03	6.55
74-75	5.28	5.33	5.72	5.63	6.34	6.89	11.8	12.9	7.45	5.42	7.54	5.60	7.16
75-76	5.46	7.03	6.91	6.66	5.32	6.68	9.21	10.0	6.69	5.64	6.17	4.81	6.71
76-77	4.56	3.94	4.48	2.14	2.44	3.66	7.37	8.59	3.64	2.66	1.33	0.90	3.81
77-78	1.91	4.48	3.39	2.38	3.05	10.3	7.99	5.88	4.04	1.66	0.61	1.08	3.91
78-79	1.88	4.11	4.20	2.82	4.02	6.72	11.7	10.8	5.42	3.18	1.72	1.68	4.87
79-80	2.16	4.61	8.84	3.82	3.95	6.74	8.76	5.85	3.14	1.91	0.87	0.87	4.29
80-81	2.14	6.25	5.20	3.61	6.28	11.5	15.2	12.6	7.28				
MED.	4.31	5.39	6.79	5.34	4.79	7.72	10.50	9.84	7.37	3.97	3.44	3.50	
ET.	2.48	1.92	3.09	3.02	2.00	2.20	2.19	2.32	1.73	1.60	1.90	2.06	
MOYE.	4.86	5.78	6.89	5.83	4.96	7.98	10.7	9.26	6.04	4.09	3.74	4.00	6.18
Q1	5.46	6.96	8.57	6.75	6.31	9.86	11.75	10.85	7.28	5.33	5.16	5.64	
Q3	3.49	4.47	4.80	3.82	3.38	6.68	9.03	7.39	4.73	2.76	2.35	2.53	

Tableau 7.13. – Doume à Doume.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1955-56	10/9	2.6	3.1	3.7	4.8	6.7	9.0	11.2	13.1	17.8	28/10
56-57	22/3	1.7	2.2	2.8	4.0	7.0	8.6	10.6	11.8	13.9	07/11
57-58	01/9	2.4	2.9	3.2	4.8	7.0	11.2	15.1	17.8	18.6	05/10
58-59	17/2	1.7	1.7	2.2	3.2	4.5	7.3	9.8	12.4	22.0	24/09
59-60	13/4	1.7	2.0	2.5	3.8	5.6	7.3	10.7	11.8	14.3	21/10
60-61	19/3	1.3	1.5	1.7	3.0	4.4	7.6	11.2	12.4	14.4	01/11
61-62	27/1	1.0	1.3	1.7	3.2	5.3	5.6	9.8	11.2	11.8	04/10
62-63	02/8	3.8	4.0	4.5	5.6	8.2	8.4	11.4	12.2	13.1	20/10
63-64	08/3	1.6	2.6	3.0	3.7	5.0	9.0	10.8	11.8	13.1	16/10
64-65	07/3	2.7	3.7	4.4	5.4	7.0	7.3	9.5	11.4	12.5	07/10
65-66	16/2	1.9	1.9	2.6	4.1	6.8	7.9	10.0	11.3	13.0	01/05
66-67	28/2	2.6	3.2	3.6	4.2	4.9	9.6	11.2	12.3	13.1	09/06
67-68							7.6	10.2	10.9	11.2	01/10
68-69	16/2	1.6	1.9	2.9	4.6	8.8	6.6	9.1	11.2	14.6	22/09
69-70	02/3	1.6	1.9	2.1	3.5	4.9	9.2	11.4	12.3	13.9	01/10
70-71	10/3	1.4	1.5	1.8	3.1	5.0	7.4	11.2	14.0	18.6	29/10
71-72	25/2	1.4	1.4	1.7	2.1	3.1	6.1	9.5	12.4	13.9	28/10
72-73	19/4	1.3	1.6	1.9	2.5	3.8	8.4	11.9	13.8	12.6	28/10
73-74	15/8	1.7	2.0	2.3	4.0	5.5	9.3	13.0	14.6	19.2	03/10
74-75	18/4	5.1	5.1	5.2	5.3	5.5	7.0	12.3	14.9	18.1	28/10
75-76	07/8	1.5	1.7	1.9	2.9	5.4	7.6	10.4	11.6	13.1	28/05
76-77	07/8	0.9					5.0	7.5	10.3	12.6	09/11
77-78	01/3	1.0	1.2	1.3	1.9	3.5	5.1	9.6	12.5	13.9	16/09
78-79	12/3	1.3	1.3	1.6	2.8	7.0	6.6	11.6	14.2	16.5	08/11
79										16.3	08/06
MED.		1.7	1.9	2.5	3.8	5.5	7.6	10.6	12.2	13.9	
ET.		1.0	1.1	1.1	1.0	3.6	1.5	1.5	1.6	3.5	
Q1		2.4	2.9	3.2	4.8	7.0	9.0	11.6	14.0	17.8	
Q3		1.4	1.5	1.8	3.0	4.9	6.6	9.8	11.4	13.0	

Tableau 7.14. – Kadei à Batouri.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1954-55		73.8	124	102	92.2	131	290	240	134	96.0	78.3	74.8	
55-56	71.9	75.8	106	138	145	179	273	235	134	98.8	84.3	98.3	137
56-57	89.1	83.8	112	106	85.7	132	231	199	142	93.0	71.0	59.9	117
57-58	64.4	73.4	117	112	113	231	253	231	142	102	72.4	72.9	132
58-59	80.8	86.3	86.8	75.8	93.3	120	224	185	105	93.8	66.9	57.8	106
59-60	73.2	90.4	71.2	74.3	106	113	194	181	104	77.2	56.3	51.2	99.4
60-61	64.8	64.3	66.9	81.4	103	159	257	223	142	98.5	70.5	51.9	115
61-62	66.2	58.7	79.3	87.1	64.3	179	249	147	89.3	65.4	55.3	57.0	100
62-63	55.3	56.8	57.6	61.3	68.3	129	239	216	129	86.3	77.7	74.8	104
63-64	73.1	78.6	79.7	80.1	92.9	169	258	167	107	92.7	60.3	54.5	110
64-65	70.4	62.0	62.3	63.0	46.6	160	263	187	111	88.6	67.1	60.7	104
65-66	65.8	61.8	80.8	157	157	227	308	209	128	93.9	65.7	56.9	135
66-67	73.0	95.3	115	128	148	236	298	282	158	111	84.0	67.4	150
67-68	61.4	67.0	80.2	84.1	93.1	203	283	188	120	89.8	63.4	68.7	117
68-69	69.7	67.9	103	120	147	185	231	202	126	87.8	70.6	129	129
69-70	81.9	101	94.3	163	175	247	268	211	135	99.9	71.6	64.1	143
70-71	75.4	74.4	82.8	107	139	258	326	233	134	101	69.6	72.0	140
71-72	68.8	71.6	70.0	77.3	125	183	288	173	134	88.0	65.1	68.3	118
72-73	65.8	62.9	68.2	83.6	101	160	212	163	97.4	81.9	60.0	46.4	100
73-74	55.6	73.7	80.3	105	108	213	246	209	130	84.7	63.5	54.2	119
74-75	66.8	63.0	76.6	73.6	155	212	378	285	152	104	91.4	80.0	145
75-76	68.9	66.1	104	109	77.1	152	281	197	137	92.2	86.3	74.5	121
76-77	68.4	72.0	90.6	74.1	98.6	144	256	222	122	95.0	68.9	54.7	114
77-78	60.8	71.2	85.4	94.3	84.3	252	200	106	80.3	59.3	48.3	49.2	99.4
78-79	75.4	88.3	79.1	86.8	123	219	292	223	122	89.0	65.7	62.7	127
79-80	61.1	66.5	97.4	83.9	119	181	211	169	97.1	73.9	53.8	47.8	105
80-81	47.2	70.8	90.0	70.9	88.2	209	275	238	125				
MED.	68.6	71.6	82.8	86.8	103	181	258	209	128	92.4	68.0	61.7	
ET.	8.8	11.3	17.5	26.7	31.6	43	40	39	19	11.6	10.3	17.5	
MOYE.	68.3	73.2	87.4	96.2	109	185	262	204	124	90.1	68.8	65.8	120
Q1	73.1	78.6	103	109	139	219	288	231	135	98.5	72.4	72.9	
Q3	64.4	64.3	76.6	75.8	88.2	152	231	181	107	86.3	63.4	54.5	

Tableau 7.15. – Kadei à Batouri.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1954-55	30/4	53.9	63.2	68.6	81.0	109	173	266	306	379	10/10
55-56	18/5	56.5	60.6	73.6	85.7	106	134	271	305	368	02/11
56-57	09/5	47.9	52.4	58.0	71.9	105	165	240	265	284	14/10
57-58	07/4	59.0	61.6	65.9	74.7	96.0	129	241	275	303	07/10
58-59	24/3	43.6	51.5	59.0	69.7	84.5	120	203	243	278	24/10
59-60	09/3	43.6	47.4	51.9	58.0	81.6	134	186	229	255	24/10
60-61	24/3	44.1	46.8	53.9	61.1	85.7	143	246	282	307	13/10
61-62	27/5	36.2	43.1	47.9	54.2	67.0	96.6	199	271	291	14/10
62-63	26/3	54.4	57.5	65.4	73.6	89.3	140	224	284	332	25/10
63-64	23/8	37.9	41.3	49.0	56.0	73.0	113	234	280	297	21/10
64-65	06/4	44.1	46.8	55.2	67.8	105	170	245	286	310	03/10
65-66	28/3	49.0	52.7	60.6	78.7	114	182	276	319	364	26/10
66-67	12/5	46.0	53.9	61.7	71.1	91.5	165	283	327	389	30/10
67-68	10/4	51.5	55.5	59.0	69.7	106	155	256	292	308	16/10
68-69	06/5	63.0	65.4	71.6	86.9	131	189	242	269	365	30/10
69-70	21/5	52.7	57.5	61.9	71.0	105	155	271	321	386	03/10
70-71	06/5	53.4	56.0	60.9	69.2	92.3	143	300	341	395	26/10
71-72	25/5	47.9	52.4	56.7	65.4	86.3	146	233	306	359	18/10
72-73	11/3	35.9	37.4	49.0	62.7	89.3	131	224	253	281	30/10
73-74	29/5	42.6	47.9	53.6	64.0	84.7	146	250	326	377	02/11
74-75	24/5	55.5	59.0	64.3	76.3	97.3	146	333	396	428	07/10
75-76											
76-77											
77-78	19/3	42.3	44.5	48.5	59.6	82.8	106	230	297	315	22/09
78-79	19/4	41.5	43.0	47.0	56.5	80.8	147	283	317	349	04/11
79										259	09/10
MED.		47.9	52.4	59.0	69.7	91.5	146.0	245	292	324	
ET.		7.3	7.5	7.7	9.2	14.5	23.3	34	36	48	
Q1		54.2	58.3	64.9	75.5	105.5	165.0	274	320	368	
Q3		42.5	45.7	50.5	60.4	83.7	130.0	227	270	291	

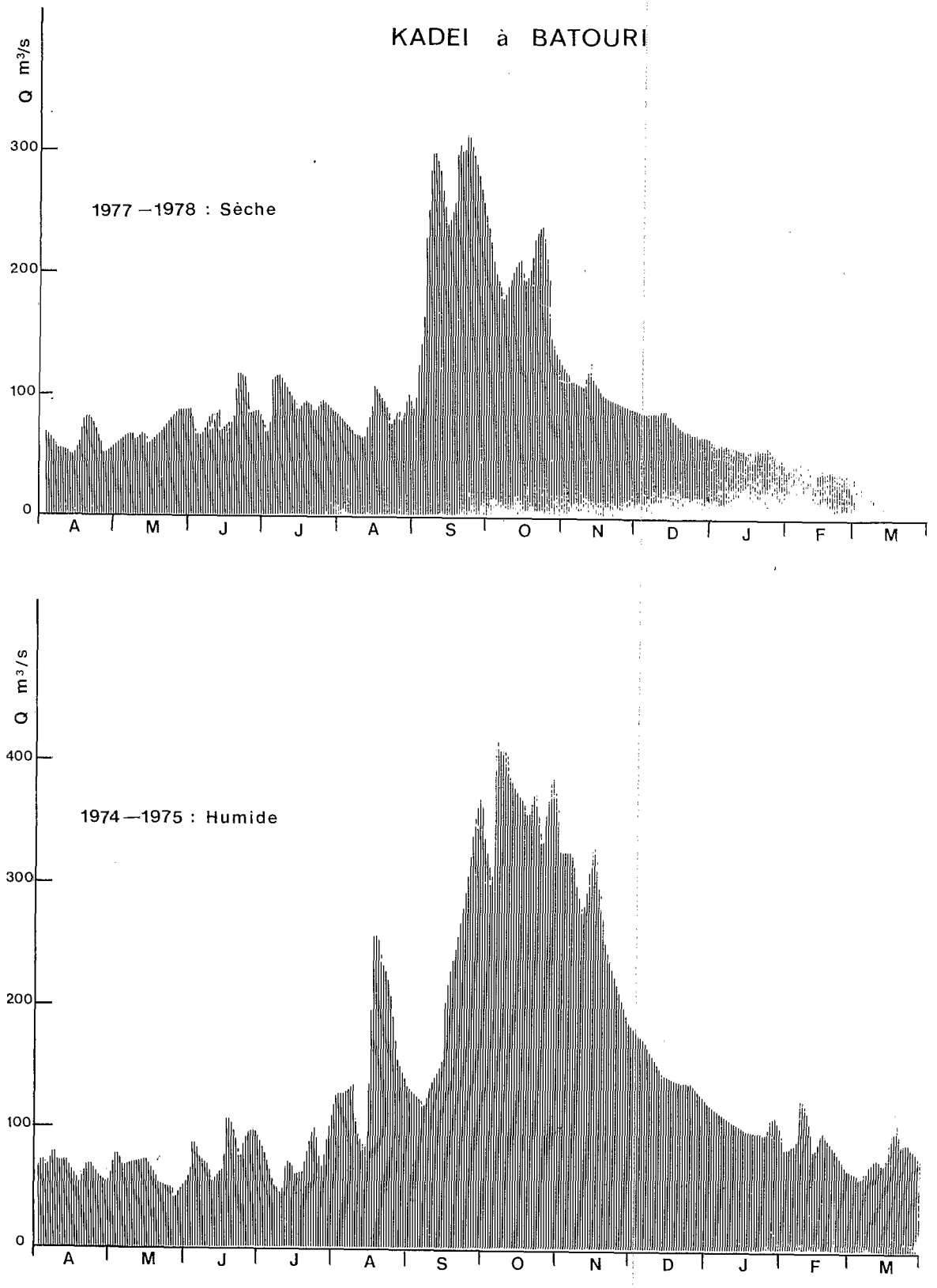


Fig. 7.9. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

Tableau 7.16. – Kadei à Pana.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1964-65										218	130	130	
65-66	147	207	183	332	322	435	541	437	240	126	94.4	99.9	264
66-67	103	132	180	176	188	310	344	414	230	219	168	117	215
67-68	97.7	118	183	224	265	472	750	536	315	197	117	131	284
68-69	135	150	232	246	242	331	385		258	151	99.8	251	
69-70	171	216	228	302	334	410	562	445	271	183	110	97.8	277
70-71	112	123	168	332	325	466	600			189	104	104	
71-72	121	103	139	141	222	380	586	451	282	151	99.5	102	231
72-73	112	94.1	128	120	174	263	361	350	175	168	80.5	74.9	175
73-74	101	127	213	266	196	253			249	159	114	93.5	
74-75	128	139	178	176	267	468	800	797	365	216	187	157	324
75-76	140	174	255	292	174	316	653	550	300	220	194	162	286
76-77	175	165	157	134	212	284	497	487	252				
77-78										70.6	46.2	50.0	
78-79	102	147	144	125	178	392	620	561	237	147	86.8	80.4	236
79-80	82.0	113	209	147	178	346	441	323	151	102	55.1	44.8	183
80-81	55.5	134	185	131	193	420	603	585	266				
MED.	115	143	182	141	186	369	612	556	259	153.0	100.4	86.9	
ET	42.9	22	40	63	36	69	126	154	71	60	64.1	51.1	
MOYE.	119	143	185	210	233	370	553	495	257	168	112	113	247
Q1	140	165	209	176	212	420	653	585	300	216	187	157	
Q3	82.0	134	157	131	178	316	497	487	237	102	55.1	50.0	

Tableau 7.17. – Kadei à Pana.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1965-66	05/3	81.0	84.0	91.5	117	181	372	487	592	650	31/10
66-67	14/5	70.0	87.0	101	146	216	266	365	438	483	06/11
67-68	09/4	89.8	100	116	146	208	362	710	776	794	21/10
68-69	15/2	83.2								*422*	31/10
69-70	07/3	77.7	85.4	96.8	120	238	345	509	595	666	08/10
70-71	08/5	77.7								*732*	31/10
71-72	01/7	70.0	83.2	87.6	103	147	321	523	660	704	23/10
72-73	22/3	66.7	73.3	77.7	103	208	224	369	394	413	03/11
73-74	26/3	73.3								*410*	16/11
74-75	18/4	89.8								*744*	04/11
75-76	07/5	81.0								720	26/10
76-77										559	29/10
77-78											
78-79	24/3	62.3								651	10/11
79										473	13/10
MED.		77.7	84.7	94.2	118.5	208	333	498	594	651	
ET.		8.7	8.6	13.0	20	32	58	127	141	137	
Q1		83.2	93.5	108.5	146	227	367	617	718	726	
Q3		70.0	78.3	82.7	103	164	245	367	416	448	

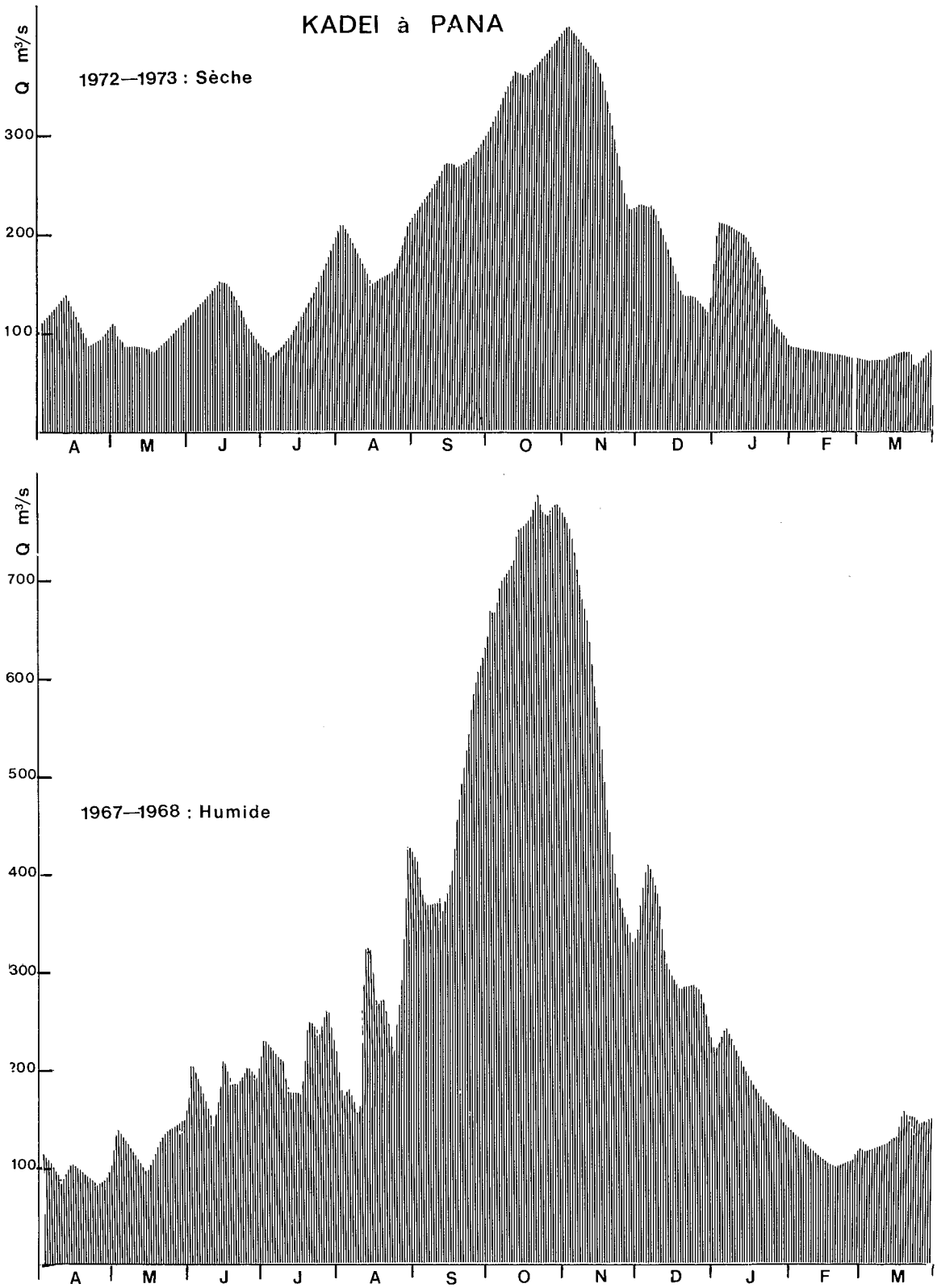


Fig. 7.10. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

Tableau 7.18. – Sangha à Salo.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1953-54	518	554	604	695	661	950	1700	1160	725	596	594	568	778
54-55	539	590	728	709	622	952	1850	1290	790	620	565	541	818
55-56	575	590	699	844	982	1860	2300	1730	879	713	620	731	1040
56-57	673	635	823	824	729	1010	1690	1200	825	567	437	384	818
57-58	438	512	743	857	847	1520	1880	1810	976	668	484	468	935
58-59	521	645	663	545	613	738	1350	1090	750	556	416	335	687
59-60	509	727	569	675	892	1040	1510	1370	748	528	393	377	779
60-61	439	489	453	543	777	1250	2250	1690	829	637	464	326	847
61-62	444	428	498	714	555	1120	1760	923	548	391	311	343	672
62-63	408	441	517	591	616	1050	1920	1580	893	595	519	507	804
63-64	570	630	591	736	843	1260	1710	1070	679	610	418	350	790
64-65	486	457	527	540	384	945	1620	1160	627	509	390	380	670
65-66	390	426	464	723	860	1200	1510	1020	597	450	323	284	689
66-67	352	508	691	828	980	1940	1970	1910	922	626	477	364	965
67-68	307	359	592	785	938	1700	2410	1440	804	607	425	439	902
68-69	467	584	695	820	938	1060	1410	1100	726	512	396	630	781
69-70	513	579	619	1050	1490	1630	1860	1330	760	570	414	362	935
70-71	411	461	574	788	1310	1730	2280	1710	775	589	404	405	956
71-72	449	394	464	545	802	1220	1810	1070	706	457	339	340	717
72-73	408	353	526	484	650	814	1050	794	450	413	286	218	538
73-74	321	431	524	609	740	1020	1110	975	599	385	280	266	607
74-75	321	431	585	560	1010	1630	2450	1920	845	561	496	434	939
75-76	403	467	623	802	627	757	2070	1460	853				
MED.	444	489	591	714	802	1120	1810	1290	760	568	417	378	797
ET.	91	100	98	139	244	360	383	333	127	89	93	122	127
MOYE.	455	508	599	707	820	1230	1800	1340	752	553	430	411	801
Q1	518	590	691	820	938	1630	2070	1690	845	610	484	468	
Q3	403	431	524	560	627	952	1510	1070	679	509	390	340	

Tableau 7.19. – Sangha à Salo.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1953-54	03/4	469	507	532	570	657	859	1430	1810	2090	24/10
54-55	04/5	481	507	519	569	670	910	1570	2060	2650	20/10
55-56	10/4	540	552	595	692	784	1050	2260	2510	3030	09/10
56-57	23/3	323	348	412	564	753	944	1400	1950	2330	11/10
57-58	02/8	381	405	442	539	775	1260	1890	2060	2160	14/10
58-59	16/3	290	317	366	482	616	769	1100	1560	1900	30/10
59-60	11/3	317	348	384	518	662	972	1370	1910	2220	02/11
60-61	27/3	302	314	360	454	579	953	2090	2510	2700	26/10
61-62	04/3	256	287	335	400	494	772	1580	1820	2110	13/10
62-63	28/3	397	454	503	570	601	941	1670	2210	2880	26/10
63-64	05/3	326	342	361	549	687	909	1570	1800	2190	30/09
64-65	25/5	329	335	357	412	543	668	1510	1710	1850	31/10
65-66	31/3	253	259	296	381	557	883	1370	1700	1840	25/10
66-67	13/5	259	320	360	491	698	1370	2020	2160	2310	03/11
67-68	11/4	332	381	397	506	695	1040	2240	2470	2670	10/10
68-69	15/2	353	381	411	518	738	947	1290	1480	1620	26/10
69-70	10/4	299	317	351	457	741	1460	1750	2050	2230	13/09
70-71	10/5	292	326	366	442	686	1260	2240	2460	2560	01/11
71-72	24/2	290	305	323	403	525	831	1540	1950	2310	20/10
72-73	15/3	159	183	259	366	464	678	1010	1080	1260	23/10
73-74	20/3	244	250	265	320	549	778	1120	1300	1430	06/11
74-75	20/4	296	357	396	491	604	1170	2260	2660	3000	10/10
MED.		308	334	366	491	659	9'2	1570	1950	2225	
Q1		326	348	409	518	698	1050	2020	2210	2650	
Q3		256	294	335	412	557	831	1370	1710	1900	

2.3.3. La Sangha à Ouesso

Le régime de la Sangha à Ouesso intègre ce que l'on connaît du régime du Dja à Ngbala et de la Sangha à Salo et ce qui concerne les bassins « aval » intermédiaires qui ne sont pas mesurés.

Le module interannuel est de 1 700 m³/s, soit un débit spécifique de 10,7 l/s.km².

La répartition mensuelle des débits montre un régime à grande régularité avec une faible amplitude entre les débits mensuels extrêmes (de 916 m³/s à 3 340 m³/s). Aucun débit mensuel n'est inférieur à la moitié du module, aucun n'est supérieur au double du module. La petite saison sèche n'est pratiquement pas sensible ; la petite saison de hautes-eaux du régime équatorial ne constitue qu'un palier de mai à août dans la progressive montée des eaux d'avril à novembre. La crue survient en novembre, l'étiage en février. Le maximum de crue médian est de 3 905 m³/s soit 24,7 l/s.km², le maximum maximorum ayant atteint 4 740 m³/s (29,9 l/s.km²). (Plus d'1/3 inférieur à la Sanaga). L'étiage absolu médian est de 716 m³/s, soit 4,52 l/s.km² et le minimum minimorum est de 450 m³/s, soit 2,84 l/s.km². En conclusion donc, la Sangha à Ouesso se caractérise par des étiages soutenus dus à la position équatoriale de la partie aval du bassin, à une crue annuelle modeste due à l'étalement de la saison de hautes-eaux du sud au nord du bassin et à une régularité des écoulements due davantage à la grande forêt congolaise qui « fait éponge » qu'à un substratum très perméable, toutes choses qui vont être précisées dans l'analyse de détail qui va suivre.

3. INTERPRÉTATION DES DONNÉES

3.1. Étude des basses-eaux

3.1.1. Le tarissement

Le tarissement pur est rarement observé sur le bassin de la Sangha du fait que la saison sèche n'est jamais tout à fait sèche et que la décroissance des débits est affectée de fréquents sursauts plus ou moins importants dus aux pluies.

Cela est particulièrement vrai pour **le bassin du Dja-Ngoko** qui est situé entièrement en zone équatoriale. Pour le Dja à Somalomo, on a pu identifier, pour quelques années seulement, des portions de l'hydrogramme se rapprochant d'une courbe de tarissement pur. Le coefficient de tarissement α d'une loi de tarissement à décroissance exponentielle des débits exprimé en jours $^{-1}$ varie de 1,64 à 1,84.10 $^{-2}$.

Pour le Dja à Bie, aucune loi de tarissement ne peut être vraiment mise en évidence sur le faible échantillon dont on dispose.

Sur le Dja à Ngbala, même les saisons sèches les plus marquées par la faiblesse des débits sont très affectées par de petites crues qui peuvent masquer complètement le tarissement ou, à l'occasion, créent l'illusion d'un tarissement par l'alignement (en diagramme semi log) de supposés débits de base « retrouvés » après chaque crue... mais dont la décroissance indiquerait alors de très faibles coefficients de tarissement ($\leqslant 1.10^{-2}$). On a cependant trouvé quelques valeurs de α de l'ordre de 1,5 à 1,6.10 $^{-2}$.

La Boumba à Biwala n'offre pas d'hydrogrammes susceptibles de donner une estimation précise du tarissement [1].

Le **bassin de la Sangha supérieure,** de par sa position en latitude, devrait permettre une observation plus fréquente de périodes de tarissement pur.

Sur la Doume, le tarissement est le plus souvent très perturbé par les pluies de saison sèche. Un coefficient de tarissement de l'ordre de 1,77.10 $^{-2}$ j $^{-1}$ a pu toutefois être mis en évidence en janvier-février. Pendant la petite saison sèche, on a pu aussi observer un tarissement plus rapide, avec $\alpha = 2{,}71.10^{-2}$ j $^{-1}$, qui pourrait s'expliquer par la non reconstitution des stocks après la petite saison des pluies en particulier au niveau des zones marécageuses, comme cela a été dit pour le haut-Nyong.

Le bassin de la Kadei à Batouri, en dépit de sa situation plus septentrionale, n'offre pas de très beaux hydrogrammes de tarissement. Sur février et mars, on a toutefois pu mettre en évidence des tarissements purs dont les coefficients relativement faibles vont de 1,25 à 1,35.10 $^{-2}$ j $^{-1}$ et traduisent une lente décroissance des débits. Cela devrait signifier que le bassin dispose de réserves importantes ; les débits très soutenus de la Doforo à Garoua-Boulaï [2] au voisinage des sources de la Kadei, avec un coefficient de tarissement de 0,42.10 $^{-2}$ j $^{-1}$, semble bien indiquer en effet que la région dispose de vastes aquifères pour alimenter les débits de basses-eaux.

(1) Quelques précisions peuvent être apportées par le tarissement observé sur l'Afamba côté Dja et la Bangue côté Boumba montrant le caractère douteux des déterminations de α pour des grands bassins : pour l'Afamba, nous avons relevé (Olivry, 1976f) $\alpha = 0{,}055$ en janvier 1974, 0,026 en décembre puis janvier 1975, 0,026 en janvier 1976 ; valeurs dans la gamme de ce que nous avions observé jusqu'alors. De même pour la Bangue, Nana Tchoudja (1979) propose une valeur de 0,026 pour 1978 et de 0,0324 pour 1979.

(2) Nana Tchoudja, op. cit.

Tableau 7.20. – Sangha à Ouesso.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1947-48									1410	861	622	810	
48-49	1020	1070	1880	1820	1570	2550	3170	3650	2000	1210	782	792	1800
49-50	851	816	1310	1460	1590	2340	3610	3420	1830	1060	848	720	1660
50-51	798	1110	1100	953	837	1540	3510	3350	1580	1070	753	940	1460
51-52	1100	805	1390	1210	1050	1870	2940	3360	2210	1190	1060	706	1570
52-53				1800			2950	3190	2180	1240	984	1190	
53-54	1040	1080	1310	1390	1140	1910	2860	3220	1840	1120	1190	1260	1610
54-55	1190	1520	1770	1470	1010	1860	3190	2890	1950	1160	1040	1080	1680
55-56	1320	1250	1530	1730	1780	2590	3680	3520	1990	1340	1030	1490	1940
56-57	1470	1500	1850	1620	1100	1640	2830	3060	2240	1320	944	927	1710
57-58	1130	1350	1840	1940	1850	3080	4140	4280	2890	1670	1190	1100	2210
58-59	1280	1770	1720	1120	1080	1340	2030	2160	1620	1040	793	656	1390
59-60	967	1530	1440	1500	1670	2170	3410	4080	2280	1330	1010	1050	1870
60-61	1230	1460	1330	1390	1730	2630	4120	4290	2340	1600	1150	869	2010
61-62	1000	1080	1210	1770	1370	2120	3520	3290	1760	919	729	870	1640
62-63	1200	1340	1300	1380	1180	2010	3560	3960	2570	1470	1270	1440	1890
63-64	1710	2200	1900	2160	1980	2810	3790	3000	1870	1500	1080	976	2080
64-65	1300	1420	1700	1430	927	1940	3430	3770	1990	1400	1070	1090	1790
65-66	1180	1220	1140	1470	1820	2300	3180	3020	1640	1190	862	794	1650
66-67	1010	1620	2070	1910	1850	2850	3330	4070	2840	1510	1070	854	2090
67-68	745	869	1300	1690	1630	2240	3710	3190	1760	1220	840	842	1670
68-69	928	1580	1800	1780	1670	2330	3050	3180	2130	1260	990	1530	1860
69-70	1460	1550	1560	1900	2450	2830	3460	3540	2100	1340	968	954	2010
70-71	992	1140	1430	1420	2010	2730	3610	3840	1800	1280	809	839	1830
71-72	1040	912	1020	1210	1530	2190	3090	3150	1800	947	714	713	1530
72-73	919	894	1130	935	1200	1540	2610	2450	1150	993	678	602	1260
73-74	797	1050	1440	1170	1200	2080	2520	2360	1340	813	630	676	1340
74-75	828	1200	1340	1250	1760	2550	3970	4100	2340	1210	1110	925	1880
75-76	1070	1170	1270	1530	1000	1330	3000	3050	1860	961	882	961	1510
76-77	1060	1130	1510	1210	1250	1580	2530	2770	1610	1100	796	562	1430
77-78	664	751	1120	918	903	2340	2900	2890	1310	685	506	546	1300
78-79	870	1450	1350	1040	948	1880	3100						
MED.	1040	1210	1410	1460	1450	2180	3190	3255	1870	1210	944	870	1680
ET.	234	325	281	325	409	473	487	551	411	232	190	255	247
MOYE.	1070	1260	1470	1470	1440	2170	3250	3340	1940	1190	916	928	1700
Q1	1200	1500	1720	1770	1760	2550	3610	3770	2210	1340	1070	1080	
Q3	919	1070	1300	1210	1080	1870	2940	3020	1640	1040	782	720	

Tableau 7.21. – Sangha à Ouesso.

Année	Etiage absolu		Débits caractéristiques							Débit Maximum	
	Date	Débit	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	Débit	Date
1948-49	08/5	*541*					2200	3420	3860	3910	16/11
49-50	01/3	*495*					2190	3570	3810	3910	18/10
50-51	13/5	591	653	708	873	1258	1460	3610	3800	3860	27/10
51-52	11/3	541	614	674	946	1800	1930	3240	3550	3650	14/11
52-53	02/5	749	857	935	1102	1330	2300	3130	3350	3400	07/11
53-54	19/8	852	902	965	1188	1500	1850	3050	3290	3810	28/11
54-55	22/2	836	882	946	1180	1500	1850	3010	3450	3650	24/10
55-56	24/2	936	988	1112	1330	1660	2010	3760	3920	4010	04/11
56-57	26/3	799	820	946	1170	1590	1900	3020	3170	3450	12/11
57-58	04/8	836	907	1025	1170	1830	3150	4380	4570	4650	24/10
58-59	19/3	606	624	708	1054	1300	1760	2170	2370	2580	04/11
59-60	02/4	902	935	995	1257	1466	2100	3660	4340	4600	10/11
60-61	29/3	799	825	965	1330	1500	2350	4340	4610	4740	06/11
61-62	04/3	616	697	754	995	1290	2110	3500	3800	4000	01/11
62-63	24/2	1150	1222	1330	1602	2045	2200	3650	4530	4730	02/11
63-64	04/3	835	946	1044	1640	1980	2410	3500	3880	3910	16/10
64-65	06/3	924	965	1057	1121	1411	1960	3480	4060	4120	07/11
65-66	06/3	653	718	802	1140	1360	2030	3200	3550	3780	04/11
66-67	12/4	703	814	852	1430	1800	2990	3810	4120	4190	23/11
67-68	14/4	714	764	810	1057	1656	2010	3710	3970	4050	01/11
68-69	17/2	815	930	1102	1377	1942	2340	3030	3430	3650	04/11
69-70	07/3	769	798	932	1290	1840	2610	3520	3890	3940	10/11
70-71	10/5	719	740	792	1098	1430	2300	3720	4190	4390	09/11
71-72	26/2	616	650	697	882	1190	2090	3190	3710	3850	06/11
72-73	15/3	468	556	648	936	1090	1450	2590	3000	3220	29/10
73-74	22/2	518	566	648	749	1170	1670	2470	2860	2920	06/11
74-75	11/3	754	846	907	1057	1223	2400	4030	4270	4340	10/11
75-76	01/3	703	744	879	995	1200	1700	2890	3570	3900	27/10
76-77	19/3	490	513	686	995	1290	1670	2630	3050	3200	01/11
77-78	26/2	450	481	518	632	936	1560	2960	3140	3250	28/09
MED.		716	806	893	1112	1448	2095	3450	3800	3905	
Q_1		835	904	980	1270	1730	2350	3660	4060	4120	
Q3		591	652	708	995	1274	1850	3020	3350	3600	

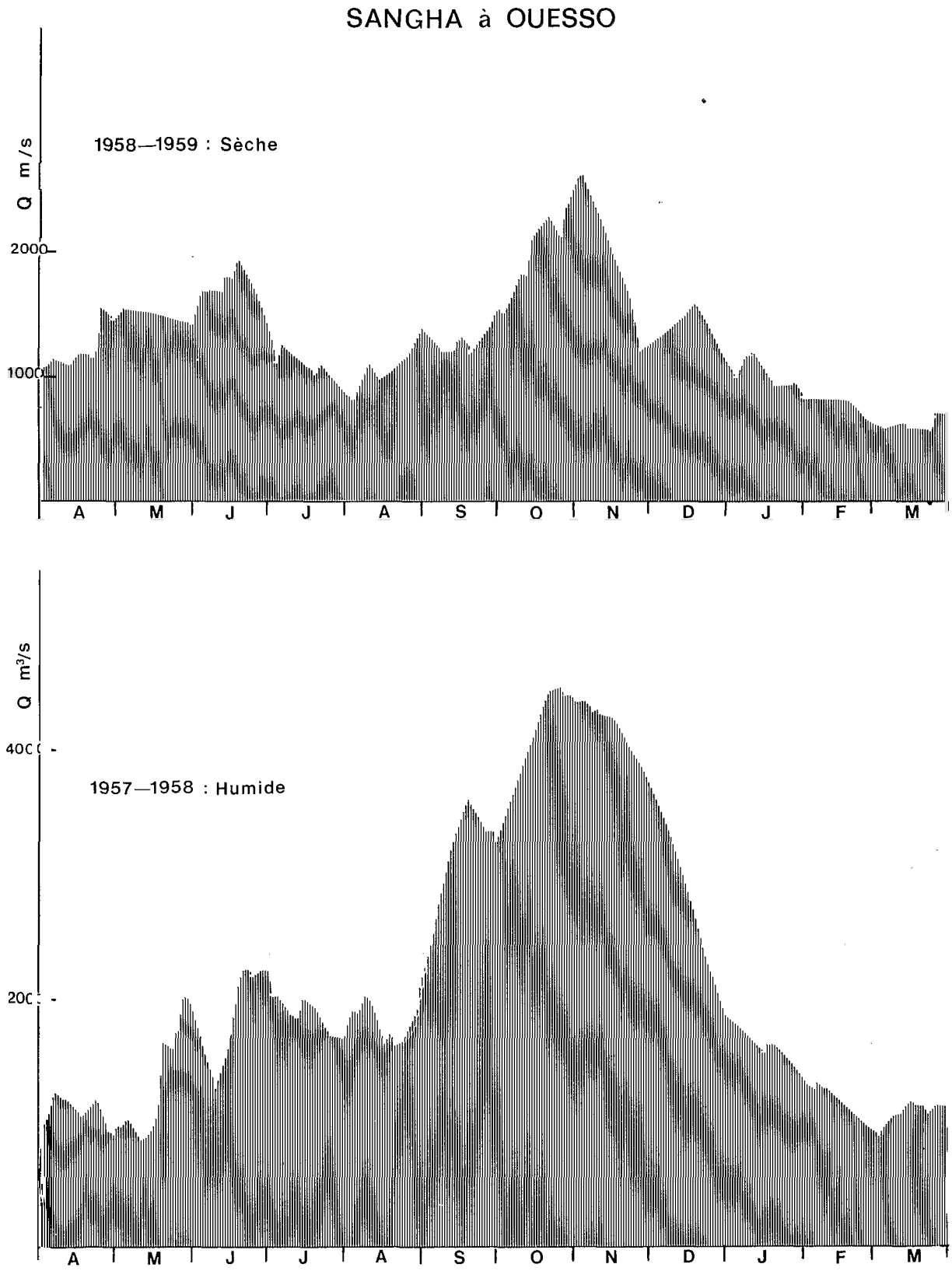


Fig. 7.11. – Exemples d'hydrogrammes annuels.

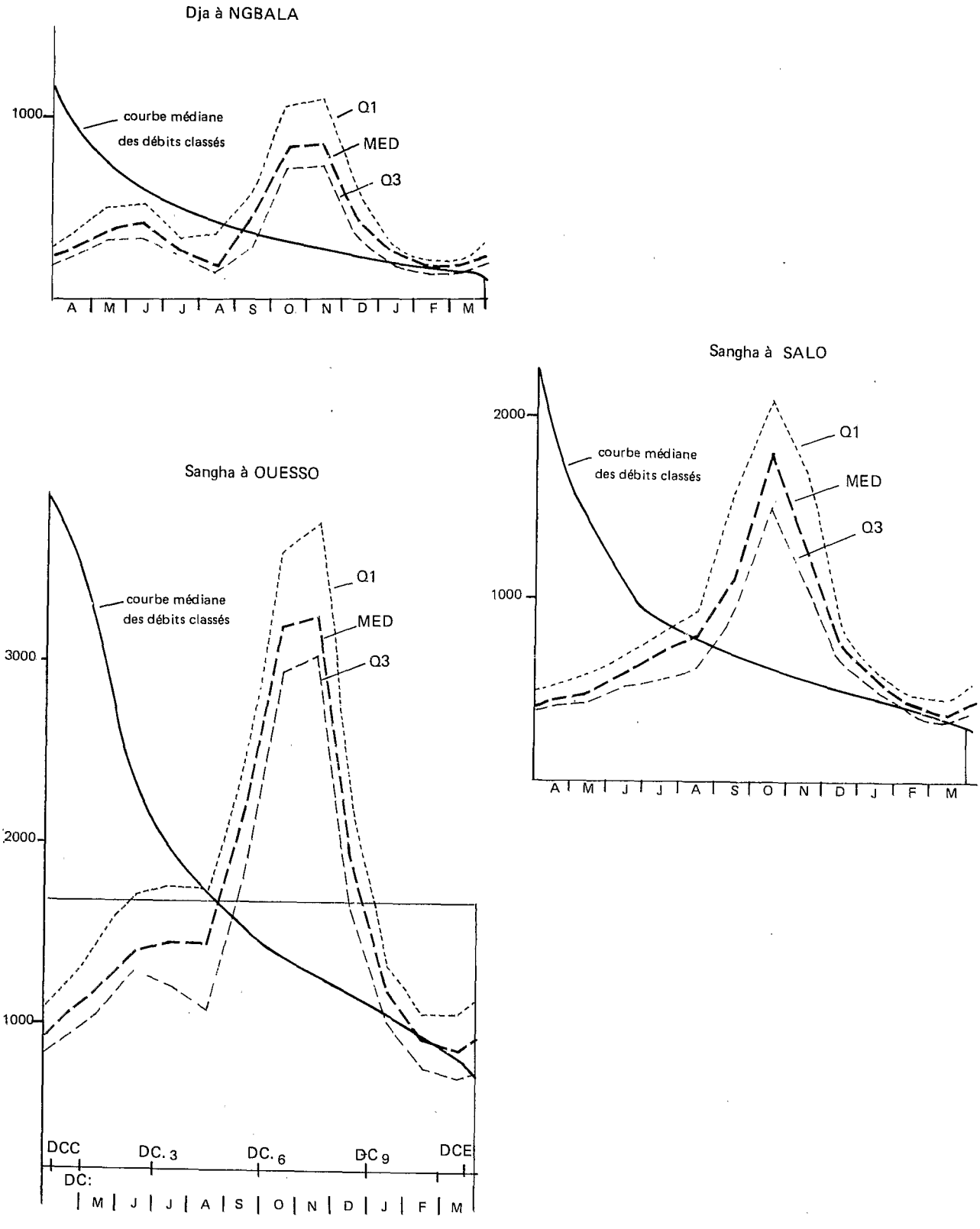


Fig. 7.12. – Bassin de la Sangha. Débits classés et débits moyens mensuels (Quartiles, valeurs médianes).

Pour la Kadei à Pana, le décalage des basses-eaux de la Doume et de la Kadei supérieure ainsi que l'échantillon limité dont on dispose n'a pas permis de mettre en évidence beaucoup de périodes de tarissement pur. Il semble cependant que le coefficient de tarissement soit ici de l'ordre de $1{,}5.10^{-2}\ j^{-1}$.

Par contre pour la Sangha à Salo, Kadei et Mambere conjuguent leurs périodes de basses-eaux et les périodes de tarissement pur ne sont plus aussi rares ; elles ont permis de calculer α. Ce coefficient de tarissement est de l'ordre de 1,15 à $1{,}37.10^{-2}\ j^{-1}$, ce qui traduit toujours une lente décroissance des débits.

J. Callede (1972), en corrélant les hauteurs de la Sangha du 15 novembre – après la décrue – avec celles du 15 décembre et du 15 janvier et en décalant la droite de régression pour éliminer le poids des pluies parasites de décembre et janvier, pense obtenir une bonne approximation du tarissement pur. Nous avons ramené les hauteurs correspondantes du 15 décembre et du 15 janvier à des débits et calculé le coefficient correspondant. Sa valeur est de $1{,}0.10^{-2}\ j^{-1}$; elle indique un tarissement plus lent – encore que voisin – que celui que nous avons trouvé, ce qui s'explique par une non élimination totale des apports dus aux pluies de saison sèche.

La période de basses-eaux de **la Sangha à Ouesso** ne permet pas réellement l'observation d'un tarissement pur. Le décalage entre les plus basses eaux du Dja et celles de la Sangha supérieure perturbe l'éventuelle observation qui aurait pu être faite. Car il y a toujours sur un bassin ou sur l'autre des apports dus aux pluies ; or le cours tranquille de cette rivière puissante lisse ces variations parasites et on a des débits soutenus qui donnent l'illusion d'un tarissement mais qui ne correspondent pas à la seule vidange des réserves du bassin. Ce tarissement apparent a un coefficient de décroissance des débits, α, de 0,77 à $1{,}15.10^{-2}\ j^{-1}$.

En conclusion, sur le bassin de la Sangha le tarissement, qu'il soit apparent ou non, est toujours lent soit qu'il y ait des aquifères importants comme probablement sur les contreforts sud de l'Adamaoua (Kadei), soit que les conditions d'humidité de la grande forêt, les stocks dans les zones marécageuses et les pluies d'appoint en saison sèche permettent d'observer des débits soutenus.

Ceci est particulièrement net au niveau des grands bassins pour lesquels on peut supposer que les écoulements lents favorisent le « mélange » et le lissage de différents apports d'origine géographique et chronologique variée. Au niveau des petits bassins, ce phénomène ne joue pas et on observerait des tarissements du type de ce que l'on a vu dans les chapitres précédents.

Par rapport au régime sous forêt des fleuves comme le Nyong et le Ntem, les tributaires camerounais du fleuve Congo connaissent donc une période de basses-eaux nettement plus soutenue et par suite moins vulnérable à de longues saisons sèches.

3.1.2. Les étiages absolus

3.1.2.1. Date d'apparition des étiages absolus

Sur le bassin du Dja, l'étiage absolu survient généralement pendant la grande saison sèche ; cependant l'occurrence d'observer un étiage absolu pendant la petite saison sèche est loin d'être négligeable. Ainsi pour le Dja à Somalomo, cette occurrence est de 20 % et on a ainsi pu observer l'étiage absolu entre le 31 juillet et le 11 septembre cinq fois sur 24 ans ; pour le Dja à Bie, on a eu 2 étiages absolus sur 7 pendant la petite saison sèche (près de 30 %). Pour la Boumba par contre, aucune observation ne se rapporte à la petite saison sèche. Pour le Dja à Ngbala, 25 % des observations de l'étiage absolu sont faites entre la fin juillet et début septembre.

Sur l'échantillon réduit d'étiages de grande saison sèche, l'étude statistique de leur date d'apparation situe la date moyenne le 11 mars pour le Dja à Somalomo, vers la même époque à Bie, le 6 mars et le 10 mars à Biwala sur la Boumba.

Le tableau 7.22 récapitule les résultats de cette analyse.

Sur le bassin de la Sangha supérieure, l'occurrence d'apparition de l'étiage absolu en petite saison sèche est d'autant plus faible que celle-ci n'est que rarement bien marquée. L'étiage absolu a cependant été observé une fois le 23 août en 1963 à Batouri sur la Kadei et une fois aussi à Pana le 1er juillet. Sur la Doume, cette observation est plus fréquente (26 %) ; le bassin voisine avec celui du Dja supérieur. La proportion tombe considérablement sur la Sangha à Salo avec une seule valeur sur 22.

L'étude statistique faite sur l'échantillon réduit des dates de l'étiage absolu est également reportée dans le tableau 7.22.

On retiendra pour dates médianes celle du 9 mars pour la Doume, du 22 avril pour Batouri dont le bassin subit une plus longue saison sèche, et la date du 3 avril pour la Kadei à Pana.

La date moyenne d'apparition de l'étiage absolu à Salo est le 1er avril. Sur la Sangha à Ouesso, on a seulement deux années pour lesquelles l'étiage absolu survient au mois d'août (moins de 7 %). La date moyenne d'apparition de l'étiage en grande saison sèche est le 16 mars.

Pendant la petite saison sèche, l'étiage est le plus souvent observé au mois d'août, exceptionnellement dans la première décade de septembre. Ces étiages absolus sont assez souvent plus forts que ceux de grande saison sèche.

3.1.2.2. Étude fréquentielle des étiages absolus

Les méthodes employées dans cette analyse fréquentielle ont déjà été largement exposées. L'échantillon complet d'étiages absolus a été pris en compte sans

Tableau 7.22. – Date d'apparition de l'étiage absolu pendant la grande saison sèche.

Station	N années	% en Petite saison sèche	Moyenne date	ET jours	Grande saison sèche		
					Date précoce F = 0.1	Date tardive F = 0.9	Dates extrêmes observées
Dja à Somalomo	24	21 %	11 Mars	22	11/2	8/4	13/2 - 6/5
" à Bie	7	29 %	*10 Mars*				*27/2 - 18/3*
" à Ngbala	20	25 %	6 Mars	22	6/2	3/4	25/1 - 9/4
Boumba à Biwala	11	0	10 Mars	30	31/1	17/4	28/1 - 27/4
Doume à Doume		26 %	9 Mars	23	7/2	7/4	27/1 - 19/4
Kadéi à Batouri	21	5 %	22 Avril	28	18/3	27/5	9/3 - 29/5
" à Pana	12	8 %	3 Avril	29	5/3	10/5	15/2 - 14/5
Sangha à Salo	22	5 %	1 Avril	27.5	4/3	5/5	15/2 - 25/5
" à Ouesso	30	3 %	16 Mars	24.5	14/2	15/4	17/2 - 13/5

faire de distinction avec les étiages absolus observés pendant la petite saison sèche. Avant de réunir les résultats de cette analyse, nous indiquons station par station les grands traits de l'étude effectuée.

Pour le Dja à Somalomo, on disposait d'un échantillon de 24 valeurs dont les 2 plus fortes (36,1 m³/s et 45,9 m³/s) sont nettement plus élevées que le reste de l'échantillon. Ceci pouvait laisser planer un doute sur la réelle observation de la période d'étiage en 1963 et 64. La prise en considération de ces valeurs conduit à une dissymétrie très forte de la courbe de distribution qui pourrait ne pas se justifier au regard de la répartition des autres valeurs de l'échantillon. On a cependant finalement retenu l'échantillon complet de 24 valeurs. En effet la comparaison des moyennes et écarts-types des échantillons de 22 et 24 valeurs, et par suite des coeficients de variation, montre que le Cv de 24 ans correspond bien à ce que l'on connaît dans la région.

sur 22 ans

moyenne : 13,8 m³/s – écart-type : 4,93 m³/s

Cv : 0,357

sur 24 ans

moyenne : 16,1 m³/s – écart-type : 9,1 m³/s

Cv : 0,566

Il convient donc d'adopter une loi hypergaussique pour le Dja à Somalomo calée pour les valeurs d'années sèches sur l'échantillon disponible avec une médiane à 14,5 m³/s et un étiage décennal sec à 7,5 m³/s.

L'échantillon du Dja à Bie est si réduit qu'on peut seulement estimer que l'étiage absolu médian est de l'ordre de 45 m³/s, et l'étiage décennal de l'ordre de 30 m³/s.

L'échantillon de 21 valeurs des étiages du Dja à Ngbala (Fort-Soufflay) a subi les tests d'ajustement aux distributions statistiques les plus connues (telles Gumbel, Galton, Pearson III et V, Goodrich, Frechet, etc.). La loi de Galton paraît la mieux appropriée, ou la moins mauvaise, malgré une nette dispersion des valeurs expérimentales. Elle admet pour paramètre d'échelle s = 48,33, paramètre de position q = 66,81 et paramètre de forme, 0,716. La moyenne est de 129,25 m³/s, la médiane de 115,15 m³/s et le mode de 95,78 m³/s. L'étiage décennal sec est de 86 m³/s.

Sur la Boumba à Biwala, le faible échantillon disponible (11 valeurs) se distribue suivant une forme nettement hypergaussique. L'étiage médian serait de 24,5 m³/s et l'étiage décennal sec de 17,5 m³/s.

Côté bassin de la Sangha Supérieure, il y a d'abord le bassin de la Doume à Doume. L'échantillon de valeurs (23) présente une physionomie particulière : 17 valeurs sont comprises entre 0,9 et 1,9 m³/s, six autres vont de 2,4 à 5,1 m³/s. La moyenne est de 1,82 m³/s et l'écart-type de 1,03 m³/s. L'ajustement graphique donne un étiage absolu médian de 1,55 m³/s et un étiage décennal de 1,1 m³/s. Certaine régularité dans les débits de basses-eaux, le peu de variation entre débits d'étiage d'une année à l'autre, une certaine dispersion dans les jaugeages de basses-eaux nous avaient laissé craindre que la station ne soit plus très fiable, subissant des modifications des caractéristiques de l'écoulement comme la station voisine d'Abong-Mbang (cf. Chapitre Nyong 2221). L'application du test du vecteur régional par Y. L'Hôte (1982) montre que les résultats sont crédibles.

Tableau 7.23. – Étude fréquentielle des étiages absolus.

Station	Nb années	Distribution (2)	E.T.	Moyenne	Cv	Médiane 0.5	Etiages d'années sèches Périodes de retour			
							10	20	50	100
Dja à Somalomo	24	HYPER-GAUSS.	9.1	16.1	0.566	14.5	7.5	5.5	4.5	*3.2*
Dja à Bie	7	"NORM"		45		45	30			
Dja à Ngbala	21	GALTON	37.9	128	0.296	115	86	81.7	77.9	*76.0*
Boumba à Biwala	11	HYP-G	11.4	27.7	0.410	24.5	17.5	16.5	*15.5*	
Doume à Doume	23	HYP-G	1.03	1.82	0.566	1.55	1.1	0.95	0.85	
Kadéi à Batouri	23	NORM-hy-g.	7.3	47.9	0.152	47.9	38.5	35.8	33.8	*32.4*
Kadéi à Pana	12	NORM.	8.7	76.8	0.113	76.8	66	62.5	*58.5*	
Sangha à Salo	22	HYP-GAUSS.	85.8	327	0.262	315	225	200	170	*155*
Sangha à Ouesso	30	NORM-hy-g.	165	713	0.231	713	500	460	425	*400*

(1) Dans la colonne « Distribution », nous avons indiqué Hyp-Gauss lorsqu'il s'agissait de dissymétrie positive et d'ajustement graphique, Norm pour la loi normale avec éventuellement « hy.g. » pour une légère tendance hypergaussique et Galton pour la loi Log-normale.

Pour la Kadei à Batouri, la distribution des étiages absolus (23 valeurs) suit une loi normale avec peut-être une légère tendance hypergaussique aux très basses-eaux. L'étiage médian est de 47,9 m³/s (valeur moyenne), et l'écart-type est de 7,3 m³/s. (Le coefficient de variation est ici très faible : 0,152). L'étiage décennal est de 38,5 m³/s.

L'échantillon de la Kadei à Pana est nettement plus réduit avec 12 valeurs mais semble bien indiquer une distribution normale des étiages. La moyenne est de 76,8 m³/s (valeur médiane) et son écart-type est de 8,7 m³/s. L'étiage décennal sec est de l'ordre de 66 m³/s. Là aussi, faible irrégularité interannuelle.

A Salo, la Sangha draine les basses-eaux de la Kadei et de la Mambere à régimes voisins mais avec des apports intermédiaires qui suivent déjà les conditions de régime de la forêt congolaise. L'échantillon comprend 22 valeurs comprises entre 159 et 540 m³/s. La moyenne est de 327 m³/s et l'écart-type de 85,8 m³/s. La distribution des étiages s'écarte assez peu d'une loi normale ; un ajustement hypergaussique donne une valeur médiane de 315 m³/s et un étiage décennal sec de 225 m³/s (1).

Pour la Sangha à Ouesso, la distribution des 30 étiages absolus est assez proche d'une loi normale avec pour moyenne un débit de 713 m³/s et pour écart-type une valeur de 165 m³/s. Une tendance légèrement hypergaussique apparaît pour les très faibles valeurs. L'étiage décennal est de 500 m³/s.

On a réuni dans le tableau 7.23 ci-dessus, l'essentiel de l'information de cette étude fréquentielle illustrée par ailleurs par la figure 7.13.

Les intervalles de confiance à 80 % sont donnés à titre d'exemple pour 2 stations à distribution normale :

Kadei à Batouri : Médiane $\pm$ $IC_{80} = 47{,}9 \pm 2$;
Décennale $\pm$ $IC_{80} = 38{,}5 \pm 2{,}71$

Sangha à Ouesso : Médiane $\pm$ $IC_{80} = 713 \pm 39{,}5$;
Décennale $\pm$ $IC_{80} = 500 \pm 53{,}2$

3.1.3. Étiages absolus et débits caractéristiques d'étiage

Les relations entre étiage absolu (D_{MIN}) et Débit Caractéristique non dépassé pendant 10 jours (DC_E) sont très étroites ; elles sont encore de bonne qualité avec le débit caractéristique non dépassé pendant 1 mois (DC_1) et par contre beaucoup plus lâche lorsqu'il s'agit du débit non dépassé pendant 3 mois (DC_3).

Ainsi pour la Sangha à Ouesso, on a les relations suivantes avec leur coefficient de corrélation correspondant :

$$DC_E = 1{,}02\ D_{MIN} + 43{,}9 \quad r = 0{,}984$$
$$DC_1 = 1{,}05\ D_{MIN} + 109 \quad r = 0{,}956$$
$$DC_3 = 1{,}12\ D_{MIN} + 312 \quad r = 0{,}790$$

La présentation des régressions linéaires pour toutes les stations n'apporte pas de complément d'information appréciable. Nous donnons par contre, dans le tableau 7.24, les rapports entre valeurs médianes de

(1) A noter que J. Callede (1972) était nettement moins pessimiste ($Q_{10} = 253$ m³/s), mais il n'y avait pas eu encore l'observation de l'étiage de mars 1973 dont le débit correspond à une cote négative à l'échelle de Salo. Puisque la rivière est navigable à Salo, ajoutons que les hauteurs à l'échelle des étiages médian et décennal sont respectivement de 0,24 m et de — 0,07 m.

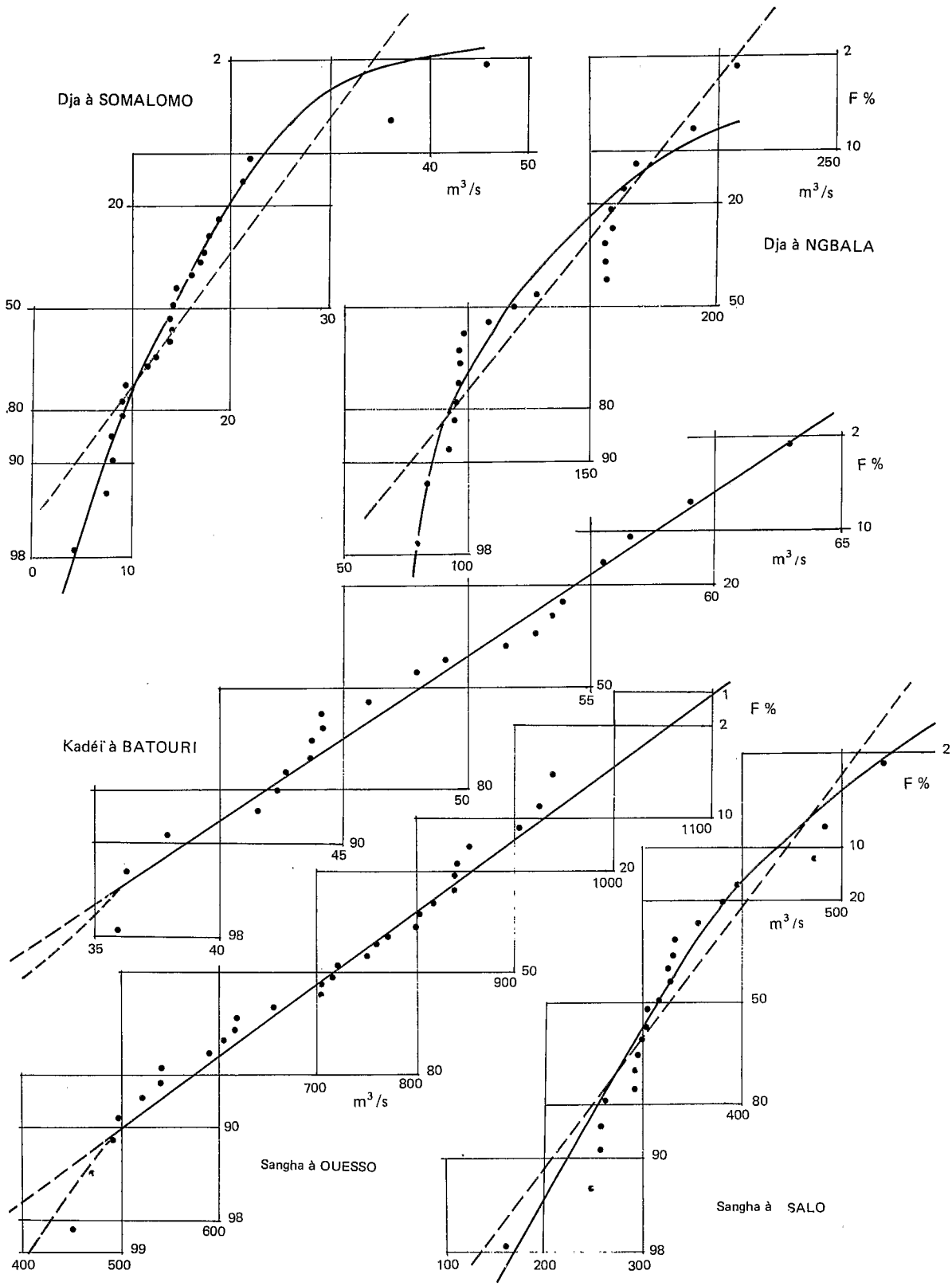


Fig. 7.13. – Analyse fréquentielle des étiages absolus (Bassin de la Sangha).

l'étiage absolu D_{MIN} et des débits caractéristiques DC_E, DC_1, DC_3. Il faut ajouter que ces rapports ne peuvent être directement utilisés pour estimer les débits caractéristiques de fréquences plus rares. Pour la Sangha à Salo par exemple, pour laquelle les analyses fréquentielles de DC_E, DC_1 et DC_3 ont été faites, le rapport des valeurs vicennales tombe à 0,91 pour D_{MIN}/DC_E, à 0,81 pour $D_{MIN}/DC1$ et à 0,625 pour D_{MIN}/DC_3. Cette diminution des rapports est variable suivant l'échantillon disponible des stations.

Cependant, on ne doit pas se faire d'illusion sur la précision des résultats obtenus. On en donnera pour preuve le calcul de ces rapports pour la Sangha à Ouesso à partir de débits caractéristiques médians obtenus par les équations données plus haut. Ces nouveaux rapports sont, dans l'ordre, de 0,92, 0,83 et 0,64 pour des valeurs du tableau de 0,89, 0,80 et 0,64.

L'utilisation des rapports donnés dans le tableau permet une approximation tout à fait convenable des débits caractéristiques de diverses fréquences et va dans le sens de la sécurité puisqu'en conservant ces rapports pour des fréquences rares on aura tendance à sous-estimer les débits d'étiages caractéristiques correspondants.

Tableau 7.24. – Rapport des valeurs médianes de débits caractéristiques d'étiage.

Station	D_{MIN}/DC_E	D_{MIN}/DC_1	D_{MIN}/DC_3
Dja à Somalomo	0.88	0.71	0.42
Dja à Bie	0.79	0.64	0.43
Dja à Ngbala	0.76	0.73	0.52
Boumba à Biwala	0.75	0.60	0.39
Doume à Doume	0.89	0.68	0.45
Kadéi à Batouri	0.91	0.81	0.69
Kadéi à Pana	0.92	0.82	0.66
Sangha à Salo	0.92	0.84	0.63
Sangha à Ouesso	0.89	0.80	0.64

La comparaison de ces rapports d'un bassin à l'autre conduit à faire quelques remarques. On notera en particulier que les rapports D_{MIN}/DC_1 et D_{MIN}/DC_3 sont nettement plus faibles sur le Dja-Ngoko que sur la Sangha Supérieure. Ceci est dû à l'influence équatoriale qui seule s'exerce sur le bassin du Dja (et aussi sur celui de la Doume) et conduit à observer des saisons de basses-eaux plus courtes que sur la Sangha Supérieure et par suite, des débits caractéristiques relativement plus forts par rapport à l'étiage absolu. C'est d'ailleurs ce que nous avons déjà mis en évidence lors de l'examen rapide des données de base. L'étude des débits spécifiques va compléter cette analyse.

3.1.4. Débits spécifiques d'étiage

Les principaux résultats de l'étude des étiages ont été ramenés à des débits spécifiques dans le tableau 7.25. On y trouve d'une part pour l'étiage absolu les valeurs spécifiques des étiages moyen, médian, décennal et vicennal sec, d'autre part, pour les débits caractéristiques de 10 jours (DC_E), 1 mois (DC_1) et 3 mois (DC_3), les valeurs spécifiques médiane et décennale obtenues d'après leurs rapports avec l'étiage absolu.

L'examen de ce tableau permet plusieurs constats.

D'abord, on se trouve nettement en présence de deux familles de cours d'eau, l'une à étiages modestes, l'autre à forts étiages.

Les étiages modestes concernant le bassin de Dja-Ngoko mais aussi celui de la Doume ; ils sont compris entre 2 et 3 l/s.km², valeurs qui constituent déjà des étiages élevés par rapport à ce qui a été vu sur la Sanaga ou le Nyong. Une parenté nette avec le Nyong et le Ntem apparaît. Si on ajoute le poids de la Doume dans l'étiage de Pana, cela conduit à rattacher cette famille au milieu naturel du plateau du Centre-Sud, dont les caractéristiques principales tiennent ici en deux termes : très faibles réserves aquifères disponibles en saison sèche et en même temps saison sèche écourtée par rapport au Nyong, ce qui atténue la sévérité de l'étiage.

Sur la Sangha Supérieure, les étiages sont élevés. Cela tient d'abord aux réserves importantes des hauts bassins de la Kadei et sans doute de la Mambere (grès de Carnot). Nous en avons déjà parlé et l'étiage élevé du Lom sur le bassin de la Sanaga, voisin de la Kadei, corrobore cette hypothèse d'aquifères importants. Ils correspondent aux reliefs du versant sud de l'Adamaoua, de Garoua-Boulaï à Bouar.

Ces étiages absolus médians (allant de 3,8 l/s.km² à Pana à 5,34 l/s.km² à Batouri et 4,6 l/s.km² à Salo) doivent aussi plus en aval leur importance à la cuvette congolaise. Celle-ci dispose, d'une part, de stocks en eau qui ne sont pas négligeables, et, d'autre part, reçoit des apports pluviométriques en saison sèche qui soutiennent l'étiage. C'est bien ce que l'on observe à Ouesso, avec 4,5 l/s.km² à l'étiage absolu médian.

Une autre remarque qui complète ce qui a déjà été dit concerne les débits caractéristiques spécifiques. Ceux-ci restent plus faibles sur le Dja-Ngoko que sur la Sangha, mais l'écart diminue. Ainsi le rapport des valeurs extrêmes de l'étiage absolu (l'une sur le Dja, l'autre sur la Kadei) est de 0,43, alors que le même rapport pour les DC_1 extrêmes passe à 0,55 et à 0,69 pour les DC_3. Ceci rejoint ce que nous disions en 3.1.2.3. sur une saison sèche « plus creuse » et plus courte sur le Dja-Ngoko. La saison sèche plus ouverte du bassin de la Sangha supérieure est heureusement compensée par l'importance des réserves aquifères et un tarissement très lent.

Tableau 7.25. – Débits spécifiques d'étiage (1/s.km²).

Station (S km²)	Etiage absolu D_{MIN} MOY.	MED	$F_{0.10}$	$F_{0.05}$	DC_E MED.	$F_{0.1}$	DC_1 MED	$F_{0.1}$	DC_3 MED	$F_{0.1}$
Dja à Somalomo 5 380	2.99	2.70	1.39	1.02	3.07	1.58	3.80	1.96	6.43	3.31
Dja à Bie 19 500	2.31	2.31	1.54	-	2.92	1.95	3.61	2.41	5.37	3.58
Dja à Ngbala 38 600	3.31	2.98	2.23	2.12	3.92	2.93	4.08	3.05	5.73	4.29
Boumba à Biwala 10 340	2.68	2.37	1.69	1.60	3.16	2.25	3.95	2.82	6.08	4.33
Doume à Doume 515	3.53	3.01	2.14	1.84	3.38	2.40	4.43	3.15	6.69	4.76
Kadéi à Batouri 8 970	5.34	5.34	4.29	3.99	5.87	4.71	6.59	5.30	7.74	6.22
Kadéi à Pana 20 370	3.77	3.77	3.24	3.07	4.10	3.52	4.60	3.95	5.71	4.91
Sangha à Salo 68 400	4.78	4.60	3.29	2.92	5.0	3.58	5.48	3.92	7.30	5.22
Sangha à Ouesso 158 350	4.50	4.50	3.16	2.90	5.06	3.55	5.62	3.95	7.03	4.94

A l'exclusion des zones à très fortes pluviométries et en particulier de celles sur matériau volcanique, il n'y a pas d'autres régions du Cameroun qui présentent des étiages aussi soutenus. Ceci constitue une des particularités essentielles des tributaires camerounais du fleuve Congo et se retrouve d'ailleurs pour d'autres gros affluents du Congo tel le Kasaï, côté Zaïre ou les rivières des plateaux Batéké, côté Congo [1]. On soulignera encore l'individualité fondamentale entre le régime des étiages sur la Sangha supérieure et sur le Dja-Ngoko en rappelant qu'il y a inversion au niveau des précipitations interannuelles qui sont plus fortes sur le Dja (1 635 mm) que sur la Sangha (1 538 mm).

(1) Olivry (1967c) ; là, on sait que les très forts étiages sont dus aux immenses aquifères que constituent les puissantes séries gréseuses et sableuses des plateaux batéké (du Tertiaire et du Stanley-Pool crétacé).

3.2. Étude des hautes-eaux

Cette étude se résume principalement à l'analyse des maximums de crue.

3.2.1. Date d'apparition des maximums de crue

Les maximums de crue ont toujours été observés dans l'échantillon disponible pendant la grande saison des pluies. Ils surviennent d'une année à l'autre avec une régularité dans le temps beaucoup plus grande que les étiages absolus et généralement dans la deuxième quinzaine d'octobre.

Sur le bassin du Dja Ngoko, la plus grande probabilité d'apparition du maximum de crue se situe plutôt vers la fin octobre. Ainsi la date moyenne sur le Dja à Somalomo est le 27/10 et la date médiane le 1er novembre ; sur le Dja à Bie, l'échantillon est très petit mais paraît centré début novembre. A Ngbala, le maximum de crue apparaît en moyenne le 29 octobre (médiane le 30/10).

Pour la Boumba à Biwala, le maximum est plus précoce ; il se situerait en moyenne le 16 octobre, mais

deux périodes d'occurence équivalente semblent se distinguer : tout au début et tout à la fin du mois d'octobre.

Pour le bassin de la Sangha supérieure, l'apparition du maximum semblerait légèrement plus précoce. Sur la Doume à Doume, on retrouve une date moyenne d'apparition le 16 octobre (comme sur la Boumba). La date moyenne d'apparition du maximum absolu sur la Kadei à Batouri est le 19 octobre. Par contre pour la Kadei à Pana – et il s'agit sans doute là d'un échantillon biaisé car trop court –, le maximum apparaît en moyenne le 29 octobre.

Sur le Sangha à Salo, le maximum est observé en moyenne le 20 octobre. Deux périodes de plus forte occurence paraissent partager l'échantillon : l'une dans la 2e semaine d'octobre, l'autre tout à la fin du mois et début novembre.

A Ouesso, sur un échantillon de 32 valeurs, la date moyenne d'apparition du maximum est le 4 novembre. Les deux-tiers des dates sont comprises entre le 27 octobre et le 9 novembre. Cette date moyenne relativement tardive par rapport à Salo pourrait laisser penser que le maximum de Ouesso est davantage déterminé par celui de la Ngoko ; cela est très vraisemblable compte tenu de l'importance du bassin de la Ngoko (Boumba et Ngoko inférieure) par rapport à celui de la Sangha entre Salo et Ouesso. Or la partie aval des bassins voit l'apparition du maximum de crue un peu plus tardivement compte tenu de sa latitude. De plus on notera que le décalage entre Ngbala sur le Dja et Ouesso correspond grosso modo au temps de transfert de la crue (4 à 5 jours).

On a réuni dans le tableau ci-après les résultats principaux de cette analyse.

Tableau 7.26. – Date d'apparition du maximum annuel de crue.

Station	N années	Moyenne date	ET jours	Date précoce F = 0.1	Date tardive F = 0.9	Dates extrêmes observées
Dja à Somalomo	25	27/10	14	9/10	14/11	22/9 - 16/11
" à Bie	8	*1/11*		-		*28/9 - 18/11*
" à Ngbala	20	29/10	12	14/10	13/11	5/10 - 19/11
Boumba à Biwala	12	16/10	19	22/9	9/11	14/9 - 9/11
Doume à Doume	21	16/10	16	25/9	6/11	16/9 - 9/11
Kadéi à Batouri	24	19/10	11	4/10	2/11	22/9 - 4/11
" à Pana	14	29/10	10	16/10	11/11	8/10 - 16/11
Sangha à Salo	20	20/10	13	3/10	5/11	13/9 - 6/11
" à Ouesso	32	4/11	11	21/10	18/4	28/9 - 28/11

3.2.2. Étude fréquentielle des maximums de crue

Pour les stations présentant un nombre d'années suffisamment important, on a comparé les ajustements aux neuf distributions retenues (lois Normale, Gumbel ou doublement exponentielle, Galton ou Gausso-logarithmique, Pearson III, Pearson V, Goodrich, Frechet, Log-Gamma, Fuites).

Nous en résumons les résultats ci-après.

Sur le bassin du Dja Ngoko, on dispose pour cette analyse statistique de deux échantillons convenables au point de vue durée : ceux du Dja à Somalomo et à Ngbala. Pour le **Dja à Somalomo**, on a 25 valeurs de maximums compris entre 115 et 266 m³/s. Les distributions de Gumbel, Galton, Pearson III et V et Log Gamma donnent des ajustements assez comparables. Les prédéterminations de crue de récurrences données sont pratiquement identiques et on a retenu une distribution suivant une loi de Galton dont les caractéristiques sont données ci-après :

Paramètre d'échelle : 110,55, de position : 55,89 – paramètre de forme : 0,296 – Moyenne : 171,4 m³/s – Médiane : 166,4 m³/s – Mode : 157,2 – Variance : 1 218,5 – Coefficient variation : 0,204 – Coefficient d'asymétrie : 0,934 – Coefficient d'aplatissement : 1,592.

Ce qui donne pour la crue décennale un maximum de 217 m³/s et pour la crue centennale une valeur de 276 m³/s.

Sur le Dja à Ngbala, l'échantillon comprend 21 valeurs ; les ajustements les meilleurs concernent encore les distributions citées pour Somalomo. Par souci d'homogénéité, on retiendra la loi de Galton, mais, avant d'en indiquer ses caractéristiques, il faut souligner le caractère quelque peu artificiel de tels choix lorsque les ajustements sont aussi voisins que nous venons de le voir pour ces deux stations du Dja : pour Ngbala, on a les maximums suivants (m³/s).

F	Gumbel	Galton	Pearson III	Pearson V	Log-Gamma
0.5	1189	1189	1188	1190	1190
0.9	1638	1643	1651	1640	1641
0.99	2197	2198	2174	2211	2209

Cette concordance ne constitue d'ailleurs pas pour autant un indice complémentaire de confiance.

Les caractéristiques de la loi de Galton sont les suivantes :

Paramètres d'échelle : 790,5, de position : 399, de forme : 0,354 – Moyenne : 1 240,4 – Médiane : 1 189,4 – Mode : 1 096,5 – Coefficient de variation : 0,248 – Coefficient d'asymétrie : 1,143 – Coefficient d'aplatissement : 2,411.

Pour le Dja à Bie (8 valeurs), un simple ajustement graphique permet d'estimer le maximum moyen à 560 m³/s environ et le maximum décennal à 635 m³/s sous réserve d'une tendance hypergaussique plus prononcée.

L'échantillon de la Boumba à Biwala est à peine plus important (11 valeurs) ; la loi normale n'est pas du tout adaptée et il paraît alors légitime de retenir en l'état actuel des observations un ajustement suivant une loi de Galton. Le maximum moyen étant de 396 m³/s, la valeur médiane de crue serait de

338 m³/s et la valeur décennale atteindrait 676 m³/s (la valeur centennale dépasserait largement 1 000 m³/s, peut-être 1 200 m³/s).

Sur le bassin de la Sangha Supérieure, l'analyse proposée pour **la Doume à Doume** conduit à réfuter catégoriquement une distribution gaussique. L'échantillon de 31 valeurs présente les meilleurs ajustements pour les lois de Fréchet, Pearson V et Galton. Les deux premières lois traduisent une dissymétrie positive nettement plus prononcée pour les valeurs extrêmes que la distribution de Galton, ce qui semble bien correspondre à ce que l'on connaît des bassins dont les zones inondables sont importantes et dont le comportement change du tout au tout pour des événements pluviométriques très exceptionnels.

Les caractéristiques de la distribution suivant une loi de Frechet sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 5,135 – Paramètre de position : 8,671 – Paramètre de forme : — 0,434 – La moyenne est de 16,74 m³/s, la médiane vaut 14,69 et le mode est de 13,06 m³/s. Le coefficient de variation est alors de 0,659.

Avec un maximum médian de 14,7 m³/s, la Doume aurait une crue décennale de 22,3 m³/s, une crue vicennale de 27,3 m³/s, cinquantennale de 36,6 m³/s et centennale de 46,4 m³/s.

Pour la Kadei à Batouri, parmi plusieurs ajustements de qualité comparable, on a retenu celui suivant une distribution de Galton dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 166,77, de position : 154,15, paramètre de forme : 0,271 – Moyenne : 327,1 m³/s, médiane : 320,9 m³/s – Mode : 309,1 m³/s – Coefficient de variation : 0,146 – Coefficient d'assymétrie : 0,847 – Coefficient d'aplatissement : 1,304.

Le maximum de crue de fréquence médiane est donc de 321 m³/s ; le maximum décennal est de 390 m³/s et le maximum centennal atteindrait 467 m³/s.

Pour le Kadei à Pana, les quatorze valeurs dont on dispose ne permettent pas de retenir une distribution autre que normale avec pour moyenne 602 m³/s et écart-type 137 m³/s. La crue décennale atteindrait 780 m³/s et la crue centennale 925 m³/s (?).

Sur la Sangha à Salo, on dispose de 22 années. Les recherches effectuées permettent de retenir les ajustements aux distributions de Goodrich et de Gauss, les différences de l'une à l'autre n'atteignant que — 3 % pour la crue centennale et + 0,8 % pour la crue médiane. Par souci de simplification, on retiendra donc une distribution normale pour la Sangha à Salo.

La crue moyenne ou médiane atteint 2 243 m³/s ; l'écart-type est de 466 m³/s. La crue décennale atteint un maximum de 2 840 m³/s et la crue centennale atteint 3 326 m³/s.

Pour la Sangha à Ouesso, les trente valeurs de maximum de crue dont on dispose permettent d'aboutir aux meilleurs ajustements là aussi suivant une loi de Goodrich ou une loi de Gauss. Là encore les différences entre les deux courbes de distributions sont si peu significatives qu'il convient de retenir la loi de Gauss dont les caractéristiques sont : moyenne : 3 808 m³/s – écart-type : 491 m³/s.
La crue médiane atteint donc 3 808 m³/s ; la crue décennale est de 4 438 m³/s et la crue centennale resterait inférieure à 5 000 m³/s avec un maximum de 4 950 m³/s.

Le tableau 7.27 résume les principaux résultats de cette étude fréquentielle des maximums de crue dont quelques figures illustrent par ailleurs la distribution.

A titre d'exemple, nous indiquerons pour la Sangha à Ouesso l'intervalle de confiance à 80 % des valeurs médianes décennale et centennale ($\pm$ IC_{80}) :

Maximum de crue médian = 3 808 $\pm$ 117 m³/s soit $\pm$ 3,1 %

Maximum de crue décennal = 4 438 $\pm$ 158 m³/s soit $\pm$ 3,6 %

Maximum de crue centennal = 4 951 $\pm$ 226 m³/s soit $\pm$ 4,6 %

3.2.3. Signification des résultats

Distribution statistique des maximums de crue et comportement hydrologique des différents cours d'eau

Comme pour le Nyong ou la Sanaga, les distributions hypernormales correspondent aux ajustements les plus fréquents d'échantillons de maximums de crues. Il s'agit là du cas général pour lequel la genèse des crues procède d'une réaction d'ensemble de tout le bassin de comportement homogène ; cela se traduit en particulier, statistiquement, par une période assez courte dans l'année d'apparition du maximum.

Par contre les distributions tendent vers la normalité ou l'hyponormalité lorsque les maximums de crue ne sont pas simultanés sur les branches majeures du réseau hydrographique ou lorsque les conditions aval sont très différentes des conditions amont. Ce dernier cas s'appliquait au Nyong, le premier à la Sanaga (Mbam et Sanaga).

Pour les tributaires du bassin du Congo, on retrouve pour les mêmes causes, les mêmes effets, à savoir une distribution normale des maximums de crue de la Kadei à Pana, de la Sangha à Salo et de la Sangha à Ouesso.

Pour la Kadei à Pana, il s'agit du comportement différent des branches Doume et Kadei Supérieure. A Salo, on peut penser qu'il y a aussi décalage des maximums de la Mambere qui précèdent ceux de la Kadei. A Ouesso, cela correspond bien sûr aux comportements très différents de la Ngoko et de la Sangha. Il est probable que la distribution des crues de la Ngoko à Moloundou après le confluent Dja-Boumba suit aussi une loi normale.

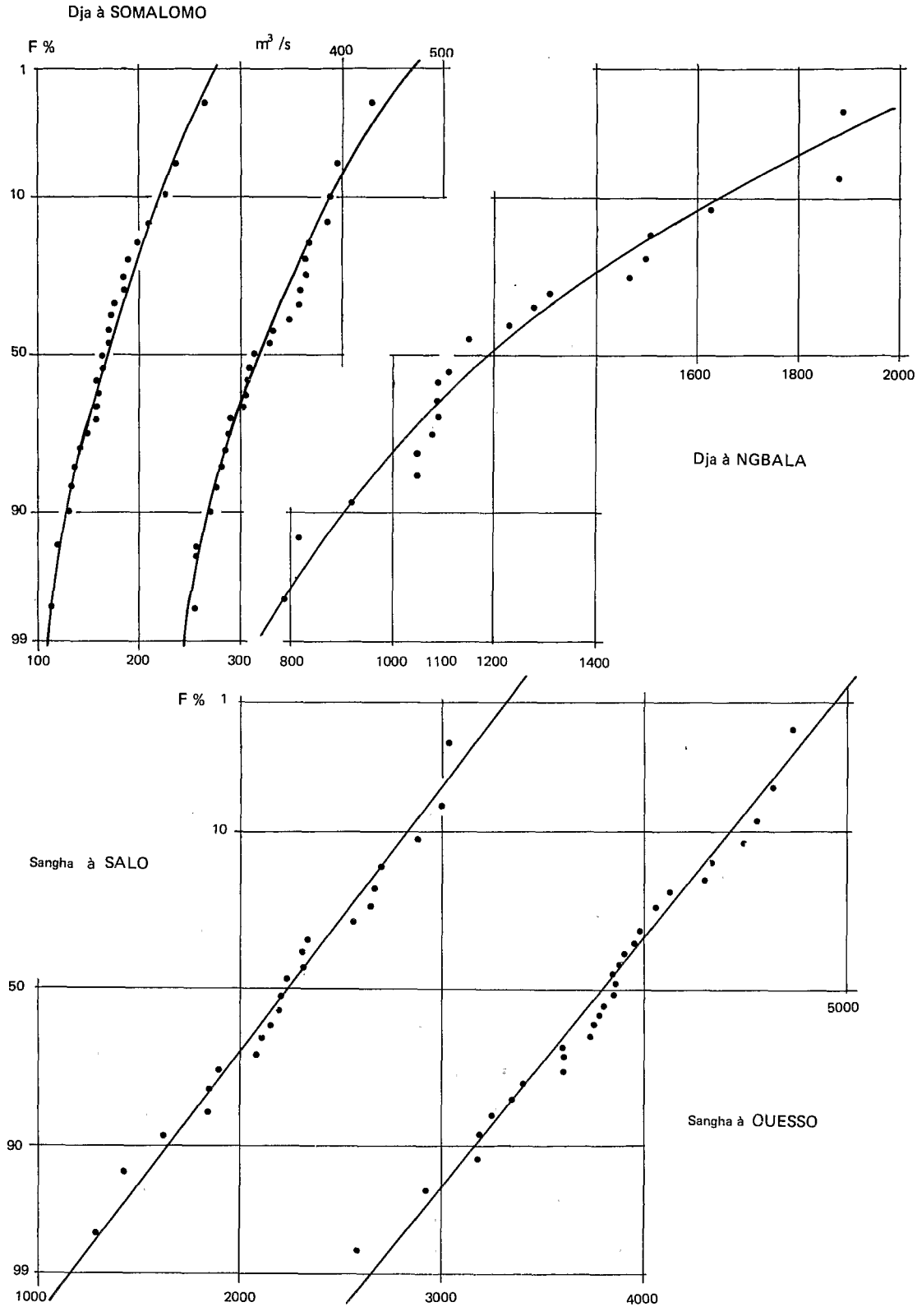


Fig. 7.14. – Analyse fréquentielle des maximums de crue (Bassin de la Sangha).

Tableau 7.27. – Étude fréquentielle des maximums de crue.

Station	Nb années	Distribution	E.T.	Moyenne	C_V	Médiane 0.5	Crues Années Humides Périodes de retour (ans)			
							10	20	50	100
Dja à Somalomo	25	GALTON	34.6	171	0.202	166	217	236	259	276
" à Bie	8	graph.		560			635			
" à Ngbala	21	GALTON	299	1240	0.241	1189	1643	1813	2033	2198
Boumba à Biwala	11	GALTON	*216*	395	*0.547*	338	*676*	*831*	*1052*	
Doume à Doume	31	FRECHET	4.6	16.3	0.282	14.7	22.3	27.3	36.6	46.4
Kadéi à Batouri	25	GALTON	46.1	327	0.141	321	390	414	445	467
" à Pana	14	NORM	137	602	0.228	602	780	835	*890*	*925*
Sangha à Salo	22	NORM	466	2243	0.208	2243	2840	3009	3200	3326
" à Ouesso	30	NORM	491	3808	0.129	3808	4438	4616	4817	4951

Puissance des crues, variabilité régionale, irrégularité interannuelle

On a reporté en coordonnées logarithmiques dans la figure 7.15 les débits de crue médians en fonction de la superficie des bassins. Quelques valeurs des fleuves côtiers et du bassin de la Sanaga ont été rappelées pour comparaison.

Les débits médians s'alignent d'une façon remarquable sur une droite suivant la forme simple :

$$Q_{MAX\ 0,5} = 0{,}03\ S \quad Q \text{ en } m^3/s \text{ et } S \text{ en } km^2.$$

A partir d'un bassin de 100 000 km², il y a fléchissement de la relation. (La qualité du coefficient de corrélation – 0,989 – compense un peu le petit nombre de couples mis en régression.)

Les valeurs décennales s'ordonnent de manière moins satisfaisante car les déterminations restent assez sommaires pour des stations comme Bie, Pana et Biwala. Pour cette dernière, l'estimation qui a été faite est de toute évidence très surestimée.

Sur le plan de la puissance des crues on notera d'abord qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre la branche Ngoko et la branche Sangha supérieure (la Kadei est légèrement plus forte mais ce n'est pas significatif). Les maximums de crue médians sont de puissance comparable à ceux du Nyong supérieur mais nettement plus faibles que pour le Nyong aval ou le Ntem, plus arrosés, et que pour le bassin de la Sanaga, pour lequel il y a une plus forte concentration des pluies au moment des hautes-eaux. Le régime équatorial – de transition ou non – conduit à un étalement de la saison des pluies et pour une même hauteur annuelle à des précipitations « ponctuelles » moins abondantes.

L'irrégularité interannuelle est traduite par le coefficient de variation (calculé par le simple rapport ET/MOY de l'échantillon disponible) et le rapport Crue Centennale/Crue décennale $K_{c/D}$ dont l'intérêt est de situer cette irrégularité au niveau des très faibles récurrences et par suite de constituer un indice pour la détermination des « crues de projet ».

Ces valeurs sont indiquées dans le tableau 7.28.

Tableau 7.28.

Station	C_V	$K_{c/D}$	Station	C_V	$K_{c/D}$
Dja à Somalomo	0.202	1.27	Kadéi à Batouri	0.141	1.20
Dja à Ngbala	0.241	1.34	Kadéi à Pana	0.228	1.19
Boumba à Biwala	0.547		Sangha à Salo	0.208	1.17
Doume à Doume	0.282	2.08	Sangha à Ouesso	0.129	1.12

Le coefficient de varition de la Boumba est trop élevé pour être pris en considération ; les autres C_V sont supérieurs à 0,2 sauf pour Batouri et Ouesso. Ils sont légèrement supérieurs à ce que l'on connaît sur le Nyong, comparables au coefficient de variation du Ntem et de fait semblent augmenter lorsque le caractère équatorial du bassin s'accentue. Pour les grands bassins, les superficies importantes comme à Ouesso deviennent bien sûr un facteur de régularité interannuelle. La Kadei à Batouri présente un coefficient de variation nettement plus faible qui montre son appartenance au régime tropical de transition et est comparable aux valeurs de C_V relevées sur le bassin de la Sanaga.

C'est ici l'occasion de rappeler un des traits importants des régimes hydroclimatiques équatoriaux dont l'irrégularité interannuelle est plus grande que dans la zone tropicale de transition. Au niveau des

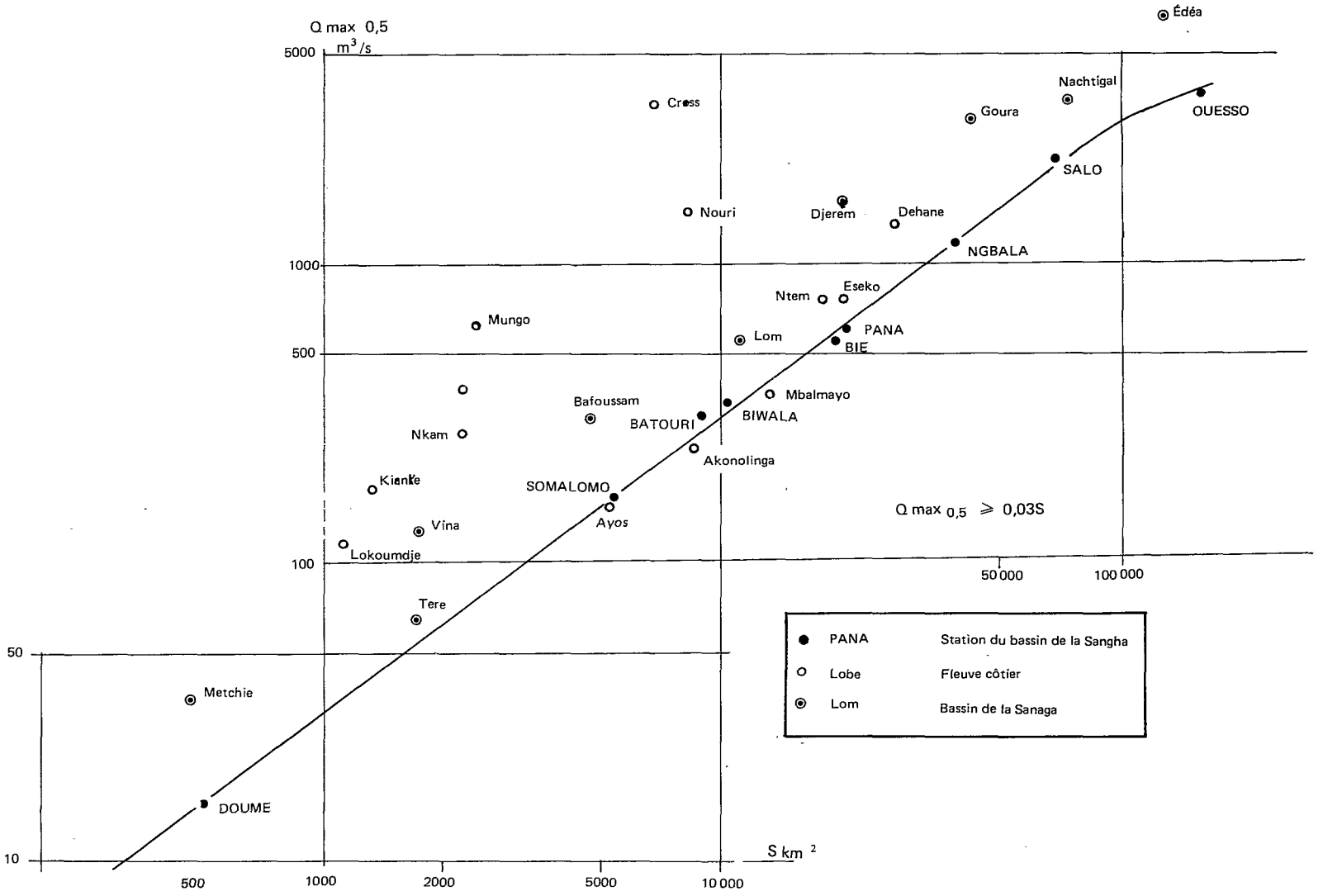


Fig. 7.15. – Maximums de crue médians et superficie des bassins versants.

Tableau 7.29.

Station	Maximum (1/s.km²)			Station	Maximum (1/s.km²)		
	Moyen	Médian	Décennal		Moyen	Médian	Décennal
Dja à Somalomo	31.8	30.9	40.3	Kadéi à Batouri	36.5	35.8	43.5
Dja à Bie	28.7	-	-	Kadéi à Pana	29.6	29.6	38.3
Dja à Ngbala	32.1	30.8	42.6	Sangha à Salo	32.8	32.8	41.5
Boumba à Biwala	38.2	32.7	*65.4*	Sangha à Ouesso	24.0	24.0	28.0
Doume à Doume	31.7	28.5	43.3				

Tableau 7.30.

Station	MAX/DCC	MAX/DC_{11}	MAX/DC_9	Station	MAX/DCC	MAX/DC_{11}	MAX/DC_9
Dja à Somalomo	1.06	1.26	2.02	Kadéi à Batouri	1.10	1.31	2.20
" à Bie	*1.04*	*1.23*	*2.08*	Kadéi à Pana	*1.02*	*1.21*	*1.81*
" à Ngbala	1.13	1.37	2.21	Sangha à Salo	1.15	1.43	2.38
Boumba à Biwala	*1.19*	*1.66*	*2.54*	Sangha à Ouesso	1.03	1.13	1.86
Doume à Doume	1.20	1.39	1.93				

valeurs extrêmes, avec $K_{c/D}$, le phénomène paraît s'atténuer mais est encore net. Pour ce qui est de la Doume, on a rappelé précédemment que l'incidence de zones marécageuses ne jouait plus de rôle tampon pour les événements de fréquence très rare, d'où cette valeur exceptionnelle de $K_{c/D}$.

Débits spécifiques et débits caractéristiques de crue

Les débits spécifiques des maximums de crue moyens, médians et décennaux ont été reportés dans le tableau 7.29.

On retrouve des valeurs spécifiques des maximums de crue assez comparables entre elles sans grande évolution d'un bassin à l'autre, ce qui correspond d'ailleurs à la relation linéaire que nous avons établie liant les débits (m³/s) à la superficie des bassins [1]. Comme sur le Nyong, où l'on retrouve d'ailleurs la même gamme de valeurs de l'ordre de 30 l/s.km² pour le maximum médian, on n'observe pas de diminution significative de l'amont vers l'aval du débit spécifique de crue. Ces maximums de crue sont nettement moins prononcés que sur la Sanaga où pour des superficies du même ordre les débits spécifiques sont compris entre 50 et 100 l/s.km² et même supérieurs.

Pour la Sangha à Ouesso, le débit spécifique de la crue médiane est tombé à 24 l/s.km² ; dans le cours aval de la Sangha supérieure et de la Ngoko, il y a donc un net étalement de l'hydrogramme dû aux faibles vitesses d'écoulement dans la cuvette congolaise.

On soulignera que cette valeur de la Sangha ne représente que la moitié de celle de la Sanaga à Edéa (48 l/s.km²) (60 % en débits réels).

Les relations entre le débit maximum et les débits caractéristiques de crue vont compléter l'image de l'hydrogramme des tributaires du bassin du Congo.

On a calculé les rapports entre le débit maximum et les débits caractéristiques de crue de 10 jours, 1 mois et 3 mois (DCC, DC_{11}, DC_9). Ces rapports sont donnés dans le tableau 7.30.

Ces rapports changent peu d'une rivière à l'autre et correspondent *grosso modo* à ce que l'on a sur le Nyong (valeurs un peu plus faibles) ou sur la Sanaga. L'hydrogramme de hautes-eaux a sensiblement le même aspect. Une exception cependant doit être faite pour la Sangha à Ouesso qui a un hydrogramme trapu.

En conclusion donc, les tributaires du bassin du Congo présentent des maximums absolus modestes par rapport à ce qui a été vu sur le Sud-Cameroun et une période de hautes-eaux d'importance relative comparable aux régions voisines, l'effet équatorial s'y fait surtout sentir à travers un régime de moyennes-eaux assez soutenu. A ces conditions de régime s'ajoute pour la Sangha à Ouesso l'effet « cuvette congolaise » qui étale l'hydrogramme de la crue annuelle.

(1) Laquelle relation linéaire implique un débit spécifique moyen de 30 l/s.km².

Rappelons aussi, comme on l'a montré dans la figure 7.15 que les valeurs médianes des maximuns de crue du bassin de la Sangha et du Nyong supérieur constituent une limite inférieure de ce qui peut être observé au Cameroun en particulier au sud de l'Adamaoua.

3.3. Étude des modules et du bilan hydrologique

3.3.1. Analyse fréquentielle des modules

Les échantillons disponibles ont été ajustés suivant les distributions déjà citées et les ajustements testés.

Les modules du Dja à Somalomo se distribuent le plus vraisemblablement suivant une loi normale, encore qu'une distribution hypernormale suivant une loi des Fuites tient compte des 2 modules les plus faibles dont celui de 1977 sans toutefois s'appuyer réellement sur ces modules. Par contre, la loi de Gauss s'appuie sur la valeur extrême la plus forte connue (1964). Les deux courbes ont été tracées dans la figure 7.16. On a finalement retenu la loi normale caractérisée par sa moyenne $\bar{Q} = 66$ m³/s et son écart-type ET = 14,8 m³/s. Les valeurs décennales sèche et humide des modules sont respectivement de 47 m³/s et de 85 m³/s.

Sur le Dja à Bie, l'échantillon est trop court pour une analyse fréquentielle ; en outre la moyenne expérimentale de 201 m³/s est très largement sous-estimée du fait de la période d'observation très largement déficitaire.

A Ngbala, les observations dont on dispose constituent un échantillon de modules assez disparate pour lequel le meilleur ajustement obtenu se rapporte à une loi de Pearson III mais n'exclut pas une large dispersion. La dissymétrie positive est bien marquée par des valeurs extrêmes nettement plus élevées que dans une distribution normale (+ 44 % pour la fréquence centennale sèche, + 14 % pour la fréquence centennale humide). Les paramètres de la distribution Pearson III sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 59,5 – Paramètre de position : 221,5 – Paramètre de forme : 3,375 – Moyenne : 422,1 m³/s – Médiane : 402,7 m³/s – Mode : 362,7 m³/s – Coefficient de variation : 0,259 – Coefficient assymétrie : 1,089 – Coefficient aplatissement : 1,778.

Les modules décennaux secs et humides sont respectivement de 301 m³/s et 569 m³/s.

Pour la Boumba à Biwala, les différentes distributions donnent des résultats très voisins pour un échantillon de 10 valeurs seulement. La loi de Gauss sera retenue en l'état actuel des observations mais il va de soi que les prédéterminations effectuées restent imprécises. Pour un module moyen de 107,5 m³/s (ET : 19,1 m³/s), la « fourchette » de l'intervalle de confiance à 80 % est (99,2 – 115,8 m³/s). Pour le module décennal sec de 83 m³/s, on a un intervalle (71,8 – 94,2 m³/s) ; pour le module décennal humide (132 m³/s), la « fourchette » est (121-143).

Côté Sangha supérieure, la distribution des modules de la Kadei à Batouri s'ordonne suivant une loi de Pearson III dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 7,201 ; de position : 85,04 ; de forme : 4,78 ; moyenne : 119,5 ; médiane : 117,1 ; mode : 112,3 (m³/s) ; coefficient de variation : 0,132 ; assymétrie : 0,915 ; aplatissement : 1,255.

Les modules décennaux sec et humide sont respectivement de 101 et 141 m³/s, ce qui correspond à une faible irrégularité interannuelle.

Les modules de la Doume à Doume s'ajustent à une distribution de Galton dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle : 4,787 ; de position : 1,154 ; de forme : 0,317 ; moyenne : 6,19 m³/s ; médiane : 5,94 m³/s ; mode : 5,48 m³/s ; coefficient de variation : 0,264 ; assymétrie : 1,01 ; aplatissement : 1,866.

Les modules décennaux sec et humide sont respectivement de 4,34 et 8,34 m³/s.

L'échantillon de la Kadei à Pana ne comprend que dix modules. Un ajustement suivant une loi normale admet une moyenne de 247,5 m³/s, un écart-type de 47,9 m³/s, un coefficient de variation de 0,194 et des modules décennaux sec et humide de 187 m³/s et 309 m³/s. Avec celle de la Doume, l'irrégularité a beaucoup augmenté depuis Batouri.

Les vingt-deux modules de la Sangha à Salo montrent des ajustements comparables d'assez bonne qualité aux distributions de Gauss et de Goodrich. On a retenu la loi normale. Le module moyen est de 803 m³/s, l'écart-type est de 127 m³/s et le coefficient de variation vaut 0,158. Les modules décennaux sec et humide sont respectivement de 641 m³/s et de 965 m³/s.

Pour la Sangha à Ouesso, le meilleur ajustement à l'échantillon de 29 modules suit une loi normale. Le module moyen est de 1 713 m³/s, l'écart-type est de 247 m³/s et le coefficient de variation est de 0,144. Les modules décennaux sec et humide sont respectivement de 1 396 m³/s et de 2 030 m³/s.

On a indiqué dans le tableau 7.31 une récapitulation des résultats de cette analyse fréquentielle ainsi que quelques valeurs de diverses récurrences et les coefficients d'irrégularité interannuelle, K_3 défini comme le rapport des modules décennaux et C_V coefficient de variation de l'échantillon naturel (ET/Moy).

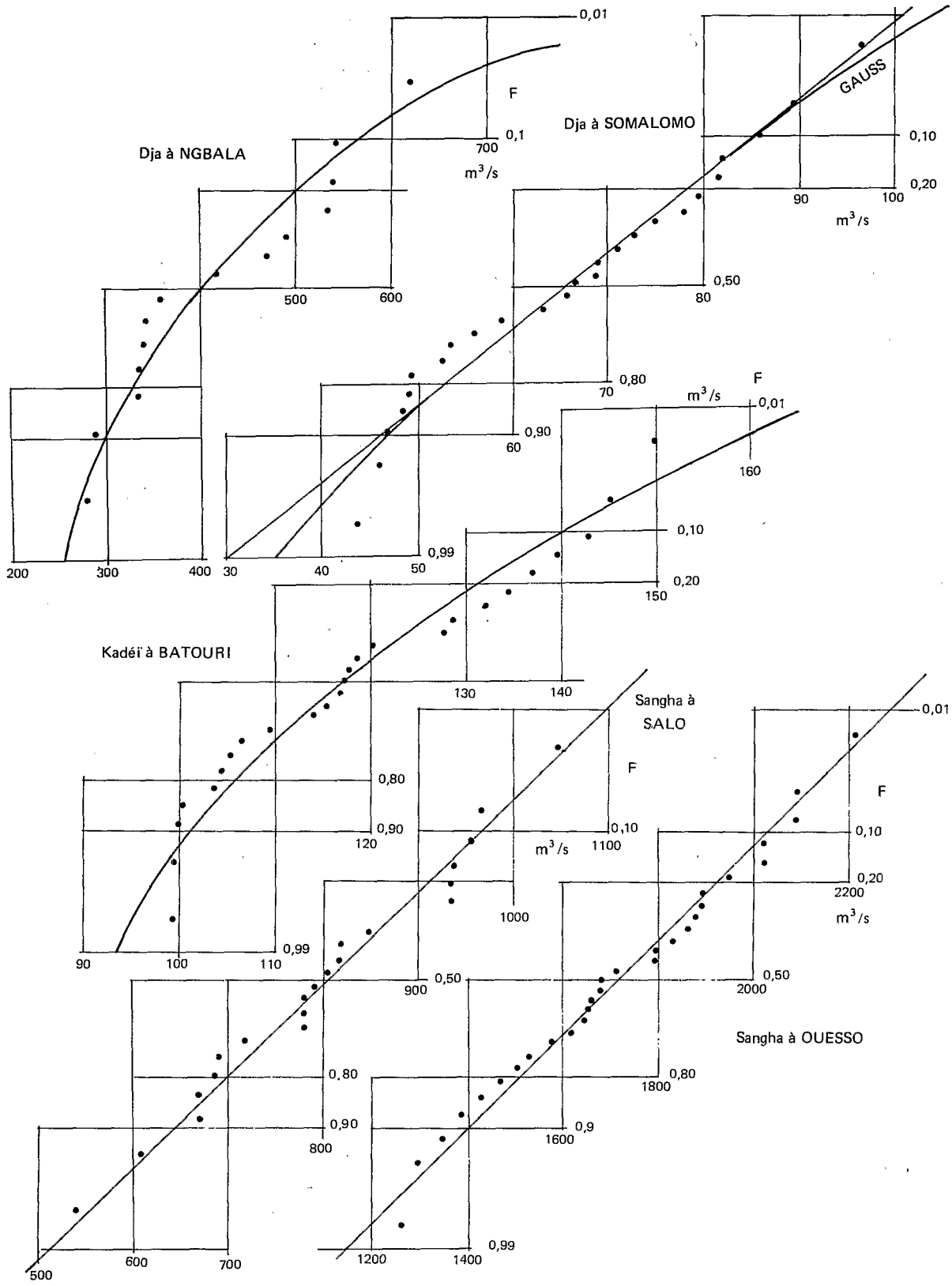


Fig. 7-16. – Analyse fréquentielle des modules sur le bassin de la Sangha.

Tableau 7.31. – Analyse fréquentielle des modules du bassin de la Sangha.

Station	Années Sèches Périodes de retour (ans)				Médiane	Années Humides Périodes de retour (ans)				K_3	C_V
	100	20	10	5		5	10	20	100		
Dja à Somalomo	31.5	41.6	47.0	53.5	66.0	78.5	85.0	90.4	100	1.81	0.225
Dja à Bie					*220*						
Dja à Ngbala	255	282	301	329	403	504	569	629	758	1.89	0.249
Boumba à Biwala	-	76.1	83.0	91.4	108	124	132	139	-	1.59	0.178
Doume à Doume	3.44	4.00	4.34	4.82	5.94	7.40	8.34	9.22	11.2	1.92	0.260
Kadéi à Batouri	93.5	98.2	101	106	117	132	141	149	166	1.40	0.129
Kadéi à Pana	-	*170*	187	207	247	288	309	*326*	-	1.65	0.194
Sangha à Salo	509	595	641	697	803	910	965	1011	1098	1.51	0.158
Sangha à Ouesso	1138	1306	1396	1505	1713	1922	2030	2120	2289	1.45	0.144

3.3.2. Signification des résultats de l'étude statistique des modules

Irrégularité interannuelle

La distribution des modules semble passer d'amont en aval d'un ajustement hypergaussique à un ajustement gaussique. C'est aussi ce que l'on observe d'une manière générale sur le bassin de la Sanaga. A cette règle il ne semble y avoir ici qu'une seule exception dans l'évolution inverse notée sur le Dja entre Somalomo et Ngbala. Comme pour le Nyong où cette particularité devenait règle, les précipitations plus abondantes reçues sur la partie aval du bassin pourraient en constituer l'explication. Sur le Dja, la pluviométrie augmente en effet assez nettement dans la grande boucle du cours d'eau vers Sangmelima, bien en aval donc de Somalomo.

L'irrégularité interannuelle traduite tant par le coefficient de variation C_V que par le K_3, rapport des modules décennaux, est nettement plus marquée pour la branche Dja-Ngoko-$C_V = 0{,}249$, $K_3 = 1{,}89$ à Ngbala – que sur le Nyong et comparable à celle du Ntem. Sur le bassin de la Sangha supérieure, la régularité augmente avec la tendance tropicale de transition – pour Batouri, $C_V = 0{,}129$, $K_3 = 1{,}40$ – et la taille du bassin. A Salo, $C_V = 0{,}158$, $K_3 = 1{,}51$; à Ouesso, $C_V = 0{,}144$, $K_3 = 1{,}45$.

L'irrégularité interannuelle des modules suit, sans surprises, les mêmes variations que celle des autres paramètres hydrologiques ou climatiques étudiés sur le bassin de la Sangha.

Tableau 7.32. – Débits spécifiques en l/s.km².

Station	Module Décennal sec	Médiane	Moyenne	Module Décennal humide
Dja à Somalomo	8.74	12.3	12.3	15.8
Dja à Bie	-	-	11.7	-
Dja à Ngbala	7.80	10.4	10.9	14.7
Boumba à Biwala	*8.03*	10.4	10.4	*12.8*
Doume à Doume	8.43	11.5	12.0	16.2
Kadéi à Batouri	11.3	13.1	13.3	15.7
Kadéi à Pana	9.18	12.1	12.1	15.2
Sangha à Salo	9.37	11.7	11.7	14.1
Sangha à Ouesso	8.82	10.8	10.8	12.8

L'écoulement annuel moyen sur le bassin de la Sangha

Les modules moyens ont été étudiés en fonction de la superficie des bassins versants. Ils s'ordonnent suivant une forme linéaire de très bonne qualité si l'on se base sur le coefficient de corrélation obtenu : r = 0,999. L'équation théorique de la droite de régression – qui implique une ordonnée à l'origine qui n'a pas ici de signification physique – a été écartée au profit de l'équation graphique suivante :

$$\bar{Q} = 0{,}0117\ S \quad Q \text{ en } m^3/s \text{ et } S \text{ en } km^2.$$

On soulignera que l'intervalle de confiance à 95 % du coefficient a de passage de S à $\bar{Q}$, compte tenu du coefficient r obtenu, donné par la « fourchette » {0,01175 — 0,01160}, est très étroit. La fig. 7.17 présente cette relation ; elle montre aussi qu'aucune relation comparable ne peut être obtenue pour la Sanaga, le Nyong ou les fleuves côtiers ; enfin on voit que la droite de régression de la Sangha constitue la limite inférieure des modules moyens que l'on peut observer au sud de l'Adamaoua (idem pour les maximums de crue étudiés précédemment).

On a donc mis en évidence une remarquable unité géographique sur le bassin de la Sangha (avec le Nyong supérieur), et dans le même temps un écoulement moindre que dans les autres régions du Cameroun « humide ». Bien entendu, le coefficient a de l'équation de la droite correspond au module spécifique moyen de la région, soit 11,7 l/s.km².

Les débits spécifiques

Les débits spécifiques ont été calculés pour les valeurs médiane, moyenne et décennale et reportés dans le tableau 7.32 ci-dessus.

On a déjà dit que les modules spécifiques moyens de la Sangha variaient peu, en moyenne de l'ordre de 11,7 l/s.km². Les valeurs extrêmes – de 13,3 l/s.km² pour la Kadei à Batouri et de 10,4 l/s.km² pour la Boumba – correspondent aux conditions extrêmes, du bassin de la forêt congolaise (Boumba) aux confins de l'Adamaoua (Kadei).

Le module décennal sec est en moyenne de 9 l/s.km² ; la dichotomie entre Dja-Ngoko et Sangha supérieure apparaît plus nettement, les plus faibles valeurs étant relevées sur Dja-Ngoko, ce qui correspond bien à la plus forte irrégularité relevée pour ce bassin.

C'est cette même irrégularité qui donne un accroissement relativement plus fort des modules d'années humides, les modules décennaux du Dja-Ngoko étant alors comparables à ceux de la Sangha supérieure. On a un module spécifique décennal moyen de l'ordre de 15 l/s.km² sur le bassin de la Sangha. Les conditions aval du bassin – qui seront précisées au niveau du bilan – conduisent à observer une diminution du module spécifique au niveau de Ouesso, notamment pour le module décennal humide de 12,8 l/s.km².

3.3.3. Répartition des apports entre Dja-Ngoko et Sangha

Corrélations entre stations principales

La recherche d'une corrélation entre les modules de la Sangha à Ouesso et de la Sangha à Salo, à partir des 22 couples, aboutit à une relation linéaire dont l'équation de la droite s'écrit : $Q_{Ouesso} = 1{,}46\ Q_{Salo} + 596$, mais dont la dispersion des valeurs expérimentales est très importante. Le coefficient de corrélation r n'est que de 0,756, ce qui indique une régression de mauvaise qualité.

Entre les modules de Ngbala et de Ouesso, la recherche d'une régression linéaire aboutit à de meilleurs résultats. Avec 14 années communes, le coefficient de corrélation r est de 0,902. L'équation de la droite s'écrit :

$$Q_{Ouesso} = 2{,}43\ Q_{Ngbala} + 663.$$

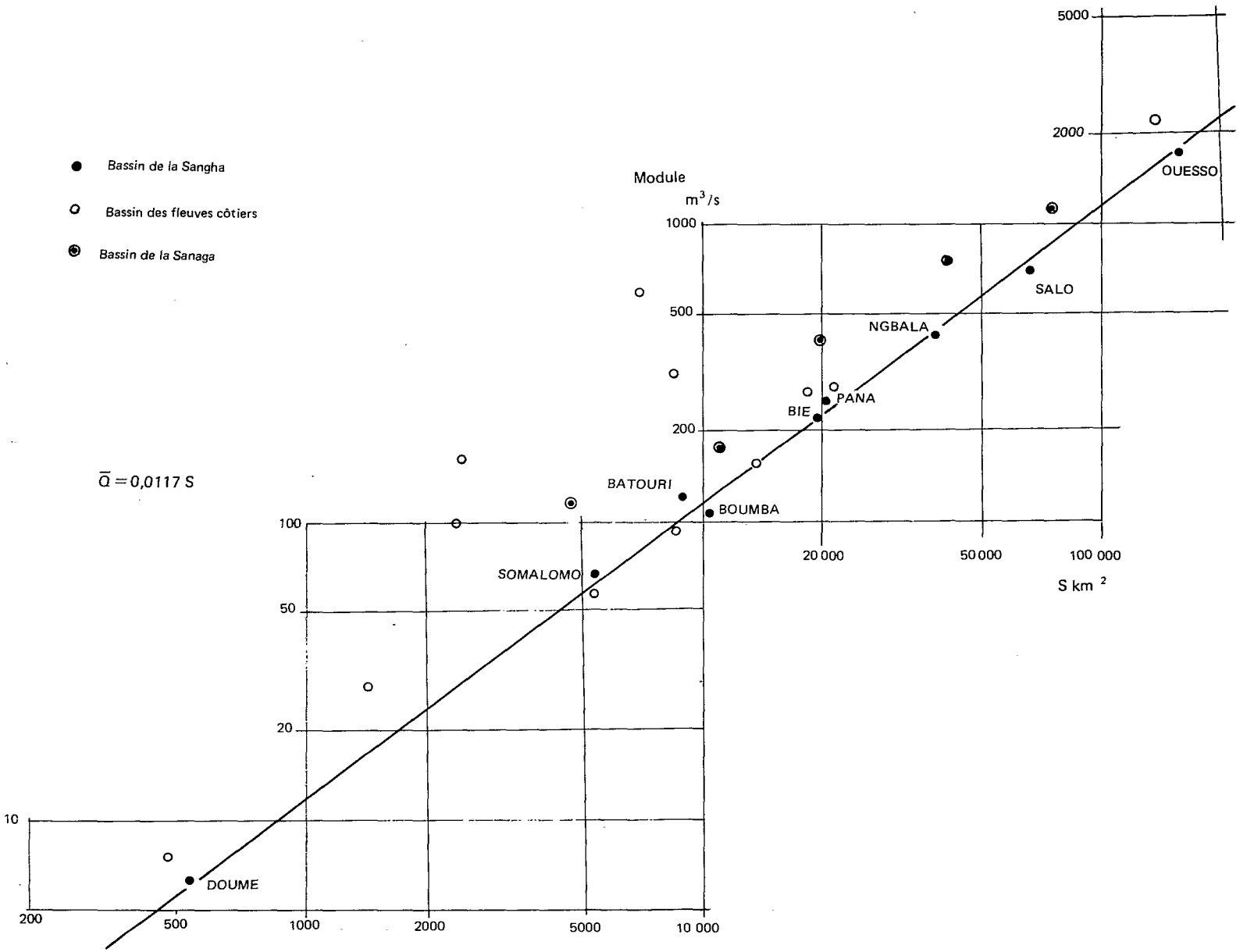


Fig. 7-17. – Modules moyens et superficie des bassins.

Ceci semblerait indiquer que le Dja, pourtant encore modeste à Ngbala, et a fortiori la Ngoko plus en aval, joue un rôle plus déterminant que la Sangha supérieure dans les variations de l'écoulement annuel mesuré sur la Sangha à Ouesso ; mais ceci est bien normal puisque l'irrégularité interannuelle est nettement plus forte sur le Dja (cf. figure 7.18).

Comparaison des apports du Dja à Ngbala, de la Sangha à Salo et à Ouesso

On ne dispose que de 12 années communes pour les trois stations de Ngbala (38 600 km²), Salo (68 400 km²) et Ouesso (158 350 km²). Les modules respectifs de ces années ont été indiqués dans le tableau 7.33 ainsi que les valeurs en pourcentages des modules observés à Ouesso.

Tableau 7.33.

Année	Ngbala	%	Salo	%	Ouesso	% Ngbala + Salo
56-57	419	24.5	818	47.8	1 710	72.3
57-58	621	28.1	935	42.3	2 210	70.4
58-59	283	20.4	687	49.4	1 390	69.8
59-60	470	25.1	779	41.7	1 870	66.8
60-61	544	27.1	847	42.1	2 010	69.2
61-62	292	17.8	672	41.0	1 640	58.8
63-64	534	25.7	790	38.0	2 080	63.7
64-65	539	30.1	670	37.4	1 790	68.5
71-72	340	22.2	717	46.9	1 530	69.1
72-73	336	26.7	538	42.7	1 260	69.4
73-74	337	25.1	607	45.3	1 340	70.4
74-75	490	26.1	939	49.9	1 880	76.0
$\overline{Q}$	433.75	25.1	749.9	43.5	1 725.8	68.6
s	114.24		124.1		303.6	

Les moyennes obtenues sur ces douze années montrent que l'écoulement annuel mesuré sur le Dja à Ngbala représente 25,1 % de celui mesuré sur la Sangha à Ouesso quand il est de 43,5 % sur la Sangha à Salo. 68,6 % de l'écoulement mesuré à Ouesso a été contrôlé aux stations de Ngbala et de Salo.

Ces pourcentages correspondent avec une étonnante précision aux pourcentages des superficies des bassins versants par rapport à la superficie du bassin de la Sangha à Ouesso :

Bassin du Dja à Ngbala : 24,4 % au total :
Bassin de la Sangha à Salo : 43,2 % 67,6 %

En étudiant année par année ces pourcentages on a cru pouvoir discerner une tendance à l'accroissement de la participation du Dja pour les forts modules de Ouesso, avec le phénomène inverse pour Salo, ce qui conduit à une remarquable stabilité de la participation globale des deux cours d'eau. Les pourcentages extrêmes sont de 17,8 % et 30,1 % pour Ngbala, de 37,4 % et 49,9 % pour Salo, soit dans les deux cas une amplitude de 12,5 %. La participation la plus

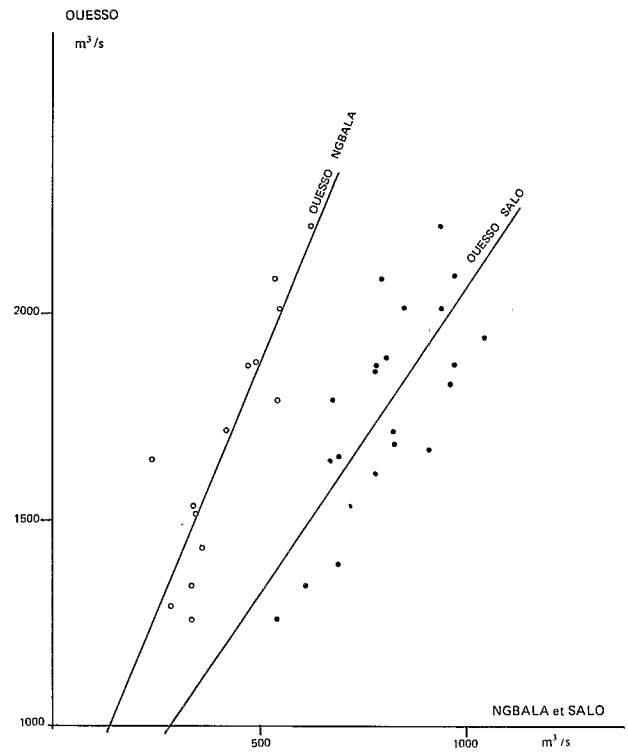


Fig. 7.18. – Corrélations entre modules.

faible des deux cours d'eau a été observée en 1961 avec 59 % et la plus forte est relevée en 1974 avec 76 %.

Bien entendu en comparant les valeurs moyennes obtenues sur les 12 années communes à celles que l'on aurait à partir des modules moyens de la période d'observations ou des modules découlant du calcul des débits moyens mensuels, on aboutit à d'autres pourcentages qui restent voisins cependant.

En conclusion, on retiendra que l'écoulement moyen du Dja à Ngbala concerne 25 % de l'écoulement total mesuré à Ouesso et que celui de la Sangha à Salo en concerne 45 %.

Répartition des écoulements entre différents tributaires

L'extrême régularité des valeurs de l'écoulement interannuel sur le bassin de la Sangha qui ressort de l'ensemble de cette étude des modules ne justifie pas pour autant que l'on détermine le module interannuel des branches principales du réseau du bassin de la Sangha à partir du module de Ouesso par le simple rapport des superficies. Ce serait ramener tous les modules spécifiques à celui de Ouesso.

En tenant compte de ce qui précède, de l'étude des modules spécifiques et de la comparaison des périodes ayant servi au calcul des moyennes, on est arrivé à homogénéiser les résultats et à proposer le schéma de répartition des écoulements annuels entre les

Tableau 7.34.

	Ngbala (m^3/s)	%	Salo (m^3/s)	%	Ouesso (m3/s)	Total %
moy. 12 ans	434	25.1	750	43.5	1 726	68.6
Modules moyens	422	24.6	803	46.9	1 713	71.4
Modules (Σ q mensuels)	420	24.7	801	47.2	1 700	71.9

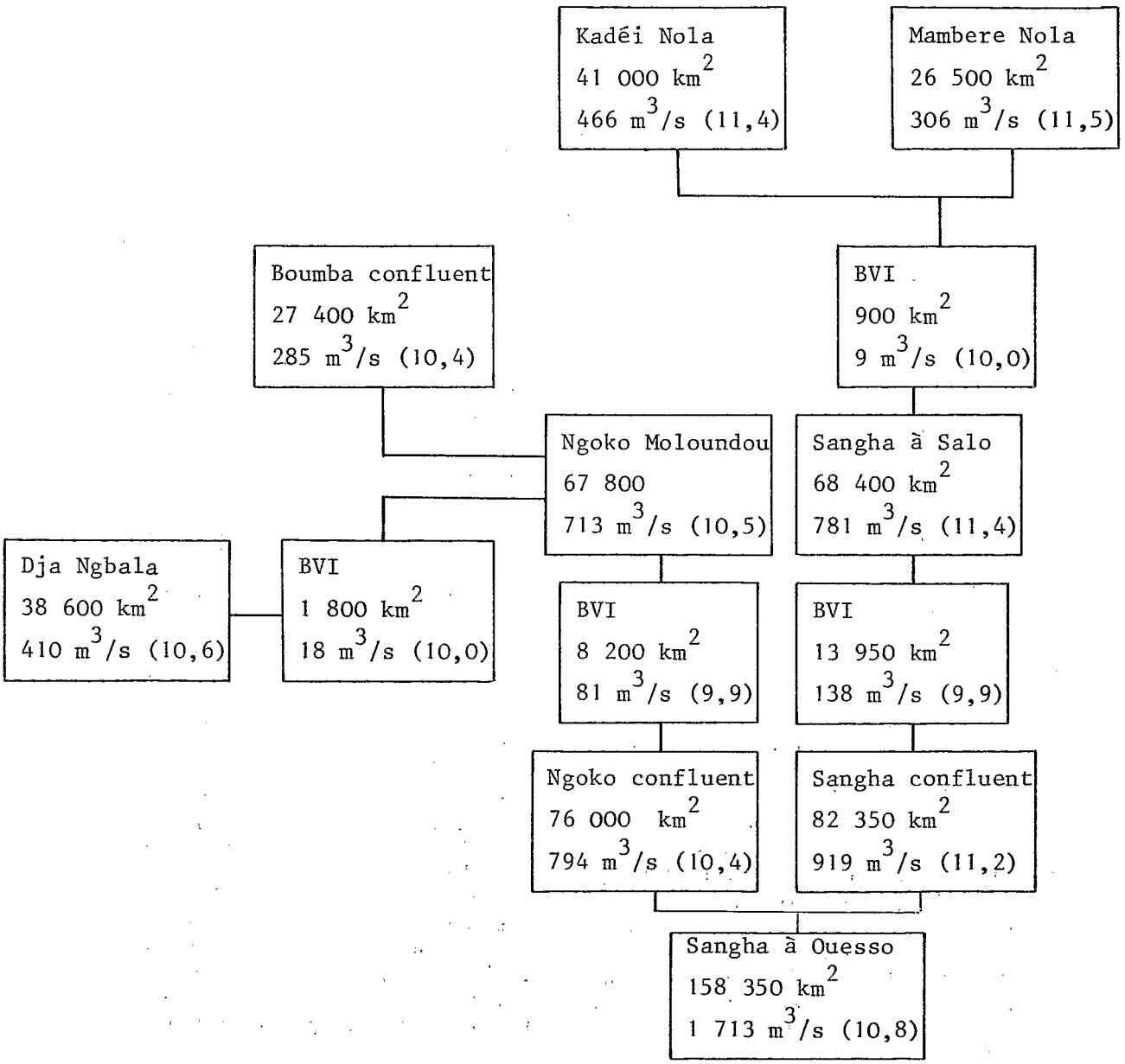


Figure 7.19. – Répartition des apports entre différents tributaires.

Tableau 7.35. – Bilan hydrologique sur le bassin de la Sangha.

Bassin	$\overline{Q}$	S	Termes du bilan			Ke %
			Pmm	He	De	
	m^3/s	km^2	mm	mm	mm	
Dja à Somalomo	66.0	5 380	1 640	387	1 253	23.6
Dja à Bie	220	19 500	1 660	356	1 304	21.4
Dja à Ngbala	410	38 600	1 625	335	1 290	20.6
Boumba à Biwala	107^5	10 340	1 620	328	1 292	20.2
Ngoko à Ouesso	794	76 000	1 635	329	1 306	20.1
Kadéi à Batouri	119^5	8 970	1 530	420	1 110	27.5
Doume à Doume	6.19	515	1 550	379	1 171	24.5
Kadéi à Pana	247	20 370	1 510	382	1 128	25.3
Sangha à Salo	781	68 400	1 534	360	1 174	23.5
Sangha aval (BVI)	138	13 950	1 557	312	1 245	20.0
Sangha au Confluent	919	82 350	1 538	352	1 186	22.9
Sangha à Ouesso	1713	158 350	1 585	341	1 244	21.5

différents tributaires de la Sangha à Ouesso qui est indiqué ci-après. Ont été précisés la superficie du bassin, le module moyen et le module spécifique entre parenthèses ainsi que ces mêmes valeurs pour les bassins versants intermédiaires (BVI) (figure 7.19).

On notera que les modules de Ngbala et de Salo ont été corrigés en baisse sans pour autant que leurs pourcentages respectifs dans l'écoulement de Ouesso ne soient très altérés. Par ailleurs l'évolution des modules spécifiques présente une légère zonalité géographique dans les limites étroites qui ont été définies. Ces estimations portent sur les 30 années de Ouesso : 1948-1977. Il a paru intéressant de chiffrer les apports du Cameroun, en année moyenne, au bassin du Congo :

– On a choisi un débit spécifique moyen de 11,5 l/s.km² pour la branche Kadéi drainant 23 800 km² et, pour le reste du bassin camerounais, soit 69 200 km² sur Ngoko principalement, un débit spécifique de 10,5 l/s.km². On aboutit ainsi pour 93 000 km² à un « module » interannuel de 1 000 m³/s.

– Ceci correspond à un volume de 31,5 km³ (10^9 m³).

3.3.4. Étude du bilan hydrologique

A partir des dernières estimations des modules pour les grands bassins et de celles qui ont été faites dans l'étude fréquentielle pour les autres stations, les lames écoulées interannuelles (He) ont été calculées. La hauteur moyenne de précipitations (P) sur les différents bassins (cf. 2.2) permet de déduire les déficits d'écoulement correspondants (De). Au niveau du bilan interannuel, on s'accorde pour estimer que De correspond à l'évapotranspiration réelle.

Les termes du bilan hydrologique du bassin sont résumés dans trois colonnes du tableau 7.35.

Les lames écoulées comptent, avec celles du Nyong supérieur [1], parmi les plus faibles du Cameroun méridional et varient de 300 à 400 mm.

Les coefficients d'écoulement varient entre 20 et 27,5 %. Ce sont les régions les moins arrosées (à 100 mm près) qui fournissent les lames écoulées les plus importantes, ce qui conduit donc à accentuer ces

(1) Et aussi celles de la Tere et du Nianiang (au sud du BV de la Sanaga).

différences, initialement minimes, au niveau des coefficients d'écoulement. On en revient toujours à la distinction qui a été faite tout au long de l'interprétation des données entre la branche Dja-Ngoko au climat équatorial et la branche Sangha Supérieure avec influence du climat tropical de transition. D'une manière générale, ces coefficients restent faibles pour le Sud Cameroun.

Les déficits d'écoulement suivent bien entendu les mêmes lois. Même si les précipitations moyennes sont relativement mal connues et ont pu, suivant les bassins, être sous-estimées ou au contraire surestimées, on relève que :

- De varie de 1 250 à 1 300 mm sur le bassin du Dja Ngoko ;
- De varie de 1 100 à 1 200 mm sur le bassin de la Sangha Supérieure.

Dans le premier cas, De correspond à l'évapotranspiration potentielle du bassin (cf. cartes de la 1re partie) comprise entre 1 200 et 1 300 mm, d'où une demande en évapotranspiration toujours satisfaite, caractéristique des régions humides de forêt et surtout du régime équatorial. ETR = ETP.

Dans le second cas, De a diminué tandis que l'ETP varie entre 1 300 et 1 600 mm du sud au nord du bassin de la Mambere.

La demande en évapotranspiration n'est pas satisfaite pendant les mois les plus secs et cela de manière d'autant plus prononcée que le caractère tropical de transition du climat s'accentue.

Ainsi pour le bassin de la Kadei à Batouri où ETP peut être estimé à 1 430 mm, De = ETR = 1 110 mm, d'où une différence de 320 mm. On se retrouve déjà dans des conditions comparables à celles de la Sanaga supérieure.

L'évapotranspiration réelle relevée sur le bassin du Dja-Ngoko est la plus importante observée au Cameroun avec 1 300 mm. La forêt congolaise toujours humide consomme en évapotranspiration sur ce bassin de 76 000 km², 100 km³ des précipitations reçues en année moyenne.

CHAPITRE VIII

Les tributaires camerounais de la Benoue Inférieure

D'un point cardinal à l'autre, on passe du bassin du Congo au bassin du Niger pour aborder la dernière unité hydrographique située au sud de l'Adamaoua.

Celle-ci, à l'ouest de la province de l'Ouest, concerne la province du Nord-Ouest qui correspond au pays Bamenda plus souvent appelé « Grassfields » et dont l'essentiel du réseau hydrographique est tributaire de la Bénoué Inférieure et par suite du bassin du Niger.

Deux cours d'eau principaux drainent cette région, la Katsena-Ala et la Donga. Le bassin camerounais de la Katsena couvre 10 100 km². La partie camerounaise du bassin de la Donga ne couvre que 2 800 km².

Seules deux stations hydrométriques ont été installées, l'une sur la Metchum à Gouri contrôlant un bassin de 2 240 km², l'autre sur la Mezam à Bengwi contrôlant, à l'intérieur du bassin de la Metchum, un bassin de 360 km².

Le réseau pluviométrique est plus dense, mieux réparti mais suivi très irrégulièrement.

C'est donc avec une information minimale qu'on tentera de dégager les quelques traits principaux de l'hydrologie de cette région dont l'originalité apparaît nettement dans les paysages.

1. GÉNÉRALITÉS

La région étudiée est entièrement située à l'ouest de la Dorsale camerounaise. Elle a pour limites, au sud, le bassin de la Cross-River dont la basse plaine est vite rejointe après la falaise de Widekum, au sud-ouest du massif des Bamboutos, le bassin du Wouri et à l'ouest le bassin de la Sanaga avec en particulier les sous-bassins du Noun, du Mvi et de la Mape. A l'ouest et au nord, il y a le Nigéria. La région est comprise *grosso modo* entre 6 et 7 ° de latitude nord et entre 9 ° 30 et 11 ° 15.

Géomorphologie

On peut distinguer trois zones géomorphologiques principales :

- Les régions basses constituées de plaines et collines de faible altitude (Akwaya) et des vallées inférieures des rivières Metchum, Katsena et Donga au nord de Nkambe. D'une manière générale ces régions reposent sur le socle cristallin et séparent les régions de plateau de la frontière du Nigéria.
- Les plateaux intermédiaires d'altitude comprise entre 1 000 et 1 300 m où le socle précambrien et les granites affleurent largement, le volcanisme n'y ayant laissé que quelques placages peu épais. On distingue ainsi le plateau de Wum recouvert de cendres volcaniques avec des appareils égueulés récents en bordure de la Metchum. Au sud de cette rivière, le plateau de Bafut-Bali-Batibo s'étend jusqu'aux limites du bassin de la Cross et jusqu'à Bamenda ; quelques recouvrements basaltiques annoncent déjà le volcanisme fissural des hauts-plateaux. Ce plateau occupe une grande partie du bassin de la Metchum et de la Mezam.
- Les hauts-plateaux et massifs. Les hauts-plateaux ont une altitude comprise entre 1 400 et 2 100 m et sont formés d'épais recouvrements de basaltes anciens issus de trois massifs principaux constituant avec ces hauts-plateaux l'essentiel de la Dorsale camerounaise avant que celle-ci ne se raccorde par les Mts Mambila et Gotel à l'Adamaoua. On distingue, issus du massif de l'Oku (3 011 m), les plateaux de Kom au nord-ouest, de Kumbo-Nkambe à plus de 2 000 m au nord-est et, pour partie issus de l'Oku, pour partie issus des Mts Bamboutos et du Mt Lefo (Pic de Santa), les hauts-plateaux de Bamenda. Pour ces derniers, au soubassement basaltique, s'ajoutent d'importants recouvrements trachytiques et des extrusions de type péléen.

Le contact entre les plateaux intermédiaires et les hauts plateaux se fait par un abrupt. Ainsi Bamenda, elle-même, est divisée en deux parties par une falaise qui sépare la ville administrative et résidentielle des quartiers populaires et commerciaux.

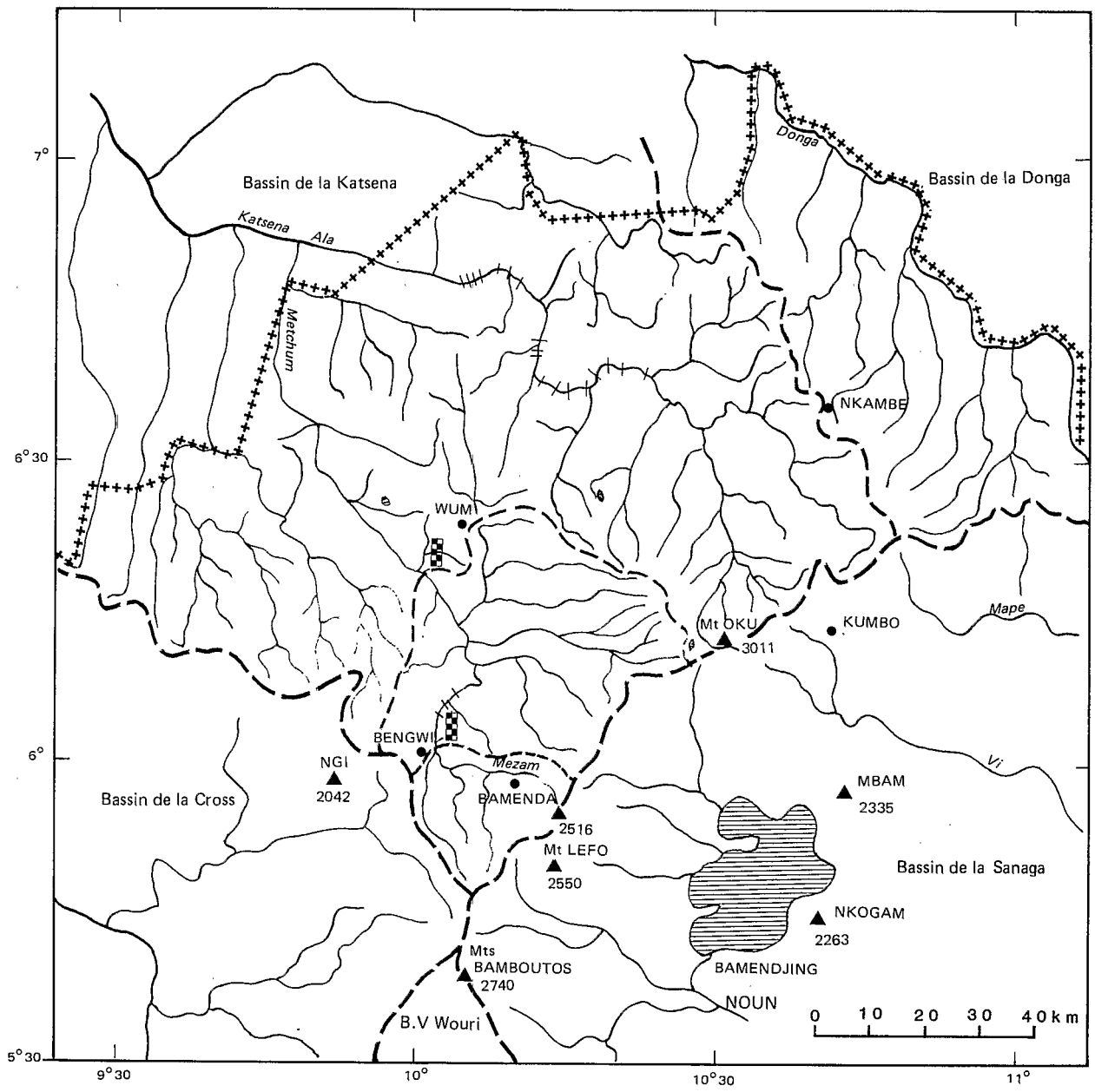


Fig. 8.1. – Les tributaires camerounais de la Bénoué inférieure.

Le réseau hydrographique

Cette rapide description du réseau hydrographique s'attardera davantage sur la Metchum qui a fait l'objet de mesures hydrologiques.

Au nord de la province du Nord-Ouest, le bassin de la Donga occupe une zone marginale, la rivière Donga elle-même faisant frontière avec le Nigeria. Des affluents de rive gauche drainent le flanc nord du plateau de Nkambe. De son balcon, cette ville découvre par temps clair une bonne partie du bassin camerounais de la Donga.

Le reste de la région est occupée par le bassin de la Katsena-Ala qui est constitué de deux branches principales confluant peu après (10 km) avoir quitté le Cameroun : la Katsena et la Metchum. Ces deux branches ont sensiblement la même longueur, respectivement 160 et 145 km et des bassins versants comparables de 3 000 à 4 000 km². Les pentes moyennes, de la source au Nigéria, dépassent 15 m/km.

La Katsena draine la partie nord du Massif d'Oku et du plateau Kom par la Kumbi (ou haute Katsena) et l'ouest de la région de Nkambe par son affluent Mbem. La direction générale est ESE-WNW. La pente est forte et le cours moyen de la partie camerounaise n'est qu'une succession de rapides où la rivière perd 680 m en 70 km, soit une pente de près de 1 %. C'est le passage du plateau intermédiaire à la plaine nigériane.

La Metchum a une direction générale SSE-NNW. Son haut-bassin comprend deux branches principales se rejoignant près de Mbengwi ; l'une, l'Abi, draine Bali et les versants nord des Monts Bamboutos et prend sa source vers 2 168 m ; l'autre, la Mezam ou Machu – ce deuxième nom laissant supposer que la Mezam constitue la haute Metchum – prend sa source au pied du Mt Neshele 2 621 m et de ses deux lacs de cratère, les lacs Bambili dans le massif du Lefo. Dans ce haut-bassin, chaque escarpement est l'occasion de cascades, chutes qui tarissent généralement en saison sèche.

Après avoir drainé le plateau Bafut, la Metchum rejoint rapidement la vallée. La pente est très forte et les rapides nombreux. La Metchum perd 520 m d'altitude en 22 km (24 ‰. Elle reçoit alors trois affluents principaux en rive droite, la Movum, le Mugom et la Joaka augmentée de la Mete ; ces cours d'eau drainent la partie occidentale du Massif de l'Oku, des monts de Bamenda au nord du col de Sabga et du plateau de Kom, de Bambui à Njinikom et Fundong.

Entre 600 et 550 m d'altitude, la vallée de la Metchum s'élargit ; ses alluvions sont riches et d'anciens méandres ont permis la mise en œuvre de techniques simples de maîtrise de l'eau ayant servi à la création d'aménagements rizicoles remarquables. Peu après Gouri, à 75 km de sa source, la Metchum franchit un ressaut de 45 m de hauteur en une chute très spectaculaire (site hydro-électrique d'Atoufi). La vallée s'encaisse pratiquement jusqu'à la frontière nigériane où la cote 190 m est atteinte après une succession de rapides. La Metchum sert alors de frontière commune entre les deux pays avant de rejoindre la Katsena.

Les profils en long témoignent des différentes unités géomorphologiques qui ont été décrites.

Le dessin en plan du réseau hydrographique présente deux caractéristiques :

- Les régions de hauts-plateaux – les High Lava Plateaux – avec un réseau présentant l'aspect de longues lanières ; les cours d'eau restent parallèles entre eux pratiquement jusqu'à leur confluent atteint par une large courbe de l'affluent secondaire ; c'est le chevelu sur planèze aux flancs des grands appareils volcaniques à épanchements basaltiques de type fissural.
- Les régions cristallines des régions ouest et nord de moyenne et basse altitude que la tectonique cassante a complètement « chahuté » suivant deux axes principaux : la ligne du Cameroun SSW-NNE et la ligne tectonique de la Bénoué perpendiculaire à la première (lignes somalienne et érythréenne). Quelle que soit l'échelle cartographique considérée, le réseau hydrographique est entièrement conditionné par ces fractures et « mini-failles » imposant des coudes brusques et un tracé en baïonnette qu'on retrouve dans toute la région du bassin de la Bénoué Inférieure.

Autres aspects du milieu

La géologie a déjà été évoquée. Elle est marquée par les gneiss, micachistes du socle et les granites sur toute la partie aval du réseau hydrographique et un puissant volcanisme qui a façonné les reliefs de la dorsale camerounaise. On retrouve les 3 grandes phases du volcanisme camerounais : – la phase basaltique ancienne qui a construit les hauts plateaux, – la phase acide intermédiaire responsable des édifices trachytiques imposants qui coiffent les basaltes, – la phase basique récente qui a généré des coulées de basaltes récents, des dépôts de cendres (volcans égueulés de la région de Wum contemporains de ceux de Foumbot).

Les sols sont essentiellement ferrallitiques ; sur basaltes ou cendres ils sont particulièrement fertiles notamment dans la région de Bamenda et Wum ; des sols hydromorphes faiblement organiques à gley dans la vallée de la Metchum conviennent au développement rizicole.

La végétation est marquée par trois types de paysages liés à l'altitude mais aussi à l'habitat humain. Dans les basses plaines peu habitées de la Metchum et de la Katsena et dans la région d'Akwaya, la forêt est en parfaite continuité avec celle du bassin de la Cross-River ; c'est la forêt dense humide semi-décidue qui a été largement décrite dans des chapitres précédents. Au nord sur le bassin de la Donga, la forêt est aussi présente mais elle est souvent très dégradée, les densités de population y étant plus importantes. La forêt y est encore semi-décidue et rappelle celle de la Sanaga. On retrouve aussi le passage aux savanes arbustives, lieux de parcours des bœufs blancs des Aku présents jusqu'à Wum.

Sur les plateaux intermédiaires et les versants des hauts-plateaux, on trouve les densités de population les plus importantes, notamment dans la région de Bamenda. Ces populations d'agriculteurs ont entièrement façonné le paysage phytogéographique en particulier par l'introduction du bocage comme en pays bamiléké (cultures vivrières et café arabica) ; de nombreuses zones de reboisement en pins et en eucalyptus couvrent les hauteurs proches des zones peuplées.

Enfin sur les hauts-plateaux s'étendent les grands espaces herbeux qui ont donné leur nom à la région : les Grassfields. C'est la région des éleveurs semi-

Tableau 8.1. – Station de Bamenda (1 608 m).

Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Temp. maxi	25.1	26.2	25.0	24.4	24.3	22.8	21.0	20.8	21.5	22.9	23.6	24.4	23.5
Temp. mini	14.6	15.8	16.1	16.3	16.0	15.1	14.7	14.7	14.7	15.1	14.8	14.5	15.2
Temp. moy.	19.9	21.1	20.6	20.3	20.2	19.0	17.9	17.8	18.1	19.0	19.2	19.5	19.3
Humidité %													
maximum	74.4	72.2	84.1	92.0	95.4	96.9	98.3	98.6	98.1	96.0	93.8	86.3	90.5
minimum	36.2	32.8	48.7	58.2	60.9	71.1	78.6	78.7	73.6	62.6	52.6	41.4	57.9
Insolation nb. d'heures (1964-1966)	231	223	174	136	135	99	74	70	59	108	174	254	1737

nomades, des pasteurs bororo dont les bovins à robe rouge parcourent les pâturages pendant toute la saison humide et doivent transhumer en saison sèche vers les vallées ou la plaine de Ndop. En altitude, on retrouve également quelques îlots de forêt subalpine au creux des vallons.

Des Monts Bambili au mont Oku, il faut avoir parcouru ces hautes terres souvent envahies par le brouillard de montagne, franchi les cols balayés par les nuées de la mousson et apprécié un soir de bruine la chaleur de l'accueil des Ardo fulani et le confort de leur « ruga » [1] pour connaître toute la diversité du Cameroun depuis le sahel brûlant des bords du Lac Tchad jusqu'à la forêt spongieuse de la Sangha.

Le climat

On manque de stations d'observations et de données pour préciser les différents paramètres climatiques sur l'ensemble de cette région. Le climat de la région est d'abord marqué par son ouverture aux influences d'ouest et de sud-ouest et en particulier de la mousson et par l'altitude variable des différentes zones considérées. Le climat correspond à une variante montagnarde humide du climat montagnard de l'Ouest et se raccorde au climat subéquatorial de l'Ouest Africain caractérisé à la charnière Cameroun-Nigéria au fond du golfe de Guinée par une très forte humidité.

Nous donnons ci-après pour la station météorologique de Bamenda (longitude 10 ° 11 ′ E, latitude 5 ° 56 ′ N, altitude 1 608 m) quelques résultats intéressant le haut-bassin de la Metchum et de la Mezam. Ils sont calculés sur 8 ans.

La moyenne mensuelle des maximums journaliers est peu élevée du fait de l'altitude de la station et varie de 20 ° 8 en août à 26 ° 2 en février. La moyenne mensuelle des minimums est la plus faible en décembre (14 ° 5) et est la plus forte en avril (16 ° 3). Les maximums ont une amplitude annuelle plus forte que les minimums qui conditionne celle des températures moyennes. Celles-ci sont comprises entre 17 ° 8 en août et 21 ° 1 en février. La température moyenne annuelle est de 19 ° 3. Cette valeur calculée sur 8 ans est remarquablement voisine de celle obtenue par la relation générale établie à l'occasion d'études dans le pays bamiléké pour les stations du Cameroun « humide » en fonction de l'altitude (Olivry, op. cit.) :

$$\bar{t}_{annuelle} = 27{,}5 - 5.2.10^{-3}\, z$$

(où z est l'altitude en mètres).

Ce qui donne pour Bamenda $\bar{t} = 19\,°1$.

On pourra donc utiliser cette relation pour préciser la température moyenne annuelle des différentes villes de la région. Ajoutons qu'au-dessus de 2 300 m d'altitude, les gelées ne sont pas exceptionnelles.

Les valeurs des minimums d'humidité relative sont révélatrices d'une saison sèche particulièrement marquée en décembre, janvier et février. Le minimum mensuel est atteint en février tant pour les moyennes

(1) Vastes cases rondes dont le chaume du toit descend presque jusqu'au sol ; les Ardo fulani sont les chefs nomades bororo de la région.

des minimums que pour celle des maximums. Juillet et août sont les mois les plus humides : le minimum moyen monte à 78,7 %. Les variations des paramètres, telle la température, telle l'humidité sont très voisines de celles qui ont été décrites pour le versant oriental de la Dorsale Camerounaise sur le bassin de la Sanaga. L'insolation par contre est nettement plus faible du fait de l'exposition à la mousson du flanc occidental des reliefs. En ne totalisant que 1 740 h d'insolation par an, Bamenda présente un déficit de 620 h par rapport à la station de Koundja en pays Bamoun. Il est cependant probable que des observations complémentaires ramènent cette différence entre les deux stations à un maximum de 500 heures, soit 1 850 heures d'insolation pour Bamenda. Le minimum d'insolation coïncide avec le maximum de précipitations en septembre. Décembre est le mois le plus ensoleillé.

Les précipitations sont connues de manière très variable et, malheureusement, le plus souvent sur des périodes très courtes. Le relief, les différentes altitudes et expositions ne permettent pas d'obtenir de corrélations inter-postes et de procéder à une homogénéisation des données. J. B. Suchel (1972) donne un certain nombre de résultats de stations courte-durée que nous complétons dans le tableau ci-après par les relevés de Bamenda et Bambui.

Tableau 8.2 :

Poste	Latitude	Longitude	Altitude	Nb années	P mm
Bafut	6°05 N	10°07 E	1 370	7	2 425
Bali Council	5°53	10°01	1 340	9	2 555
Batibo	5°50	9°52	1 150	7	3 242
Befang	6°19	10°00	610	9	2 401
Belo	6°11	10°21	1 550	7	3 080
Bu	6°17	10°05	1 370	5	2 994
Bum	6°29	10°26	1 230	7	3 180
Fonfuka	6°32	10°29	945	5	3 406
Kom	6°16	10°19	1 950	5	3 402
Kumfutu	6°28	10°10	1 340	6	2 853
Mbande	6°42	10°38	670	7	3 432
Mbingo	6°10	10°17	1 590	6	3 116
Missong	6°35	10°15	885	5	2 977
Njinikom	6°13	10°19	1 430	5	2 937
Nkambe	6°36	10°41	1 680	9	2 465
Weh	6°27	10°07	1 070	6	2 866
Wum Catho	6°24	10°04	1 200	8	2 773
Wum Council	6°23	10°03	1 065	7	2 588
Bambui	6°01	10°16	1 260	21	2 389
Bamenda	5°56	10°11	1 618	27	2 534

L'étude fréquentielle des précipitations annuelles de Bamenda et Bambui est rappelée ici :

Tableau 8.3 :

Station	Ecart-type	K_3	Années humides		Moyenne	Années sèches	
			20 ans	10 ans		10 ans	20 ans
Bamenda (27)	222	1.25	2 899	2 819	2 534	2 249	2 168
Bambui (21)	282	1.36	2 852	2 750	2 389	2 028	1 926

L'irrégularité interannuelle est faible.

La répartition spatiale des isohyètes s'appuie sur le relief. Sur les hauts plateaux de Kom, de Nkambe et le massif de l'Oku, les précipitations dépassent 3 000 mm par an. Par contre à la frontière du Nigéria, vallée de la Katsena et vallée de la Donga, la pluviométrie est inférieure à 1 700 mm.

La distribution mensuelle des pluies est liée à la mousson et au relief. J.B. Suchel a vu dans les histogrammes moyens dont on dispose de multiples nuances suivant le lieu et l'exposition. Il y a là, sur la base d'observations complémentaires, matière à des études fines sur les pluies orographiques, la circulation des courants humides et l'influence de la mousson et des grains d'est. Chaque série d'escarpements est localement l'occasion de précipitations plus abondantes qui tendent à diminuer sur les replats. On retrouve dans les histogrammes soit le schéma classique « en aiguille » type de la mousson, soit le schéma « en forteresse » ou « bastion,» de fortes précipitations sur les mois de juillet, août, septembre avec le grand palier des pluies préliminaires de mars à juin. Un léger décrochement en août est parfois visible ; il constitue pour Suchel la marque du climat subéquatorial « occidental » (Ouest-Africain) où juillet est généralement le plus arrosé.

Mais ici, suivant le cas, le mois le plus pluvieux sera septembre ou juillet. Le « paroxysme » de la mousson est diversement ressenti ; même s'il est souvent atténué du fait de l'éloignement de l'océan, il dépasse généralement à l'échelle du mois les 400 mm et très souvent 500 mm. Kom a montré sur 5 ans trois mois consécutifs supérieurs à 500 mm à une altitude de 1 950 m.

Nous donnons ci-après quelques exemples de répartition mensuelle des précipitations dans la région.

Tableau 8.4.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Bamenda	22	52	166	185	194	303	425	366	476	245	74	26	2 534
Bambui	14	41	146	195	223	279	369	352	403	299	55	13	2 389
Wum Catho	26	49	159	262	268	363	288	307	474	400	133	43	2 773
Kom	11	76	206	247	338	442	549	507	574	276	141	46	3 402
Nkambe	6	24	86	127	161	288	483	483	439	288	74	6	2 465

Les précipitations journalières maximales sont pour une même récurrence plus faible en altitude. L'averse de probabilité annuelle totalise moins de 60 mm sur les hauts-plateaux, moins de 70 mm sur les plateaux intermédiaires et moins de 80 mm sur le reste de la région. L'averse décennale dépasse 120 mm sur la basse Metchum mais est inférieure à 110 mm sur la Donga ; en altitude elle est inférieure à 100 et même 90 mm.

2. LES DONNÉES DE BASE

2.1. Caractéristiques de bassins étudiés

Deux bassins ont été étudiés ici. Ce sont les bassins de la Metchum à Gouri et de la Mezam à Mbengwi ; nous en donnons les caractéristiques ci-après.

Tableau 8.5.

	S km²	P km	Kc	Pente IG ‰	Altitudes en m		
					Moyenne	Maximum	exutoire
Metchum à Gouri	2 240	180	1.07	34	1 350	2 616	550
Mezam à Bengwi	360	70	1.03	50	1 500	2 616	1 150

La pente moyenne des profils en long de la Metchum et de la Mezam est de 20 ‰.

Ces bassins sont donc marqués par un fort coefficient de compacité, une altitude moyenne élevée et une pente moyenne très forte, autant d'éléments de nature à favoriser l'écoulement. En sens inverse, on relèvera l'importance des terrains volcaniques dont la perméabilité est élevée.

2.2. Précipitations moyennes reçues par les bassins

A partir des informations relatives aux précipitations, il pourrait paraître bien hasardeux de rechercher la hauteur de précipitations interannuelle. Les relevés sont souvent très courts ; ils concordent rarement et leur représentation géographique reste limitée. Aussi, le dessin des isohyètes a été largement inspiré d'impressions générales qui se dégageaient pour les différents postes en fonction de leur exposition et du contour géographique des reliefs.

On aboutit ainsi aux estimations suivantes :

BV de la Metchum à Gouri 2 600 mm
BV de la Mezam à Mbengwi 2 550 mm

2.3. Les débits

Les débits ont été observés depuis 1964 sur la Metchum à Gouri. Les premières années sont souvent incomplètes et c'est seulement à partir de 1969 que l'on a une série de données assez satisfaisantes. Le tarage de hautes-eaux laisse sa part à l'extrapolation et il n'est pas exclu que l'étalonnage retenu soit légèrement sous-estimé. Le tableau 8.7, ci-après, donne les débits annuels et modules observés. L'hydrogramme moyen est trapu en périodes de hautes-eaux ; 3 mois – août, septembre, octobre – ont un débit supérieur au double du module et le mois de juillet a lui-même un fort débit ; la saison sèche est bien marquée par cinq mois de décembre à avril pour lesquels le débit reste inférieur à la moitié du module. Le maximum de crue apparaît le plus souvent en septembre ; l'étiage est observé plus fréquemment en mars.

Le module moyen observé de 106 m³/s a une valeur spécifique très forte de 47,3 l/s.km² ; les modules spécifiques extrêmes vont de 57 l/s.km² à 41 l/s.km².

Le maximum de crue moyen a une valeur spécifique de 120 l/s.km² et la valeur la plus forte observée est de 174 l/s.km². L'étiage absolu spécifique moyen est de 5,16 l/s.km² et la plus faible valeur observée est de 3,63 l/s.km².

Sur la Mezam à Mbengwi, les données de Powercam (West Cameroon Electricity Corporation) font état pour 1965 de valeurs nettement surestimées qui n'ont pas été retenues ; la station 1966 de l'ORSTOM est en partie étalonnée mais les relevés sont mauvais et ce n'est qu'en 1972 que la réouverture de la station sera suivie d'observations fiables. Elles ne concernent malheureusement qu'un nombre réduit d'années (7 à 8) et les valeurs mensuelles indiquées dans le tableau aboutissent à des moyennes et un module interannuel probablement sous-estimé. L'hydrogramme a pratiquement la même forme que sur la Metchum avec en particulier des hautes-eaux en août, septembre, octobre et le module moyen observé, de 13,9 m³/s, a une valeur spécifique de 38,6 l/s.km². Le maximum maximorum dépasse 144 l/s.km² et l'étiage le plus faible (0,850 m³/s) n'a pas dépassé 2,36 l/s.km². Une troisième station sur la Mbengwi à Bengwi (157 km²), gérée par Powercam en 1964 et 1965, n'aboutit qu'à des résultats erronés qui ne sont pas reproduits ici.

On indique dans le tableau 8.8, ci-après, les valeurs extrêmes (étiages et crues) observées sur la Metchum à Gouri avec leurs dates d'apparition.

Pour la Mezam à Mbengwi, on a les valeurs extrêmes du tableau 8.9.

Le débit maximum de 51 m³/s est pratiquement dépassé chaque année. Il correspond à la cote 300 à l'échelle et il est probable que l'élément 3-4 a disparu ou n'a pas été lu. On ne doit donc considérer dans ce tableau que l'indication de date comme valable pour la crue.

L'étude des débits caractéristiques se limitera ici à donner les principales valeurs (moyenne, médiane, quartiles et extrêmes) de la Metchum à Gouri.

Tableau 8.6. – Mezam à Mbengwi.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1972-73	6.71	6.51	11.1	22.6	32.9	31.9	20.3	8.57	4.00	2.00	1.20	2.09	12.5
73-74	1.99	2.69	6.27	8.72	16.5	25.0	19.1	13.1	5.40	2.37	1.28	*2.21*	8.72
74-75	6.78	6.25	10.9	25.5	25.8	36.9	34.5	13.1	6.31	2.94	2.58	4.09	14.6
75-76	6.71	4.82	8.82	24.3	24.1	*27.7*	*29.0*	11.4	5.51	2.66	2.42	5.23	12.7
76-77	9.20	4.56	7.35	18.7	36.6	40.6	40.0	17.4	6.95	2.31	1.88	*1.25*	15.6
77-78	1.97	4.43	11.2	38.1	33.6	*43.4*	30.6	14.2	8.26	4.34	2.70	2.23	16.3
78-79	2.72	2.86	9.78	26.6	32.7	46.3	35.9	21.6	8.56	6.07	3.47	1.71	16.5
79-80	7.74	4.01	11.0	26.0	45.0	44.4	39.5	28.5	11.9				
Moyenne	5.48	4.52	9.55	23.8	30.9	37.0	31.1	16.0	7.11	3.24	2.22	2.85	13.9

Tableau 8.7. – Metchum à Gouri.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1963-64												19.7	
64-65	62.9	90.8	95.9	194	233	273	292	117	52.7	28.1	69.4	27.7	128
65-66	47.6	60.2	137	259	255	289	212	84.9	30.9	20.0	11.4	23.0	119
66-67	53.0	94.0	193	257	284	285				21.8	13.5	13.2	
67-68	48.1	102	99.9	254	272		344	255	41.8				
68-69										22.6	13.5		
69-70	60.0	97.9	100	257	268	275	234	92.3	46.2	24.1	18.6	20.0	125
70-71	26.0	66.1	98.3	148	197	201	180	101	36.2	20.8	24.6	29.9	94.5
71-72	40.3	42.7	78.7	206	185	184	198	65.5	33.0	22.2	20.0	18.0	91.5
72-73	27.6	56.4	112	161	200	211	164	74.6	30.3	20.6	13.1	15.5	91.0
73-74	25.6	48.6	62.4	98.1	143	189	135	75.2	32.0	17.9	11.9	12.5	71.2
74-75	42.5	42.5	102	179	195	232	214	123	45.9	23.8	20.0	26.4	104
75-76	45.2	50.9	82.9	142	155	232	238	94.8	47.3	24.2	24.6	34.9	97.9
76-77	52.4	50.2	80.9	187	226	237	220	129	48.7	26.9	16.1	10.1	108
77-78	16.4	41.1	99.4	207	187	250	197	68.6	30.9	18.4	12.3	20.0	96.2
78-79	46.8	43.9	123	177	207	236	205	93.6	38.2	20.5	15.8	18.8	103
79-80	28.4	66.8	115	191	262	194	172	*110*	*40*	*23*	13.5	16.3	*102*
80-81	23.8	78.4	110	136	210	238	199	100	42.0				
Moyenne	40.4	64.6	106	190	217	235	214	105	39.7	22.3	19.9	20.4	106

Tableau 8.8.

Année	Etiage		Crue	
	Date	D_{MIN}	D_{MAX}	Date
1963-64	29/2	*8.72*	-	-
64-65	31/1	16.8	310	19/9
65-66	-	-	300	25/9
66-67	14/3	8.43	-	-
67-68	-	-	*391*	01/10
68-69	28/2	*9.96*	-	-
69-70	04/2	*17.0*	310	28/9
70-71	24/1	*17.0*	255	24/8
71-72	03/4	*13.6*	*374*	08/10
72-73	13/3	8.50	245	03/9
73-74	09/3	8.36	230	03/9
74-75	07/3	12.0	314	28/8
75-76	18/2	16.5	363	03/10
76-77	26/3	8.14	309	08/9
77-78	26/2	9.56	337	11/9
78-79	14/3	11.4	395	27/8
79-80	02/4	10.9	324	26/8
80-81	-	-	323	21/8

Tableau 8.9.

Année	Etiage		Crue	
	Date	D_{MIN}	D_{MAX}	Date
1972-73	13/3	0.850	-	-
73-74	05/3	0.900	>51	07/9
74-75	16/3	1.36	50	02/9
75-76	02/2	1.72	>51	04/9
76-77	23/3	0.93	51	30/9
77-78	05/4	1.44	52.4	14/9
78-79	14/3	1.44	51	10/9
79-80	-	-	51	15/9

Tableau 8.10.

	D_{MIN}	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC_{11}	DCC	D_{MAX}
Moyenne	11.55	13.5	17.0	28.8	67.3	183	241	266	305
Maximum	17	18.9	24.7	45.4	103	270	333	371	390
Q1	14.8	17.2	21.4	33.4	71.6	195	265	287	338
Médiane	10.7	12.5	16.0	26.5	66.9	178	233	260	303
Q3	8.47	10.2	13.0	23.3	53.4	170	211	238	262
Minimum	8.14	8.87	11.8	20.1	48.9	113	172	196	225

3. L'INTERPRÉTATION DES DONNÉES

3.1. Les basses-eaux

La saison de basses-eaux s'étend de décembre à avril, et même mai pour les petits bassins ; elle comprend d'abord une période de tarissement bien marquée qui peut aller jusqu'à l'observation de l'étiage absolu qui est alors un débit de tarissement pur, puis une période de stabilisation des débits avec amorces timides d'une reprise des écoulements de hautes-eaux, reprise qui ne démarre réellement qu'en mai ou juin. Les précipitations mensuelles sont pourtant abondantes dès les mois de mars et avril. On retrouve ici une des caractéristiques des massifs volcaniques de la Dorsale Camerounaise, du Mont Cameroun au Mont Oku, pour lesquels la reconstitution des réserves « absorbe » pratiquement tous les volumes précipités au cours des premiers mois de saison des pluies, retardant d'autant la reprise de l'écoulement.

La période de tarissement est pratiquement toujours observée en décembre et janvier ; elle se prolonge très souvent en février sans être affectée d'événements hydropluviométriques et peut encore se retrouver en mars.

Sur la Metchum, le tarissement principal observé est relativement constant d'une année à l'autre, ce qui traduit un fonctionnement régulier des aquifères du bassin régulièrement réalimentés par des pluies toujours abondantes.

Le coefficient de tarissement principal est de

$$\alpha = 1{,}86.10^{-2}\ j^{-1}.$$

Sur la Mezam à Mbengwi, le tarissement paraît plus rapide comme si les aquifères des hauts-plateaux, avec une dominante ici des trachytes, étaient moins riches :

$$\alpha = 2{,}48.10^{-2}\ j^{-1}.$$

En outre, la période de tarissement pur est plus courte que sur la Metchum.

De fait, le régime de tarissement est assez proche de ce qui a été observé en pays bamiléké (Olivry, *op. cit.*) au flanc des Monts Bamboutos ou sur le Haut-Noun (Nouvelot *et al., op. cit.*) sur la Monkié, à Babungo (etc.) rivières issues du massif de l'Oku.

Ces régions diffèrent essentiellement par le régime des précipitations moins abondantes à l'est des reliefs de la Dorsale (effet d'abri).

L'apparition de l'étiage absolu se situe dans 60 % des cas pour la Metchum entre le 26 février et le 15 mars mais s'étale entre la fin janvier et début avril. Compte tenu des lacunes d'observations, il est probable que l'apparition de l'étiage absolu de la

Metchum se situe dans la 1re quinzaine de mars dans 80 % des cas. Sur la Mezam, l'étiage absolu survient à la même époque mais avec aussi l'occurence bien marquée d'être observé aussi plus tardivement, ce qui est normal pour un bassin de taille beaucoup plus modeste.

L'étude fréquentielle, sommaire compte tenu de la taille de l'échantillon, aboutit aux résultats suivants pour la Metchum à Gouri :

Tableau 8.11.

	Médiane	Moyenne	Etiages d'années sèches Périodes de retour		
			5 ans	10 ans	20 ans
m^3/s	9.41	11.55	8.41	8.25	8.18
$l/s.km^2$	4.20	5.16	3.75	3.68	3.65

Cette rapide analyse met en lumière de très faibles variations pour les étiages absolus d'années sèches qui confirment l'existence d'aquifères très importants en particulier au niveau des hauts-plateaux basaltiques de l'Oku et de Kom. L'irrégularité interannuelle des étiages tient pour beaucoup aux forts étiages observés en années humides où des pluies précoces mettent un terme à la période de tarissement. En l'absence de ces pluies, les aquifères disposent toujours de réserves suffisantes pour fournir des débits voisins, d'une année sèche à l'autre.

Sur la Mezam, l'étiage moyen est de 1,23 m^3/s – soit 3,42 $l/s.km^2$ – avec un écart-type de 0,34 m^3/s. L'étiage décennal sec serait de 0,9 m^3/s, soit 2,5 $l/s.km^2$. Cette différence avec la Metchum ne s'explique pas par le seul poids des années déficitaires récentes qui constituent l'essentiel de la période d'observation de la Mezam ; la consommation en eau de Bamenda ne pourrait constituer une explication complémentaire que pour 10 % de l'écart au maximum (3 000 m^3/jour) ; il paraît plus raisonnable de voir, dans cette différence, des aquifères moins riches sur le haut-bassin de Bamenda ou des limites hydrogéologiques de ces aquifères réduisant de fait la taille du bassin versant.

Pour l'ensemble des tributaires de la Bénoué inférieure, compte tenu des réserves des hauts-plateaux et des zones cristallines moins riches, on peut estimer l'étiage absolu médian à 4 $l/s.km^2$ et l'étiage absolu décennal entre 3 et 3,5 $l/s.km^2$.

Ces valeurs spécifiques correspondent à ce qu'on a déterminé pour le bassin de la Cross à Mamfe largement plus arrosé mais dont les aquifères sur matériau basaltique sont aussi beaucoup plus réduits.

L'originalité des basses-eaux du bassin de la Metchum et sans doute de celui de la Katsena et aussi de la Donga, tient dans une saison d'étiages prolongée – 4 mois – avec cependant des étiages absolus élevés.

3.2. Les hautes-eaux

Sur la Metchum, la période de hautes-eaux concerne les mois d'août, septembre et octobre. Le maximum apparaît dans 60 % des cas entre le 25 août et le 10 septembre. Une proportion non négligeable de crues annuelles tardives est observée fin septembre-début octobre. Sur la Mezam, le maximum annuel a été observé dans la première quinzaine de septembre dans 80 % des cas.

L'étude fréquentielle des maximums de crue de la Metchum a conduit dans l'état actuel des observations à retenir une distribution normale de moyenne 312 m^3/s et d'écart-type 46,7 m^3/s. Compte tenu d'une sous-estimation possible de l'étalonnage de hautes-eaux nous indiquons pour les diverses récurrences la bande probable des débits $\{q ; (q + 7\ \%)\}$.

Tableau 8.12.

	Moyenne	Périodes de retour en années humides (ans)				
		5	10	20	50	100
m^3/s	{ 312 / 334	{ 351 / 375	372 / 398	{ 389 / 416	{ 408 / 437	{ *421* / *450*
$l/s.km^2$	{ 139 / 149	157 / 167	166 / 178	174 / 186	182 / 195	*188* / *201*

Le rapport $Kc/_D$ n'est que de 1,13 d'où une faible irrégularité interannuelle.

Ces débits sont relativement faibles au regard des paramètres morphologiques du bassin (pente moyenne forte 20 ‰, fort coefficient de compacité) et des précipitations reçues en saison de hautes-eaux. La couverture volcanique d'une bonne partie du bassin et sa bonne perméabilité expliquent cela. Ainsi, pour des récurrences équivalentes, les crues de la Lobe sont plus puissantes pour une pluviométrie interannuelle inférieure ; l'effet amortisseur de la plaine des Mbos et une pluviométrie moindre conduisent à l'observation sur le Nkam de crues à peine moins puissantes que sur la Metchum ; quant au Mungo avec une pluviométrie excédentaire de l'ordre de 200 mm seulement, ses crues médianes ont plus de 100 $l/s.km^2$ de plus que sur la Metchum. Le rôle de substratum géologique prend ici toute son importance. Plus en aval, le gain en zones cristallines (que ce soit sur la Metchum, la Katsena ou la Donga) doit aboutir à un regain relatif de la crue annuelle... mais le phénomène est impossible à évaluer faute d'observations.

Sur la Mezam à Mbengwi, une crue médiane de 75 m^3/s paraît raisonnablement prévisible ; la crue décennale pourrait être de 150 m^3/s, soit un débit modeste de 420 $l/s.km^2$ pour un bassin de 360 km^2.

Tableau 8.13.

	Années sèches					Médiane	Années humides				
	100	50	20	10	5		5	10	20	50	100
m^3/s	*66*	*70.2*	76.6	82.2	89	102	115.5	122.5	128	*134*	*138*
$l/s.km^2$	*29.5*	*31.3*	34.2	36.7	39.7	45.7	51.6	54.7	57.1	*60.0*	*61.8*

3.3. Modules et bilan hydrologique

L'étude fréquentielle des modules de la Metchum ne porte que sur 13 années dont les valeurs extrêmes sont de 71,2 m³/s et de 128 m³/s. La distribution normale a été retenue. Le module moyen est de 102,4 m³/s ; l'écart-type est de 15,3 m³/s ; le coefficient de variation est de 0,149. Il traduit une faible irrégularité interannuelle. On a pour diverses périodes de retour les modules figurant au tableau 8.13.

Il convient de rappeler que le module obtenu à partir des débits moyens mensuels est de 106 m³/s (47,3 l/s.km²) et que l'ensemble des observations comprend une période déficitaire conduisant à minimiser les résultats.

Quoiqu'il en soit, les débits spécifiques de la Metchum sont tout à fait comparables à ce qui est observé pour les fleuves côtiers dont les bassins versants reçoivent les mêmes hauteurs de précipitations (Lobe, Meme...). Ils sont de plus nettement plus élevés que sur les bassins limitrophes (Sanaga, Mape, Noun et Nkam). Ils représentent pratiquement le double des modules spécifiques moyens déterminés pour des stations voisines de superficie comparable mais aux bassins moins arrosés. Cette abondance spécifique, largement dépassée par la Cross et ses affluents et par les torrents du Mont Cameroun, reste cependant très exceptionnelle pour l'Afrique. On retrouve ces valeurs sur la Vohitra et le Mananjary à Madagascar (Roche, Olivry – 1966).

Le module moyen de la Mezam de 13,9 m³/s est évidemment très sous-estimé... une valeur de 18 m³/s paraît beaucoup plus probable, soit un module spécifique de 50 l/s.km². C'est admettre que les modules spécifiques n'augmentent pas, ou très peu, lorsque la superficie des bassins diminue. C'est sans doute là aussi un des traits intéressants des bassins sur couverture volcanique et en particulier basaltique.

En conclusion, le module interannuel de la Metchum et de la Mezam peut être estimé à 50 l/s.km². Ceci donne un module moyen de la Metchum de 112 m³/s et les calculs de prédétermination doivent être augmentés de 10 %. Ceci donne des modules décennaux sec et humide de 90 et 135 m³/s, soit un K_3 de 1,5.

On peut estimer que le module spécifique de la Katsena après son confluent avec la Metchum se situe encore près de 45 l/s.km² (soit près de 400 m³/s). Par contre pour la Donga au nord, on peut supposer que son module n'est plus que de 35 l/s.km² lorsqu'elle quitte définitivement le Cameroun.

Le bilan hydrologique interannuel de la Metchum et de la Mezam est donné ci-après :

Tableau 8.14

Station	P mm	He mm	De	Ke
Metchum ($2\ 240\ km^2$)	2 600	1 575	1 025	60.5 %
Mezam ($360\ km^2$)	2 550	1 575	975	62 %

Donc avec une même lame écoulée de 1 575 mm (correspondant aux 50 l/s.km²), le déficit d'écoulement est de l'ordre de 1 000 mm et le coefficient d'écoulement dépasse 60 %. La différence entre les deux bassins s'explique – pour autant qu'elle se vérifie sur une longue série d'observations – par la différence d'altitude moyenne.

Il convient de souligner que ce déficit d'écoulement de 1 000 mm environ représentant l'évapotranspiration réelle était nettement sous-estimé avant les mesures effectuées en altitude au Cameroun. Certains auteurs parlaient de 700 à 800 mm de déficit d'écoulement pour des bassins de superficie comparable. En fait, ce déficit d'écoulement est nettement plus fort comme le montre le bilan de la Metchum mais comme l'ont aussi montré les études en pays bamiléké, sur le Haut-Noun et sur le Nkam.

Le bilan mensuel s'établit comme suit pour la Metchum sur la base de la distribution des précipitations à Bamenda.

Tableau 8.15.

en mm	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
P	189	208	318	405	382	475	250	82	30	26	55	180	2 600
He	50	80	130	235	269	290	265	130	48	28	25	25	1 575
De	139	128	188	170	113	185	-15	-48	-18	-2	30	155	1 025

Conclusion

Avec une forte pluviométrie (en moyenne 2 500 mm) mais une saison sèche bien marquée sur leurs bassins, les tributaires camerounais de la Bénoué Inférieure offrent des étiages forts (4 l/s.km^2), malgré une saison de basses-eaux prolongée, grâce aux réserves aquifères importantes des massifs volcaniques. Le ruissellement est modéré du fait de la perméabilité du substratum basaltique et trachytique et les crues ont des maximums modestes. L'écoulement est par contre important puisque les modules sont de l'ordre de 50 l/s.km^2 et que la lame d'eau écoulée avoisine 1 600 mm. L'irrégularité interannuelle est faible. La dorsale camerounaise constitue un château d'eau important, en particulier pour les cours d'eau issus de son versant ouest. Le bassin camerounais de la Bénoué Inférieure fournit un volume de 14.10^9 m^3 en année moyenne.

4e PARTIE

ÉTUDES HYDROLOGIQUES DU NORD-CAMEROUN

Chapitre IX : LE MILIEU NATUREL DU NORD-CAMEROUN

Chapitre X : LE BASSIN DE LA BENOUE

Chapitre XI : LES TRIBUTAIRES CAMEROUNAIS DU BASSIN DU LAC TCHAD

CHAPITRE IX

Le milieu naturel du Nord-Cameroun

1. LE MILIEU PHYSIQUE

1.1. Aperçu sur la phytogéographie du Nord-Cameroun

Compte tenu de conditions climatiques évoluant du sud au nord vers une aridité croissante, on rencontre dans le Nord-Cameroun une succession de paysages phytogéographiques caractérisée par un progressif apauvrissement et une réduction de taille des formations arbustives. Les essences feuillues laissent peu à peu la place aux essences xérophiles à épines.

Cinq formations principales peuvent être définies au Nord-Cameroun :

Savanes arbustives soudano-guinéennes de l'Adamaoua

Les savanes arbustives concernent le sud du bassin de la Bénoué et des bassins de ses affluents Faro et Deo dans l'Adamaoua ainsi que la majeure partie du bassin de la Vina Nord et la moitié amont du bassin de la Mbere. On les trouve également dans les montagnes de Poli.

Ce sont de vastes savanes herbeuses souvent d'origine anthropique ou des prairies à graminées parsemées d'arbres ou d'arbustes.

La flore herbacée est encore essentiellement à base d'Andropogonées.

La flore ligneuse s'individualise difficilement :
- *Daniellia oliveri,*
- *Lophira lanceolata,*
- *Pithecellobium eriorachis,*
- *Syzigium macroparpa*

sont des espèces courantes près desquelles se rencontrent *Albizzia Entada* et *Lannea* divers. Signalons les formations édaphiques des bowe de la Haute-Mbéré déjà évoqués pour la région de Meiganga.

En altitude, on retrouve des groupements montagnards, en particulier dans les Mts Alantika, le massif de Poli et les zones les plus élevées de l'Adamaoua. La végétation de montagne et des îlots subalpins a déjà été décrite. On rencontre surtout *Hymenodictyon floribundum, Olea hochstetteri, Podocarpus milanjianus* et *Woodfordia uniflora* au-dessus du 8° de latitude nord, espèces qui diffèrent déjà de celles de l'Adamaoua par leur caractère plus soudanien que montagnard et qui tendent à se développer même dans l'Adamaoua par suite d'une altération des alpages à la suite du pâturage et des feux.

Savanes soudaniennes arborées et boisées et forêts claires sèches soudaniennes

A partir du pied des falaises de l'Adamaoua, la cuvette de la Bénoué est recouverte par une savane arborée à feuillus. Par endroits, la densité des arbres est suffisante pour former une forêt claire en particulier dans les vallées de la Mbéré, de la Vina et de la Haute-Bénoué.

Les espèces dominantes sont *Isoberlinia dalzielii, I. doka,* et *Anogeissus schimperi* qui ombragent un tapis graminéen à base d'*Hyparrhenia* diverses, de *Digitaria uniglumis,* de *Loudetia arundinaea,* essentiellement.

On rencontre également en quantités importantes diverses espèces de *Combretum, Daniellia oliveri, Detarium senegalense,* diverses espèces de *Gardenia, Lannea microcarpa, Lophira lanceolata,* etc. Les acacias sont représentés par *Acacia caffra, var. campylacantha* et *A. sieberiana.*

F. Letouzey (op. cit.) signale au nord de la Bénoué et jusqu'à Guider certaines espèces ayant une concentration particulière, telles *Adansonia digitata, Burkea africana, Prosopis africana,* et, parmi d'autres éléments sahéliens les deux Acacias cités plus haut et *Balanites aegyptiaca* ou *Faidherbia albida.*

Cette imbrication des flores soudanienne et sahélienne rend d'ailleurs assez artificielle la limite qui a été fixée à Guider. On a une vraie forêt claire pratiquement jusqu'à Dombey, côté Mayo Tiel, alors que les densités en épineux sont déjà significatives d'une tendance « sahélienne » dès le Mayo Oulo.

Le fond de la vallée de la Bénoué, inondable, supporte des prairies à *Aristida, Cymbopogon, Loudetia, Vetiveria nigritiana.*

Certaines espèces que l'on rencontre en forte densité, baobabs, rôniers autour de Poli et de Rey Bouba, kapokiers, ... sont liées à la présence ancienne ou récente de l'homme. On citera la magnifique « vallée des Rôniers » au pied de la montagne de Poli.

Les formations soudaniennes d'altitude

Elles se rencontrent au nord de Guider dans les monts Mandara.

C'est un massif densément peuplé. De minuscules terrasses superposées permettent la culture du mil et occupent une part importante du paysage. La végétation ligneuse des zones incultes ou des jachères est de type soudanien.

Certains arbres – *Isoberlinia, Adansonia digitata* – restent nains.

On rencontre aussi : *Boswellia dalzielii, Combretum sp. pl., Commiphora africana, Daniellia oliveri, Ficus populifora,* etc.

Dans les villages, il y a beaucoup de haies d'*Euphorbes.* Auprès des sources, dans les vallons, quelques beaux arbres – *Celtis integrifolia, Ficus divers, Parkia oliveri, Tamarindus indica* – offrent des ombrages recherchés. Un seul élément vraiment montagnard a subsisté : *Woodfordia uniflora.*

Les steppes sahéliennes à épineux

Leur limite méridionale se situe donc vers Guider. Au Cameroun, elles s'étendent au nord du pays jusqu'aux confins des zones périodiquement inondées du bassin du Lac Tchad.

La région de Maroua est très peuplée. Sur les champs de mil, d'arachide, de coton, seuls se dressent des *Faidherbia albida* que l'on retrouve sur les jachères avec *Acacia senegal, A. stenocarpa, Bauhinia rufescens, Calotropis procera,* etc.

Dans les endroits moins peuplés, c'est le sol nu de la steppe à épineux, parsemé de quelques graminées, de termitières et d'arbres ou arbustes souvent épineux. Parmi ceux-ci, les plus fréquents sont divers Acacias dont *A. hebecladoides, Balanites, aegyptiaca,* plusieurs *Zizyptus.*

Parmi les non épineux, *Anogeissus leiocarpus, Boscia senegalensis, Ficus sp. pl., Lannea fructicosa* et *Pterocarpus erinaceus* dominent parmi de nombreuses autres espèces. *Acacia seyal* couvre des surfaces importantes, surtout les argiles noires (berbéré). Des broussailles épineuses rendent difficile l'accès aux berges des cours d'eau *(Acacia ataxacantha, Dichrostachys glomerata, Mimosa asperata).* Les berges des mayos comptent aussi quelques grands arbres : *Celtis integrifolia* ou *Khaya senegalensis* et d'autres de moindre importance dont de nombreux acacias.

La zone sahélienne périodiquement inondée : le Yaéré

Les plaines qui bordent le Logone entre le Mayo Kébi et le Lac Tchad sur plus de 50 kilomètres de largeur, sont recouvertes sous un mètre d'eau pendant la saison des pluies par les apports du Logone, des Monts Mandara et des précipitations. Lorsque les eaux se retirent, une éphémère végétation aquatique, à base de *Ceratophyllum, Nymphaea,* disparaît et est remplacée par de vastes prairies à *Hyparrhenia* et *Vetiveria nigritiana* constituant le Yaéré, prairies qui seront brûlées à la saison sèche.

Aux bords du lac Tchad, s'associent aux paysages de Yaérés des îlots broussailleux d'*Herminiera elaphroxylon* dont le bois léger est utilisé pour les pirogues des pêcheurs. Parmi les herbes qui colonisent les hauts-fonds du lac, citons *Echinochloa pyramidalis.*

Une végétation menacée

La végétation est d'autant plus sensible aux agressions dont elle est l'objet que celles-ci ont lieu dans des zones sèches. Les conséquences de déficits pluviométriques sont souvent catastrophiques dans les zones sèches où peuvent disparaître certaines espèces ligneuses. Mais lorsque les incidences anthropiques s'ajoutent aux conditions naturelles difficiles du milieu, on peut assister à une disparition totale et irréversible du paysage phytogéographique.

C'est ce que l'on peut craindre aujourd'hui en certaines zones du Nord-Cameroun.

Les feux de brousse ravagent la presque totalité de la région entre novembre et mars. Ils sont particulièrement dévastateurs au sud de Garoua ; un mois environ après le passage du feu et en l'absence de pluies le regain amène de nouvelles feuilles aux arbres et de tendres pousses aux mottes de graminées calcinées ; ce maigre appoint en chlorophylle pour les bovins et la traque du gibier constituent les raisons essentielles d'une pratique qui aboutit :

– au rabougrissement général des arbres de plus en plus clairsemés,
– à la disparition fréquente de jeunes plants,
– à l'apauvrissement du tapis herbacé et à l'érosion des sols.

La savane courte à épineux brûle d'une façon moins généralisée.

Il faut souligner aussi pour les zones à forte pression démographique le problème que constitue la demande en bois de chauffe. Dans l'habitat traditionnellement dense des Mts Mandara, il y a utilisation rationnelle des débris végétaux provenant des cultures, ce qui limite les dégâts sur les quelques arbres qui subsistent. Mais pour les villes, le problème est plus aigu. Les besoins en bois pour la cuisine conduisent à l'exploitation d'un commerce lucratif et à des défrichements sauvages. Ainsi une zone de 100 km à la ronde de Garoua est gravement touchée.

Cette évolution rapide du couvert végétal ne manquera pas d'avoir des conséquences néfastes sur la conservation des sols du Nord-Cameroun.

1.2. Esquisse géologique du Nord-Cameroun

Ici encore, le socle précambrien cristallin et métamorphique représente la majeure partie du substratum géologique. Il couvre presque les deux tiers de la superficie du Nord-Cameroun.

L'histoire géologique du Précambrien a été largement évoquée en première partie de cet ouvrage.

L'ensemble du Nord-Cameroun est situé dans la zone mobile d'Afrique Centrale. Les dépôts les plus anciens identifiables correspondent aux séries intermédiaires (1 200-1 800 M.A.). Elles sont représentées ici par **la Série de Poli** dont l'originalité par rapport aux autres séries plus méridionales est d'inclure de nombreuses passées de volcanites. Le métamorphisme y a été de faible intensité. On y trouve essentiellement des schistes : schistes argileux, ardoisiers, sericitoschistes, quartzites micacées, schistes à muscovite, à biotite, à amphibole et schistes épidotifères à chlorite. Au nord et au sud-ouest de Poli, outre des laves on trouve des batholites de roches grenues concordantes (granodiorites, diorites et gabbros).

L'orogenèse panafricaine qui va terminer la fin du Précambrien va être marquée par une migmatisation quasi générale des terrains précambriens passant en de nombreux endroits dans une lignée continue à la granitisation. On a tous les termes de passage entre ectinites, migmatites, anatexites et granites ; signalons au passage les cipolins et marbres de Bidzar. A cette époque, il y a aussi de nombreuses et importantes intrusions granitiques traversant les séries plus anciennes. Migmatisation et granitisation ont aussi assuré la mise en place au sud du grand batholite de l'Adamaoua. Cela constitue la dernière phase au Cambrien de l'orogenèse panafricaine.

La **Série de Mangbéï** est une alternance de roches détritiques azoïques et de coulées volcaniques que l'on rencontre en bordure du Mayo Kébi, au sud de son confluent avec le Mayo Louti et au nord de Poli dans la région de Hoyé. C'est une série d'origine continentale non métamorphisée qui présente de la base vers le sommet des conglomérats composés de galets du socle ancien, des argiles violacées intercalées de bancs grézeux, et des grès à granulométrie variable. Le tout est entrecoupé de coulées volcaniques (basalte, trachy-andésite, rhyolite) et de brèches formées à partir de la désagrégation de ces roches.

Postérieurement à l'orogenèse panafricaine et à ces dépôts datés du Silurien, une tectonique de fond semble avoir affecté tout le socle. Ainsi, par suite de mouvements verticaux qui pourraient dater de la fin du Jurassique, le socle s'est subdivisé en plusieurs compartiments ayant joué les uns par rapport aux autres. Les grands ensembles de la structure actuelle du Cameroun commencent, alors, à apparaître, notamment avec les deux blocs Adamaoua et Mandara et le « rift » de la Bénoué. Ceci entraîne une reprise de l'érosion et de nouvelles formations de couverture qui apparaissent au Crétacé.

Dans le Nord-Cameroun, des sédiments détritiques se sont déposés sur le vieux socle précambrien en plusieurs épisodes, quelquefois laguno-marins, mais le plus souvent continentaux. En effet, pendant le Crétacé, les mers du bassin sédimentaire côtier du sud du Nigéria vont pénétrer à l'intérieur du continent en un vaste golfe empruntant le cours actuel de la Bénoué et du bas-Niger. Ce golfe a atteint le Nord-Cameroun et sa partie amont était tantôt marine, tantôt lagunaire, tantôt franchement lacustre et continentale.

La première transgression est datée du Crétacé inférieur. D'ouest en est, les faciès passent du marin (Lamourdé, à 160 km à l'ouest de la frontière camerouno-nigériane) au laguno-continental (3 petits bassins synclinaux allongés d'est en ouest entre Garoua et Guider, et à Baouan et Kontcha, sud de Garoua). Ces dépôts laguno-continentaux témoins du Crétacé inférieur dans le bassin de la Bénoué commencent par des grès surmontés d'une puissante série schisteuse, comportant en son sommet des bancs gréso-marneux. L'ensemble ayant plus de 1 000 m d'épaisseur, nous sommes conduits à admettre une subsidence importante dans des bassins du type Graben et limités par des failles bordières vraisemblablement syn-sédimentaires.

Ces bassins ont été repris par la tectonique de la fin du Crétacé inférieur (post-Wealdien). Ils ont alors été fortement tectonisés et comprimés en synclinaux rendus dissymétriques par le jeu de cassures internes et de grandes failles bordières. A ce moment-là, des sills de dolérite se sont mis en place, provoquant un faible métamorphisme de contact dans les schistes encaissants. Cette « orogenèse » a également mis en relief le socle ancien dont l'érosion a permis l'apport des matériaux de la phase de sédimentation suivante.

Au Crétacé moyen (Cénomamien-Turonien), il y a une nouvelle transgression venant du Bas-Niger. Les dépôts sont cependant, côté Cameroun surtout, continentaux, mais ils comprennent quelques épisodes marins dont les vestiges sont observés jusque dans le bassin de Lamé. Ces épisodes marquent l'extension la plus orientale de la mer crétacée. Une coupe dans le bassin de Lamé montre la succession suivante, en discordance sur le socle :

- à la base, des cailloutis et des sables avec de nombreux fragments silicifiés de *Protopodocarpoxylon Rochii,*
- des grès cristallisés à ciment de calcite avec des marnes,
- des calcaires à lamellibranches *(Venericardia cuneata),*
- des marnes et argiles panachées et des sables à cailloux blancs.

Le Crétacé moyen dans le bassin du Mayo Rey, au sud de Rey Bouba, se présente sous forme d'un grès grossier lie de vin à stratifications entrecroisées surmonté de niveaux marneux avec des intercalations de bancs gréseux. Cette formation est traversée de venues basaltiques. Dans le fossé de la Mbere, situé au nord-est de Meiganga, le Crétacé moyen repose sur des gneiss intercalés de conglomérats métamorphisés et redressés. Il est formé par :

- un conglomérat de base surmonté de grès tendres avec zones argileuses,
- des coulées de basalte de 10 à 15 m d'épaisseur,
- au sommet quelques mètres de marne.

Au Crétacé supérieur, la sédimentation s'est poursuivie dans la partie occidentale du bassin de la Bénoué, à l'ouest du seuil de Lamoudan (entre Lagdo et Lamoudan) constitué par un haut-fond du socle déjà présent au Crétacé moyen. Les grès de Garoua attribués à cette époque atteignent au moins 800 m d'épaisseur. Leur ciment siliceux ou ferrugineux leur confère une grande résistance à l'érosion, leur permettant d'affleurer sous la forme de collines tabulaires et de dalles (Tinguelin et collines de Sanguere). Leur granulométrie est variable et la stratification entrecroisée générale. De nombreux petits bancs très durs de grès ferrugineux, interstratifiés dans la série, témoignent d'une ferralitisation des couches superficielles lors d'émersions. Ceci permet d'imaginer un bassin de sédimentation de faible profondeur et des courants importants prenant naissance aux débouchés de torrents arasant les reliefs cristallins avoisinants. Les seuls fossiles connus sont des bois silicifiés, preuves du caractère continental de ce bassin. Toute cette formation est traversée de cheminées, coulées et filons basaltiques et trachytiques. Cette phase volcanique semble à la fois contemporaine et postérieure à la sédimentation.

Il n'est pas impossible que les grès de Garoua fassent la transition entre la fin-Crétacé et le début de l'Éocène. L'absence de faune ne permet pas de se prononcer avec certitude.

Sur la Vina-Nord près de Sora Mboum, il y a de larges affleurements de grès et grès-quartzites qui ont été mis en parallèle avec les grès de Garoua. Dans le fossé de la Mbéré au sud-est du bassin, on trouve de petits affleurements d'un conglomérat à éléments grossiers, du Crétacé supérieur.

Des mouvements tectoniques plus faibles que ceux du Crétacé inférieur ont affecté ces terrains. Un synclinal à peine marqué s'est dessiné suivant un axe correspondant au cours actuel de la Bénoué. Il semble également qu'à une époque la vallée de la Bénoué ait subi un effondrement E-O.

Pour la Bénoué, la sédimentation fluvio-lacustre se serait définitivement arrêtée au début du Tertiaire, période durant laquelle le système fluviatile a eu une action érosive et ce jusqu'au Quaternaire. Le Tertiaire reste cependant marqué par la mise en place des granitoïdes ultimes dont les plus septentrionaux percent la couverture des sables tchadiens à Waza (Syénite) ou Grea et Balda (granite à Riebeckite). Ils sont souvent accompagnés de roches volcaniques [1] et les hossérés isolés en constituent souvent les témoins.

Le Tertiaire est aussi marqué par le volcanisme général du Cameroun avec en particulier les épanchements basaltiques de la série noire inférieure qui sont peu étendus en dehors de l'Adamaoua. Citons quelques coulées dans les Kapsikis et dans la vallée de la Bénoué. Les hauts-bassins de la Bénoué, Deo, Faro, les hautes vallées de la Vina et de la Mbere sont par contre l'objet de recouvrements basaltiques importants issus du Nganha, du Tchabal Mbabo ou de Tignere. La série blanche intermédiaire est aussi assez peu marquée au nord de la Bénoué : quelques trachytes ou phonolites à Mokolo et dans les célèbres aiguilles de Roumsiki. Sur le plateau de l'Adamaoua, les recouvrements trachytiques coiffent les basaltes du Nganha en particulier. la dernière phase – série noire supérieure – est signalée près des sources de la Mbéré.

Mais le tertiaire est aussi une importante phase d'accumulations de dépôts dans la cuvette tchadienne pouvant atteindre vers Djamena plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Au Nord-Cameroun, affleure une large bande de sables anciens à l'est d'une ligne Mora-Maroua-Kaele qui ont été rattachés aux sables de Kelo du Tchad par E. Roch qui date l'ensemble du Continental Terminal. Certains auteurs ont imaginé que ces sables proviendraient d'une érosion des grès de Garoua par suite d'un basculement provisoire du réseau de la Bénoué vers le Lac Tchad.

Au Quaternaire, à la suite d'une modification intervenue dans le profil en long du système, la Bénoué et ses principaux affluents se sont mis à alluvionner.

A une époque plus récente, les alluvions des vallées des monts Mandara (Mayo Tiel, Mayo Touroul) et de la vallée du bas Kébi ont été recreusées par suite d'un abaissement général du niveau de base de la Bénoué (soulèvement du plateau de l'Adamaoua).

Les dépôts récents sont pour la plupart des alluvions d'origine fluvio-lacustre. Ces formations sont très développées dans les vallées de la Bénoué à l'aval de Tatou, du Kébi, du Faro à l'aval de Tchamba.

Les formations du socle cristallin sont recouvertes d'une frange d'altération que l'on nomme arène et dans laquelle sont presque exclusivement localisées les nappes d'eau souterraines.

Les carapaces latéritiques sont surtout développées au sud de la latitude de Garoua. On les rencontre sur les terrains cristallins, où elles coiffent les arènes, comme sur les dépôts crétacés, où elles forment des plateaux subhorizontaux très étendus (bassin marno-

(1) Près de Mora, la « ring-structure » de l'hossérés de Golda-Zuelva associe granites aux trachytes et dolérites et traverse à l'emporte-pièce les migmatites encaissants.

gréseux de Koum). Elles se seraient formées à la fin du Tertiaire ou au début du Quaternaire et marqueraient une surface d'érosion que les géomorphologues identifient comme surface de la Bénoué.

Côté bassin du Tchad, les dépôt superficiels de la plaine du Logone et du Yaéré sont constitués d'alluvions du Logone et des mayos des Mts Mandara et d'argiles lacustres déposées lors des périodes de grande extension du Lac Tchad. Le cordon dunaire de la Frontière Nigériane à Limani jusqu'à la frontière tchadienne à Bongor marque l'extension maximale au Cameroun du grand Paléo-Tchad.

1.3. Grands traits de l'hydrogéologie du Nord-Cameroun

Dans la province du Nord-Cameroun, les écoulements pérennes ne sont observés le plus souvent que dans les cours d'eau principaux. Les ressources en eau souterraine prennent alors pour les populations une importance vitale ; elles conditionnent souvent le développement de zones de peuplement à la différence des régions du Sud-Cameroun où les eaux souterraines n'ont le plus souvent qu'un intérêt marginal [1].

Le Bureau de l'eau de la Direction des Mines et de la Géologie à Garoua s'est consacré depuis de longues années à des tâches d'inventaire des ressources en eau du Cameroun ainsi qu'à l'aménagement des points d'eau (forages, puits) et à leur exploitation.

Les terrains aquifères peuvent être subdivisés en trois catégories au Nord-Cameroun (Tillement, 1970) :
- aquifère dans le socle altéré ou fissuré,
- aquifère dans les dépôts crétacés,
- aquifère dans les alluvions quaternaires.

Généralement la richesse en argile des terrains aquifères les rend assez peu perméables à l'exception de certains horizons des grès de Garoua ou de lentilles de sables grossiers.

Les nappes dans le socle altéré ou fissuré

Les nappes connues sont contenues dans la frange d'altération superficielle dont l'épaisseur est en relation avec la pluviométrie. L'épaisseur des arènes dépasse rarement 4 à 5 mètres dans la région de Mora pour l'isohyète 700 mm mais atteint fréquemment 15 m sous l'isohyète 1 400 mm (vers 8° N).

Les puits de ces nappes ont des débits d'exploitation toujours inférieurs à 2 m³/heure et ne peuvent être utilisés que pour l'alimentation rurale.

Les prospections effectuées sur les zones fissurées du socle (failles et zones de fractures) laissent espérer des ressources complémentaires intéressantes, les méthodes d'investigation sur ce type d'aquifères à perméabilité en grand s'étant largement développées ces dernières années.

Les nappes du Crétacé inférieur et moyen

Elles concernent les régions bien délimitées de petits bassins synclinaux et la partie sud-est du bassin sédimentaire de la Bénoué. La nature lithologique des roches rend l'aquifère peu perméable et l'exploitation de ces nappes doit toujours rester limitée aux usages domestiques ruraux. Il y a parfois des nappes profondes artésiennes dont le débit reste faible.

Dans le bassin d'Amakousou au nord de Garoua (route de Mokolo) qui fait 65 km², une nappe phréatique continue est atteinte entre 5 et 15 m de profondeur. La perméabilité est faible et, si Wakuti (1968) estime à 10^7 m³ la réalimentation annuelle de toute la nappe, l'exploitation par puits ne permet pas de dépasser 1 m³/h.

Le bassin du Mayo Oulo couvre 120 km² au Cameroun. La nappe phréatique dans les marno-schistes est peu profonde et drainée par les mayo Louti et Oulo. Sa perméabilité est très faible et les débits d'exploitation sont de l'ordre de 100 l/h à Tchontchi. L'existence d'une nappe artésienne dans les grès de base n'est pas exclue.

Le bassin de Babouri-Figuil comparable au précédent offre une nappe phréatique aussi bien dans les grès de base, la série marno-schisteuse que dans les grès marneux sommitaux. Les débits d'exploitation sont toujours très faibles (100 l/h). Quelques lentilles profondes de grès donnent une eau artésienne (Boura et Sorawel où on obtient 600 l/h à la surface du sol pour une nappe atteinte à 200 m de profondeur). Le bassin de Koum, à l'est de Tchollire sur le Mayo Rey, est assez étendu (1 200 km²) et semble avoir une nappe phréatique continue peu profonde (entre 4 et 13 m). Les débits d'exploitation des puits villageois sont de l'ordre de 2 m³/h. La salinité des eaux est élevé (1 g/l) par suite du lessivage de lentilles argileuses halomorphes. Le Crétacé moyen de la Mbéré n'a pas été reconnu sur le plan hydrogéologique, de même que les petites unités de Koutcha et Baouan.

La nappe des grès de la Bénoué du Crétacé moyen se développe dans la partie sud et sud-est de l'ensemble sédimentaire du bassin de la Bénoué, en particulier dans la région de Rey Bouba, celle de Boki-Lamoudan et celle de Tcheboa. Les grands cours d'eau drainent cette nappe assez mal connue et peu exploitée du fait du peuplement limité de la région. La perméabilité n'est pas très bonne, les grès de la Bénoué étant plus souvent des « marno-grès ».

(1) Quelques exceptions : les eaux souterraines sont captées par des usines dont les Brasseries à Yaoundé et Douala. L'alimentation de Douala est en partie assurée par des forages.

Il n'y a pas discontinuité avec les dépôts du Crétacé supérieur et la même nappe se poursuit dans les grès de Garoua à l'ouest du seuil de Lamoudan.

La nappe du Crétacé supérieur

Elle est limitée aux grès de Garoua dont l'extension concerne la vallée inférieure de la Bénoué au sens large. La série des grès de Garoua présente des faciès variables qui ont généralement une assez bonne perméabilité. Certains horizons gréseux constituent les meilleurs aquifères du pays. A la porosité du grès, s'ajoute souvent une porosité secondaire de fissures bien plus importante qui donne à l'aquifère des propriétés hydrodynamiques localement intéressantes. On a alors des débits d'exploitation qui peuvent dépasser 50 m³/h. La porosité des grès fins à grossiers est de l'ordre de 25 % dans la région de Garoua et les perméabilités des zones les plus intéressantes varient de 10^{-4} à 10^{-5} m/s. L'ensemble de la nappe des grès de Garoua n'offre cependant pas des ressources en eau aussi abondantes sur toute son étendue. La nappe se poursuit à l'ouest au Nigéria. Elle est finalement peu exploitée en dehors de l'alimentation en eau de Garoua.

Les nappes dans les alluvions quaternaires

Dans les vallées du bassin de la Bénoué, les dépôts d'alluvions quaternaires peuvent avoir quelques kilomètres de largeur et jusqu'à 40 m d'épaisseur. C'est donc une extension qui est loin d'être négligeable en particulier sur la Bénoué et le Mayo Rey, sur le Mayo Kébi et sur le Faro. Ces alluvions sont toujours aquifères. Dans la région de Pitoa, dans les alluvions du confluent Kébi-Bénoué, les débits d'exploitation sont de l'ordre de 3 m³/h.

Mais c'est bien sûr dans la cuvette tchadienne que les nappes quaternaires prennent toute leur importance. On peut distinguer dans l'extrême-nord Cameroun deux unités séparées par le cordon dunaire Limani-Yagoua. Au nord et à l'est, les alluvions renferment une nappe généralisée alimentée principalement par le Logone, le bas-Chari et par le Lac Tchad. Entre Yagoua et Waza, l'alimentation du Logogne est particulièrement bien mise en évidence par un thalweg de la surface piézométrique séparant la zone d'apports du Logone de celle d'apports des Mts Mandara.

A l'ouest du cordon dunaire, la nappe phréatique n'est pas continue. Les dépôts de la plaine de Piémont sont parfois argileux et les nappes se limitent souvent vers Mora aux sous-écoulements des mayos qui descendent des Mts Mandara. On observe alors des nappes allongées s'étendant latéralement sur quelques kilomètres seulement de part et d'autre des mayos et dont l'écoulement se fait vers la nappe du Logone. Dans le Diamare, ces nappes sont plus développées et se rejoignent à l'aval pour former une nappe continue (Motorsolo et Tsanaga).

Il peut y avoir aussi dans la plaine quaternaire tchadienne de petites nappes superficielles piégées dans des cordons sableux en rapport avec d'anciens lits de mayos.

Une nappe artésienne profonde a aussi été mise en évidence, en particulier à Logone-Birni. Elle est connue aussi au Nigéria où elle est très exploitée. Elle serait présente lorsque les sédiments ont au moins 250 m d'épaisseur.

L'alimentation des nappes

On soulignera seulement que les aquifères de la cuvette tchadienne sont alimentés par les rivières, que ce soit par les cours d'eau pérennes (Logone, etc.) et étendues d'eau (Lac Tchad), ou l'inféro-flux (underflow) des mayos saisonniers.

Plus au sud, toutes les nappes étudiées sont alimentées essentiellement par infiltration directe des précipitations et les cours d'eau constituent plus généralement un drain des nappes superficielles.

1.4. Les sols du Nord-Cameroun

Dans le Nord-Cameroun, la répartition des sols varie avec la latitude, le substratum et le relief. On y distingue essentiellement :
- des lithosols ou sols peu évolués,
- des sols ferrugineux tropicaux,
- des sols hydromorphes.

Sur les hauts-bassins de cours d'eau comme la Bénoué, le Faro, la Vina et la Mbéré, on retrouve les **sols ferrallitiques** de l'Adamaoua. Ils ont pu se développer **sur basaltes** et sont d'un brun jaune à un brun rouge et relativement peu perméables malgré leur texture grumeleuse. Les plus fréquents sont sur roches acides (granites, etc.) et sont faiblement ferrallitiques modaux ; ces sols brun gris très sableux en surface sont perméables et à capacité de rétention d'eau moyenne.

Les sols ferrugineux tropicaux font suite vers le nord aux derniers sols ferrallitiques. Ils sont intermédiaires entre ces derniers et les sols fersiallitiques tempérés. Ils sont marqués par une altération plus intense (teneur en fer libre par rapport au fer total plus élevée que dans les sols ferrallitiques et l'alumine libre a disparu). L'alternance de saisons humides et sèches entraîne par déshydratation du fer une rubéfaction colorant en rouge ces sols. Si la saison sèche est moins marquée, la déshydratation n'est pas totale et les sols sont brun ou ocre.

Côté confluent Mbéré et Vina, on observe le développement de **sols ferrugineux tropicaux lessivés et indurés** sur un modelé parfaitement aplani et peu disséqué par le réseau hydrographique. Le

lessivage de l'argile en surface en fait des sols perméables, l'horizon supérieur étant constitué de sables grossiers et fins de couleur grise.

Le sud de la province du Nord-Cameroun, en particulier le bassin de la Bénoué, est en grande partie occupé par des **sols ferrugineux tropicaux** type. Comme les précédents, mais avec une nuance climatique plus sèche, ils résultent du faible enfoncement du réseau hydrographique sur des reliefs très peu marqués qui se traduit par un drainage médiocre. Ce sont des sols peu profonds marqués par l'hydromorphie et l'apauvrissement d'une partie importante du profil en fer et en argile, avec redistribution du fer qui peut s'accumuler dans des zones basses pour former des cuirasses ferrugineuses. L'hydromorphie de profondeur (nappe) est alors responsable de ces cuirassements. Le substratum peut être constitué par le socle ancien comme par des grès crétacé. De tels sols peuvent aussi se développer sur des dépôts quaternaires. Les sols de la région de Kaele, ocre-rouge ou beige, occupent les glacis subhorizontaux mal drainés sur les sables du Kelo en continuité avec ceux du Mayo Kébi et de la vallée du Logone au Tchad.

Au sud de la latitude de Garoua, il y a aussi une bonne proportion de **sols hydromorphes** dont la formation dépend d'un des processus importants de la pédogenèse : l'hydromorphie de surface caractéristique des vertisols. Celle-ci consiste en un engorgement temporaire de l'horizon supérieur souvent dû à un mauvais drainage. Deux facteurs principaux interviennent :

- **présence** d'un minéral argileux gonflant, la **montmorillonite,** qui diminue très fortement la perméabilité de l'horizon considéré dès que l'eau s'y infiltre, pouvant conduire à une asphyxie totale pendant une grande partie de l'année ;
- **insuffisance quantitative du fer** dont le rôle dans les sols rouges tropicaux est justement d'empêcher le gonflement de la montmorillonite, conservant ainsi au sol un excellent drainage.

Cette succession d'engorgements et d'aérations provoque réduction et oxydation avec mise en mouvement et précipitation du fer.

Ce sont ces **sols hydromorphes à pseudo-gley** que l'on trouve – en rive droite de la Bénoué dans la région de Rey Bouba et jusqu'au Tchad, –à l'ouest de Poli dans toute la vallée du Faro-Deo, – dans les basses vallées de la Vina. Ils se développent le plus souvent avec la morphologie suivante :

- un horizon sableux à sablo-argileux de 30 cm ameubli par les vers de terre ;
- un horizon débutant souvent par un lit de cailloux, mais présentant les caractéristiques habituelles du pseudo-gley, argilo-sableux massif et de couleur terne ;
- un horizon de passage à la roche-mère de 50 à 70 cm.

Ces sols dérivent de matériaux de texture variable (socle, sables de grès, alluvions) et présentent une teinte générale grise avec des taches rouges, ocres, brunes ou noires (oxydes de fer).

A l'est d'une ligne Mora-Maroua-Figuil et jusqu'au Lac Tchad au nord, la plaine de la cuvette tchadienne est en grande partie concernée par des sols hydromorphes. On a en particulier des vertisols et **sols hydromorphes à gley** (hydromorphie de surface + hydromorphie de profondeur) dans le Yaere et le long de la vallée du Logone où l'excès d'eau sur le sol est quasi permanent du fait des longues périodes de submersion.

D'autres sols hydromorphes ont été différenciés suivant la roche-mère : schistes du Oulo, sables du Nord-Cameroun, etc. Ils ont en commun d'être argileux et gris à gris sombre, d'où leur nom d'« Argiles noires tropicales », dont certaines deviennent en saison sèche la terre de karal ou berbéré. Certains deviennent halomorphes (sodiques) dans le delta du Logone-Chari et les bordures du Lac Tchad par suite des apports fluviatiles en matières dissoutes.

Le long des vallées principales, on trouve des **sols alluviaux** de bonne qualité dont on cherche à développer l'exploitation et qui passent latéralement à des **sols hydromorphes sur alluvions.**

Il reste à évoquer **les sols minéraux bruts et peu évolués.**

Nous citerons d'abord **les sols régosoliques et lithosoliques** à faciès ferrugineux et lessivés issus de l'altération des roches cristallines en zone de montagne et de collines. On les trouve en particulier dans le massif de Poli, les Mts Alantika et les Mts Mandara (Mokolo). Dans ce dernier massif, l'extension de ces sols peu fertiles, sur fond de montagnes granitiques dont l'altération en boules est une des caractéristiques du paysage, rend difficile le développement des cultures alors que les densités humaines y sont très fortes. Bien entendu les sols d'arènes granitiques sont très répandus.

Ces sols minéraux bruts sont souvent associés à des **sols peu évolués.** On reconnaît dans ces derniers ceux formés sur l'ancien cordon dunaire du grand Tchad entre Mora et Yagoua et des sols bruns eutrophes à bon drainage et sensibles à l'érosion sur roches basiques.

2. PRINCIPAUX ASPECTS DE LA CLIMATOLOGIE DU NORD-CAMEROUN

2.1. Généralités – Les différentes zones climatiques

Par opposition aux régions humides que nous avons réunies sous le vocable de « Cameroun Humide », le Nord-Cameroun sera appelé « Cameroun Sec ». La transition se fait au niveau de l'Adamaoua. Bien que les bassins versants de la Bénoué, de la Vina ou de la Mbere mordent largement sur les hautes terres de ce plateau, on convient sur le plan climatique d'arrêter au rebord septentrional de l'Adamaoua la limite-sud du Nord-Cameroun qui s'étend jusqu'au Lac Tchad.

Le climat de cette région qui s'étire sur plus de 5° de latitude est d'abord caractérisé par une saison sèche particulièrement rigoureuse.

Nous sommes dans la zone des climats tropicaux avec du sud au nord :
- une zone à climat soudanien de nuance humide,
- une zone à climat soudanien franc,
- une zone à climat soudanien de tendance sèche,
- une zone à climat sahélien.

Le plateau de l'Adamaoua est, rappelons-le, une région à climat tropical d'altitude ; il a été étudié précédemment et nous nous bornerons ici à reprendre les données climatologiques de Ngaoundéré.

La zone soudanienne à tendance humide est située entre les rebords septentrionaux de l'Adamaoua et le parallèle de Rey Bouba, qui marque en gros la limite sud de la basse plaine de la Bénoué.

Dans cette zone, la pluviosité annuelle est relativement forte. La saison pluvieuse s'étend sur 7 mois.

Les oppositions de relief ont une ampleur inconnue dans d'autres régions du Nord, ampleur qui amène à distinguer un type dépressionnaire à nuance déjà assez sèche et un type submontagnard à nuance nettement humide.

Le premier est illustré par Touboro. Le profil pluviométrique de cette station montre des précipitations de juillet comparables à celles d'août et septembre. Néanmoins, le nombre de jours de pluie reste relativement faible.

Le type submontagnard est représenté par Tchamba sur le versant est des monts Alantika et Poli, entouré de massifs dont l'altitude dépasse 2 000 m au Sud. Septembre est le mois le plus pluvieux. La saison des pluies s'étend sur 7 mois.

Mais Poli constitue un cas limite pour le Nord-Cameroun : il définit un régime humide au sein de la zone tropicale et, par opposition à Touboro, un type occidental qui, déjà, met en évidence l'influence de la mousson.

La zone soudanienne franche correspond au bassin de la Bénoué au sud des Monts Mandara.

La saison sèche dure six mois.

Les conditions topographiques locales (inselbergs, vallées abritées,...) expliquent les variations, relativement importantes, de pluviométrie enregistrées entre différents secteurs de cette région. Le profil pluviométrique montre une saison pluvieuse concentrée sur juin, juillet, août et septembre.

Les maximas sont en août et septembre avec des valeurs du même ordre pour ces deux mois. Dès octobre, l'affaiblissement des pluies est très rapide.

La faible altitude de la région entraîne une augmentation sensible des températures moyennes.

La zone soudanienne à tendance sèche s'étend entre la cuvette de la Bénoué et le 11^{e} parallèle.

La saison sèche dure 7 mois dont 5 avec une pluviométrie nulle. Juillet et août concentrent plus de 50 % des pluies, mais le mois de septembre est encore assez abondant. Vers l'ouest, les monts Mandara modifient ce type de climat que l'on appellera alors soudanien de nuance montagnarde. Les totaux mensuels et le nombre de jours pluvieux sont plus élevés qu'en plaine.

La zone sahélienne

C'est l'extrême nord du Cameroun que l'on rattache à ce type de climat (entre les 13^{e} et 11^{e} parallèles environ).

La saison sèche est longue, avec six mois à pluviosité pratiquement nulle, les pluies sont très concentrées sur les mois de juillet et d'août (environ 2/3 du total annuel).

Le Réseau de stations d'observation est relativement peu dense et, dans bien des cas, les relevés sont de qualité médiocre ou de durée nettement insuffisante.

Au sud, côté Adamaoua, les stations ont déjà été citées dans l'étude de la Sanaga (Tignere, Wakwa, Meiganga) et seule celle de Ngaoundéré sera reprise ici.

L'information météorologique est particulièrement incomplète sur le plan géographique et les relevés de stations de pays voisins ont dû être utilisés : Ndjamena pour le nord de la province, Moundou pour l'est du bassin de la Vina, Baïbokoum pour les précipitations de ce même bassin. D'autres stations du Tchad ont pu être utilisées pour le dessin des isohyètes.

Nous donnons dans le tableau 9.1 les caractéristiques des stations citées dans l'analyse qui suivra.

Tableau 9.1

Station	Latitude Nord	Longitude Est	Altitude m	Observations (1)
Ndjaména (ex Ft-Lamy : Tchad)	12° 08	15° 02	295	P(36) Météo
Kousseri (ex Fort Foureau)	12° 05	15° 00	304	P(36)
Mora	11° 03	14° 08	500	P(30)
Guetale	10° 53	13° 54	490	P(20)
Pouss	10° 51	15° 04	312	P(9)
Godola	10° 42	14° 16	420	P(8)
Mokolo	10° 45	13° 49	770	P(21) météo partielle
Maroua Agri.	10° 34	14° 18	400	P(40)
Maroua Salak	10° 28	14° 15	403	P(18) Météo
Yagoua	10° 21	15° 17	330	P(33)
Bongor (Tchad)	10° 17	15° 22	328	P(20)
Doukoula	10° 07	14° 58	340	P(15)
Kaele	10° 05	14° 27	387	P(22)
Bourrah	10° 15	13° 31	780	P(12)
Guider	9° 56	13° 57	340	P(34)
Garoua Météo	9° 20	13° 23	249	P(20) Météo
Garoua Ville	9° 18	13° 24	213	P(43)
Yola (Nigéria)	9° 12	12° 29	174	P(35)
Lere (Tchad)	9° 39	14° 13	265	P(20)
Pala (Tchad)	9° 22	14° 55	464	P(21)
Rey Bouba	8° 42	14° 08	235	P(11)
Tchollire	8° 24	14° 17	360	P(17)
Safaïe-Djelepo	8° 35	12° 50	250	P(8)
Moundou (Tchad)	8° 37	16° 04	422	P(34) Météo
Touboro	7° 47	15° 21	500	P(14)
Baïbokoum (Tchad)	7° 44	15° 41	520	P(28)
Poli	8° 29	13° 15	436	P(32) météo partielle
Ngaoundéré	7° 17	13° 19	1119	P(37) Météo

(1) P(14) : mesure des précipitations et nb. d'années d'observation.

2.2. Principaux paramètres climatiques

2.2.1. Les vents

La carte de la figure 9.1 indique les fréquences moyennes annuelles des vents de surface, suivant les huit directions principales. Le pourcentage des calmes y est figuré par un cercle d'autant plus grand que les calmes sont importants.

Les vents dominants diffèrent selon la région. A l'extrême nord du Cameroun, les vents sont assez bien répartis sur l'ensemble des directions, mis à part le quadrant sud-est.

Dans la région de Maroua, les vents dominants sont situés dans le quadrant nord-est.

A Kaele, il y a deux directions privilégiées, le nord et le sud-ouest.

Plus au sud dans la région de Garoua, les vents dominants sont de secteur nord-ouest, tandis qu'à Poli il sont généralement orientés au nord-est ou au nord-ouest.

Dans le secteur de Ngaoundéré, il n'y a pas de prédominance franche. On peut privilégier, cependant, le secteur nord-est.

La figure 9.2 confirme cette diversité. Maroua-Salak et Ngaoundéré ont des comportements comparables : importance des vents de secteur nord-est en janvier et octobre, des vents de sud-ouest en avril et en juillet. Les calmes sont cependant beaucoup plus fréquents

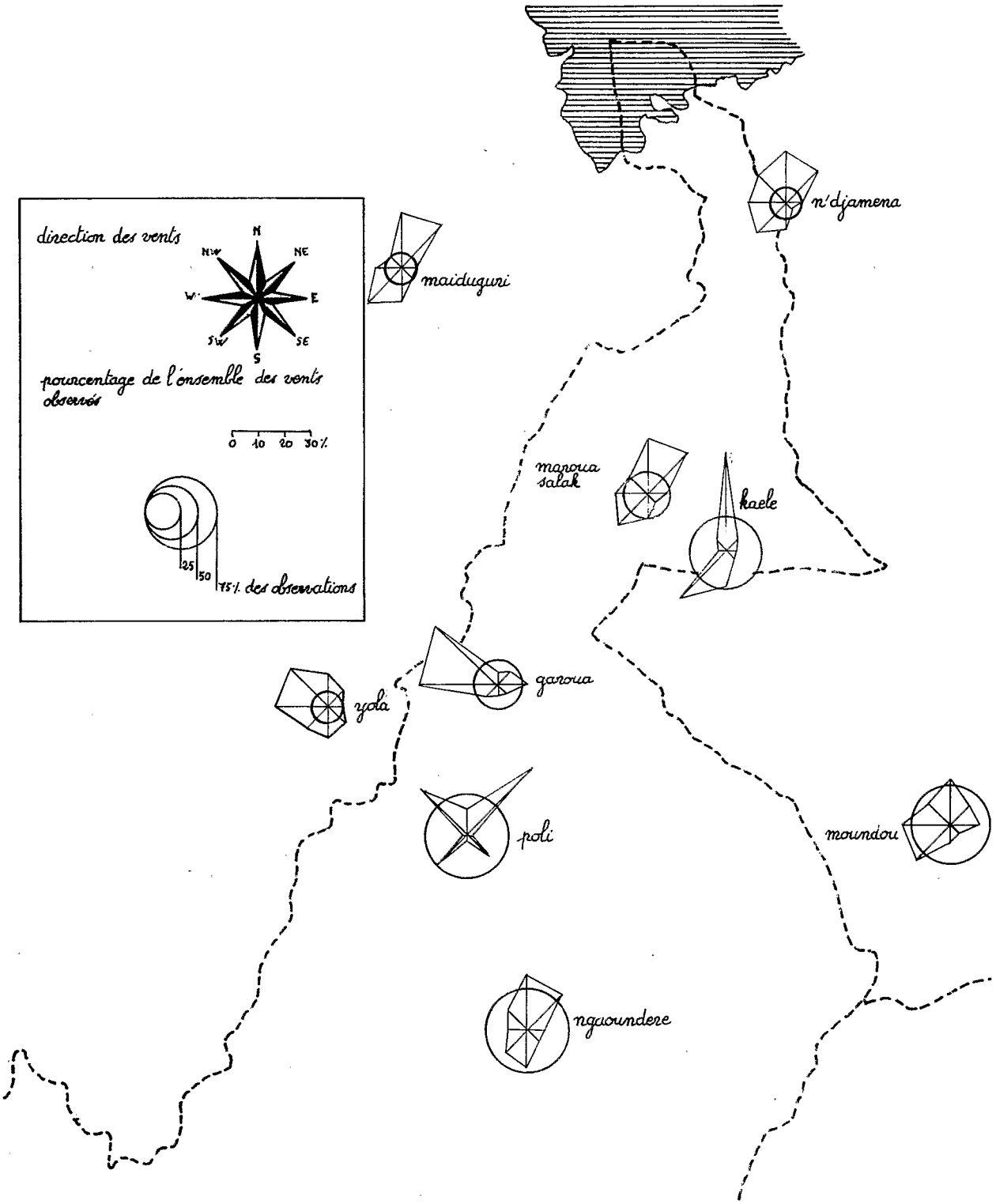


Fig. 9.1. – Vents de surface.
Fréquences moyennes annuelles selon les huit directions principales
Fréquence moyenne annuelle des calmes.

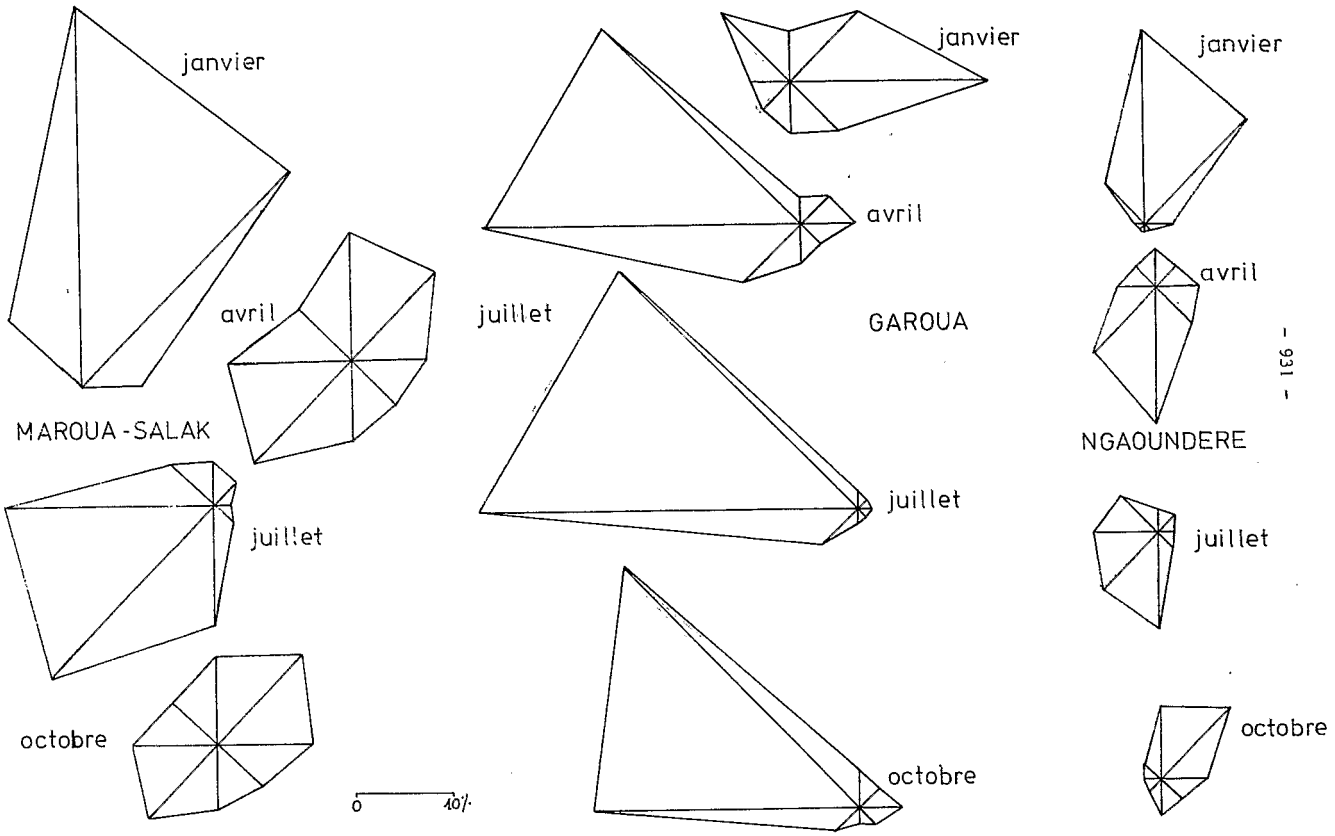


Fig. 9.2. – Fréquence moyenne mensuelle de la direction des vents pour les mois de janvier, avril, juillet et octobre aux stations de Maroua-Salak, Ngaoundéré et Garoua.

à Ngaoundéré. Par contre, Garoua offre une répartition des vents différente : vents dominants de secteur est en janvier et de secteur nord-ouest en avril, juillet et octobre, ce qui correspond aussi à l'orientation de la vallée de la Bénoué.

Tableau 9.2.

Station	Calmes V < 1 m/s	2-4	Vents en m/s			
			5-6	7-14	15-21	>21
Ndjamena	10.9	68.7	16.5	3.9	0.01	
Maroua	38	50	10	2		
Garoua						
Moundou	58.0	38.5	3.0	0.5	0.01	
Ngaoundéré	40.9	42.0	11.8	5.24	0.05	0.01

2.2.2. Les températures

Dans le tableau 9.3, on a indiqué pour quatre stations représentatives les variations des températures maximum et minimum moyennes mensuelles, des températures moyennes mensuelles et des amplitudes moyennes mensuelles et les moyennes annuelles pour les stations de Ndjamena, Maroua Salak, Garoua et Ngaoundéré. Seules les valeurs annuelles ont été indiquées pour quelques autres stations.

Si on se reporte à la carte en courbes isothermes moyennes annuelles, on relève que la région la plus chaude se situe normalement dans la région typiquement sahélienne et qu'il y a décroissance des **températures moyennes annuelles** en allant vers le sud. Le schéma général est cependant très affecté par des effets de relief. Ainsi, on a des températures plus faibles dans les Monts Mandara et le Massif de Poli et par contre de fortes valeurs pour le bassin de la Bénoué. La Province du Nord-Cameroun est située dans une des régions les plus chaudes d'Afrique.

L'altitude constitue le paramètre déterminant de la température moyenne annuelle, la latitude ne constituant qu'un facteur secondaire.

Ainsi, la régression linéaire obtenue avec l'altitude est d'assez bonne qualité. Son coefficient de corrélation est de 0,891 et la relation s'écrit :

$t°_z = -5{,}9\ 10^{-3}z + 29{,}6$ z étant l'altitude.

Tableau 9.3. – Températures (moyennes mensuelles).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ndjamena													
(15 ans) Tx	33.3	36.0	39.2	41.1	40.2	37.0	32.6	30.3	32.4	36.0	36.1	33.5	35.7
Tn	13.9	16.1	20.5	23.9	25.2	24.0	22.6	21.9	22.3	21.4	17.6	14.4	20.3
moy.	23.6	26.0	29.9	32.5	32.7	30.5	27.6	26.1	27.4	28.7	26.9	24.0	28.0
Tx-Tn	19.4	19.9	18.7	17.2	15.0	13.0	10.0	8.4	10.1	14.6	18.5	19.1	15.4
Maroua Salak													
(15 ans) Tx	32.7	35.3	38.5	39.2	37.6	34.0	31.6	30.0	31.5	34.6	35.1	33.6	34.5
Tn	16.9	18.6	22.3	24.9	24.3	22.2	21.7	21.2	20.9	20.5	19.0	17.1	20.8
moy.	24.9	27.0	30.8	31.9	31.0	28.2	26.6	25.6	26.2	27.7	27.1	25.3	27.7
Tx-Tn	15.8	16.7	16.2	14.3	13.3	11.8	9.9	8.8	10.6	14.1	16.1	16.5	13.7
Garoua													
(20 ans) Tx	34.7	37.5	40.0	39.0	36.4	32.6	30.9	30.3	31.0	33.8	35.9	35.3	34.8
Tn	17.6	20.5	24.4	25.6	24.4	22.6	21.9	22.0	21.7	21.9	19.0	17.3	21.6
moy.	26.2	29.0	32.2	32.3	30.4	27.6	26.4	26.2	26.4	27.9	27.5	26.3	28.2
Tx-Tn	17.1	17.0	15.6	13.4	12.0	10.0	9.0	8.3	9.3	11.9	16.9	18.0	13.2
Moundou													
(14 ans) Tx	35.0	37.8	39.4	38.2	35.4	32.8	30.2	29.9	30.4	32.4	34.9	34.5	34.2
Tn	14.7	17.7	21.9	23.6	23.1	21.9	21.4	22.9	21.0	21.2	18.3	15.0	20.2
moy.	24.8	27.7	30.6	30.9	30.2	27.3	25.8	25.6	25.7	26.8	26.6	24.7	27.1
Tx-Tn	20.3	20.1	17.6	14.6	12.3	10.9	8.8	7.0	9.4	11.2	16.6	19.5	14.0
Ngaoundéré													
(26 ans) Tx	30.4	31.4	31.7	30.1	28.4	27.1	25.9	25.7	26.5	27.9	29.4	30.1	28.7
Tn	12.8	14.2	16.7	17.6	17.2	16.7	16.9	16.9	16.4	16.0	14.0	12.7	15.6
moy.	21.6	22.8	24.2	23.9	22.8	21.9	21.3	21.3	21.5	22.0	21.7	21.4	22.2
Tx-Tn	17.6	17.2	15.0	12.5	11.2	10.4	9.0	8.8	10.1	11.9	15.4	17.4	13.0
Mokolo													
Tx	31.3	31.7	35.0	36.8	35.2	31.7	29.3	27.5	29.6	31.8	32.6	30.3	32.0
Tn	17.8	18.7	22.2	24.3	22.4	20.6	19.5	19.6	19.0	19.8	19.5	17.5	21.1
moy.	24.6	25.2	28.6	30.5	28.8	26.2	24.4	23.5	24.3	25.8	26.0	23.9	26.6
Tx-Tn	13.5	13.0	12.8	12.5	12.8	11.1	9.8	7.9	10.6	12.0	13.1	12.8	10.9
Poli													
(7 ans) Tx	33.7	33.5	36.5	37.0	34.2	31.2	29.6	29.2	29.7	31.8	33.8	33.0	32.8
Tn	12.3	15.5	20.5	23.2	22.2	21.2	21.2	21.0	20.3	20.2	17.0	14.0	19.0
moy.	23	24.5	28.5	30.1	28.2	26.2	25.4	25.1	25.0	26.0	25.4	23.5	25.8
Tx-Tn	21.4	18.0	16.0	19.8	12.0	10.0	8.4	8.2	9.4	11.6	16.8	19.0	14.5

Avec la latitude, la régression est de moins bonne qualité ; le coefficient de corrélation tombe à $r = 0{,}786$ et la relation s'écrit : $t°_y = 1{,}03\ y + 16{,}37$ y est la latitude de la station en degrés et dixièmes.

Les températures moyennes mensuelles, qu'il s'agisse de la température minimale moyenne mensuelle ou de la température maximale moyenne mensuelle, montrent des variations d'une amplitude relativement importante (figures 9.3 et 9.4).

Pour la température minimale moyenne mensuelle, le minimum est observé en décembre-janvier. C'est l'influence continentale qui se fait ressentir avec les nuits fraîches bien connues pour cette période en climat soudanien, sahélien et désertique. Le maximum des températures maximales moyennes mensuelles s'observe en avril pour les stations les plus au nord (Djamena et Maroua Salak) et dès le mois de mars pour Garoua et Ngaoundéré. Cela correspond à la fin de la saison sèche. Le minimum des températures maximales moyennes mensuelles s'observe en août pour les 4 stations, ce qui correspond à un mois de précipitations très abondantes. On notera également, sauf pour Ngaoundéré, une remontée des températures maximales moyennes mensuelles après août, avec un deuxième sommet en novembre.

Les températures moyennes mensuelles suivent en partie les variations des températures maximales, avec un maximum en avril (en mars pour Ngaoundéré, station déjà beaucoup plus méridionale), un minimum en août, et un second sommet de température en octobre-novembre. Un minimum principal apparaît en décembre ou janvier avec les plus bas minimums (minimum secondaire à Garoua, Ngaoundéré).

L'observation des **écarts diurnes moyens mensuels** montre que les valeurs maximales sont rencontrées en décembre, janvier et février. C'est février pour Ndjaména et Maroua Salak, décembre pour Garoua et janvier pour Ngaoundéré et Moundou. Les amplitudes maximales sont importantes, puisqu'elles atteignent 19,9° C à Ndjamena et 20,3° C à Moundou où le climat continental se fait pleinement sentir ; 16,7° C à Maroua Salak ; 18° C à Garoua et 17,5° C à Ngaoundéré.

L'écart diurne moyen mensuel minimum est observé en août pour ces 4 stations. Il reste néanmoins supérieur à 8° C.

L'amplitude moyenne annuelle varie de 15,4° C à Ndjamena à 13° C à Ngaoundéré. Elle est plus forte avec la latitude et l'influence continentale. L'amplitude des températures moyennes des mois extrêmes varie de 9,1° C à Ndjamena, à 7° C à Maroua, à 6,1° C à Goura, 6,2° C à Moundou, 7,1° C à Poli, mais seulement 2,9° C à Ngaoundéré.

2.2.3. L'humidité de l'air

On verra successivement les variations du degré hygrométrique de l'air ou humidité relative et de la tension de vapeur d'eau.

2.2.3.1. Humidité relative

Le tableau 9.4 donne les valeurs moyennes mensuelles des maximums et minimums journaliers del'humidité relative.

Les variations mensuelles de l'humidité relative ont été portées sur la figure 9.5.

Pour les stations de Ndjamena et Maroua Salak, les courbes de maximums présentent un pic assez bien individualisé en août-septembre (90 % en août à Ndjamena et 95 % en septembre à Maroua Salak), alors que, dans le sud plus humide, les stations de Ngaoundéré et Garoua présentent une plage de maximums qui s'étend de mai à octobre pour la première (entre 95 et 98 %) et de juillet à octobre pour la seconde (entre 90 et 95 %). Les courbes de minimums présentent un minimum en février (10 % pour Ndjamena, 12 % pour Maroua Salak, 14 % pour Garoua, 17 % pour Moundou) ou en janvier (18 % à Ngaoundéré).

L'observation des maximums d'humidité relative en août est à rattacher au minimum des températures et à l'abondance des précipitations en cette période de l'année.

Des relations de bonne qualité apparaissent entre les valeurs moyennes des humidités relatives maximale et minimale et la latitude des stations. On obtient en particulier pour l'humidité relative minimale une relation qui s'écrit :

$$U_{MIN} = -3{,}6\ y + 73{,}4 \quad (y \text{ latitude de la station})$$

avec un coefficient de corrélation $r = 0{,}978$.
On notera que cette relation peut être appliquée avec une bonne fiabilité jusqu'aux régions subdésertiques et d'une manière plus approximative pour les basses latitudes de l'intérieur.

L'amplitude annuelle des variations mensuelles du minimum d'humidité relative reste élevée quelle que soit la latitude. Elle est de 59 % à Ndjamena, de 56 % à Maroua Salak, de 55 % à Garoua et de 50 % à Ngaoundéré. On voit que cette amplitude diminue de façon régulière du nord au sud.

2.2.3.2. Tension de vapeur

Elle est calculée en millibars d'après la moyenne des températures et des humidités relatives. Les variations de la tension de vapeur mensuelle sont présentées dans le tableau 9.5. La figure 9.6 indique les variations observées qui suivent d'assez près les variations des valeurs d'humidité relative.

Ndjamena présente un maximum en août-septembre et un minimum en février. Maroua Salak passe par un maximum en juin mais les valeurs d'août et septembre en sont très proches. Le minimum est observé en février.

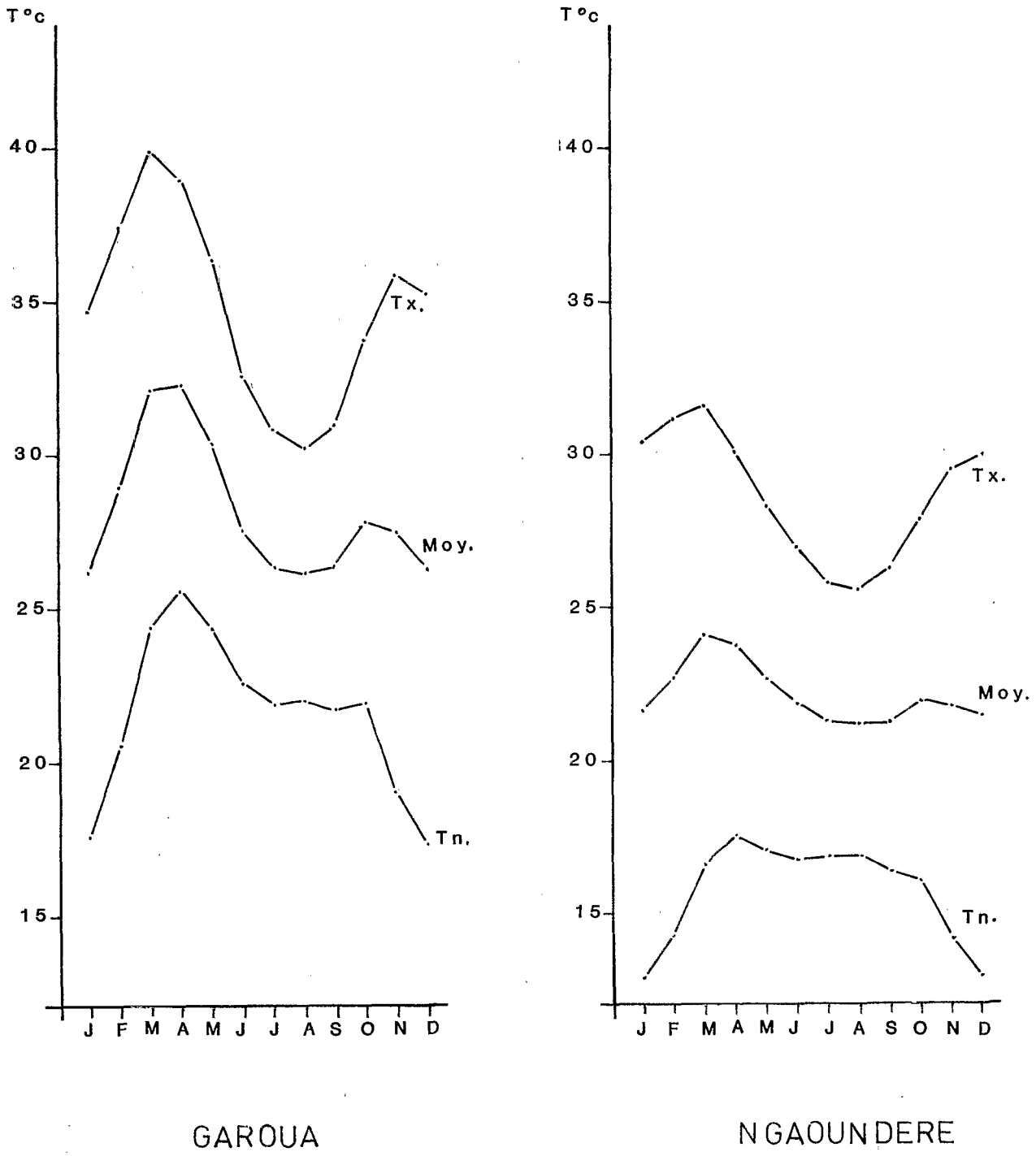


Fig. 9.3. – Variation des températures moyennes mensuelles.

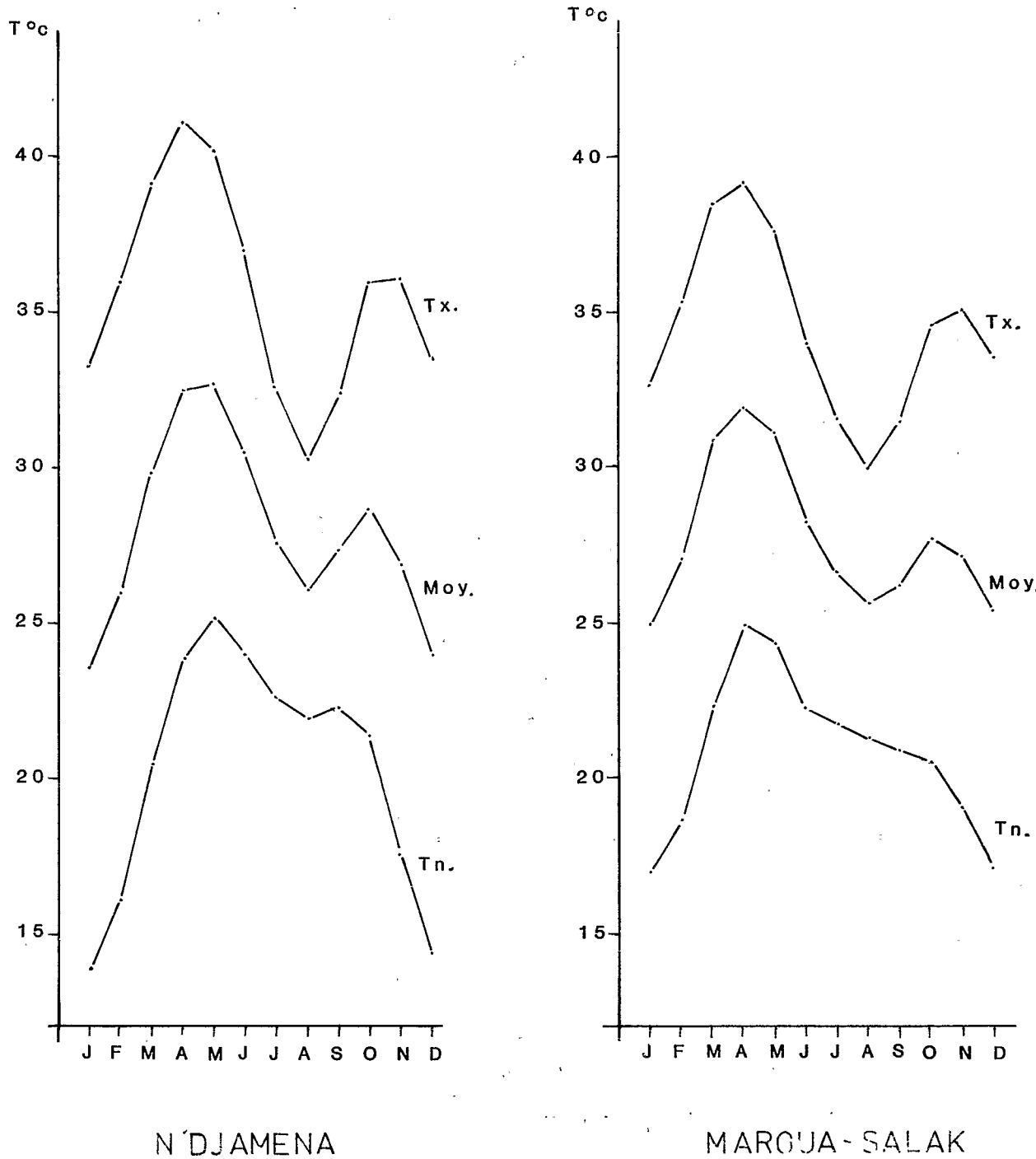


Fig. 9.4. – Variation des températures moyennes mensuelles.

Tableau 9.4. – Moyennes mensuelles des valeurs d'humidité relative en %.

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ndjamena (14 ans)	Max	48	39	36	41	51	72	78	90	88	78	50	50	60
	Min	14	10	11	16	26	36	57	69	59	35	16	14	30
Maroua-Salak	Max	34	27	23	47	67	91	90	94	95	82	50	40	62
	Min	15	12	12	18	33	51	60	68	62	38	22	18	34
Garoua	Max	43	37	39	66	78	89	93	95	94	90	74	56	71
	Min	18	14	17	34	48	66	68	69	68	54	29	21	42
Moundou (17 ans)	Max	65	53	55	73	82	89	94	95	94	92	85	74	79
	Min	20	17	22	37	49	60	69	72	69	57	32	22	44
Ngaoundéré (17 ans)	Max	55	55	72	90	95	96	98	98	98	97	84	66	84
	Min	18	19	29	51	62	65	67	69	66	56	33	22	46
Poli	Max	64	52	50	66	82	89	90	89	94	90	82	74	77
	Min	13	15	19	32	52	65	68	68	69	55	27	19	42

Tableau 9.5. – Variations de la tension de vapeur mensuelle (en mb.).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ndjamena	8.2	7.3	8.7	12.6	18.3	22.5	24.7	26.5	26.6	21.8	12.0	9.2	16.8
Maroua Salak	7.7	7.0	7.8	15.4	22.5	27.2	26.1	26.6	26.7	22.3	12.9	9.4	17.6
Garoua	10.4	10.2	13.5	24.2	27.3	28.6	27.7	27.9	27.9	27.1	18.9	13.2	21.4
Moundou	10.5	11.1	15.1	22.1	24.7	25.5	26.0	26.0	25.8	25.4	19.0	13.3	20.4
Ngaoundéré	8.5	8.8	14.0	19.7	20.9	20.6	20.5	20.6	20.2	19.7	14.7	10.2	16.5

Tableau 9.6. – Valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation piche (en mm).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ndjamena	345	389	506	451	362	265	149	74	96	206	335	341	3519
Maroua Salak	466	541	628	510	394	213	136	89	92	230	383	436	4118
Garoua	350	371	464	352	235	141	109	90	80	139	244	307	2882
Moundou (11 ans)	324	376	364	260	199	136	87	68	64	90	176	238	2382
Ngaoundéré (23 ans)	307	304	268	131	87	63	58	59	59	93	191	279	1900

A Garoua, on a une plage de maximum de mai à octobre avec un pic en juin. Mais toutes ces valeurs restent très proches puisque comprises entre 27,1 et 28,6. Le minimum est, là aussi, en février.

Ngaoundéré présente une plage de maximum entre mai et septembre (valeurs comprises entre 20,2 et 20,8). Le minimum est observé en janvier. Du nord au sud, on passe donc d'une courbe avec un maximum à une courbe plus arrondie montrant une vaste période avec des valeurs élevées de la tension de vapeur. Cette période correspond, en gros, à la saison des pluies.

Soulignons que les valeurs moyennes annuelles augmentent lorsque la latitude diminue à altitudes égales et que les plus faibles valeurs de Ngaoundéré ne sont significatives que des plus faibles températures relevées à cette station d'altitude.

2.2.4. L'évaporation et l'évapotranspiration

Les mesures d'**Évaporation Piche** sont bien entendu liées à l'humidité. Le tableau 9.6 indique les valeurs moyennes mensuelles exprimées en mm pour les cinq stations déjà citées.

Les courbes de Ndjamena, Maroua, Garoua et Ngaoundéré présentent un maximum unique en mars pour les stations les plus septentrionales, en février pour Ngaoundéré (et Moundou). Le minimum est en août pour Ndjamena et Maroua, en septembre pour les autres stations.

Les variations extrêmes dépendent des périodes les plus contrastées tant en saison sèche qu'en saison des pluies.

Il paraît difficile de comparer les résultats d'une station à l'autre.

Les mesures d'**évaporation sur bac** ne sont pas très nombreuses. On donne ci-après les résultats moyens disponibles pour la station de Ndjamena avec un bac Colorado et un bac de Classe A pour les stations de Maroua-Salak, Bogo, Godola, Mokolo, Sanguere, Ndok (Risso) et Touboro sur bac Colorado type Orstom et pour Sarki (RCA) et Ngaoundéré sur bac Classe A.

On relèvera que le rapport $E_{CLASSE\ A}/E_{COLORADO}$ vaut 1,13 à Ndjamena, valeur qu'on retrouve à Bangui et Brazzaville (RIOU, 1972, 1975). Par ailleurs, on peut estimer l'évapotranspiration potentielle en appliquant aux mesures sur bac Classe A un coefficient de l'ordre de 0,7 et sur bac Colorado un coefficient de l'ordre de 0,8.

L'**évapotranspiration potentielle** a été calculée mois par mois suivant la formule de TURC [1].

Des cartes générales ont été données en début d'ouvrage.

L'évapotranspiration potentielle annuelle serait de :
- 2 200 mm à Ndjamen
- 2 000 mm à Maroua Salak
- 1 920 mm à Garoua
- 1 510 mm à Ngaoundéré.

A Mokolo, on a la distribution suivante :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
Emm	180	200	215	195	160	135	125	115	130	155	180	185	1975

(1) Rappelons que cette formule s'écrit pour des valeurs mensuelles :

$$ETP = (Ig + 50)\ 0{,}40\ \frac{t}{t + 15}$$

Ig = valeur mensuelle de la radiation solaire globale qui vaut Ig = Ig A(0,18 + 0,62 h/H) avec Ig A = énergie de la radiation solaire qui serait reçue en absence d'atmosphère, fonction de la latitude du lieu, en cal/cm²/jour, et h/H = rapport de la durée de l'insolation réelle (héliographe) sur la durée astronomique du jour donné par des tables.

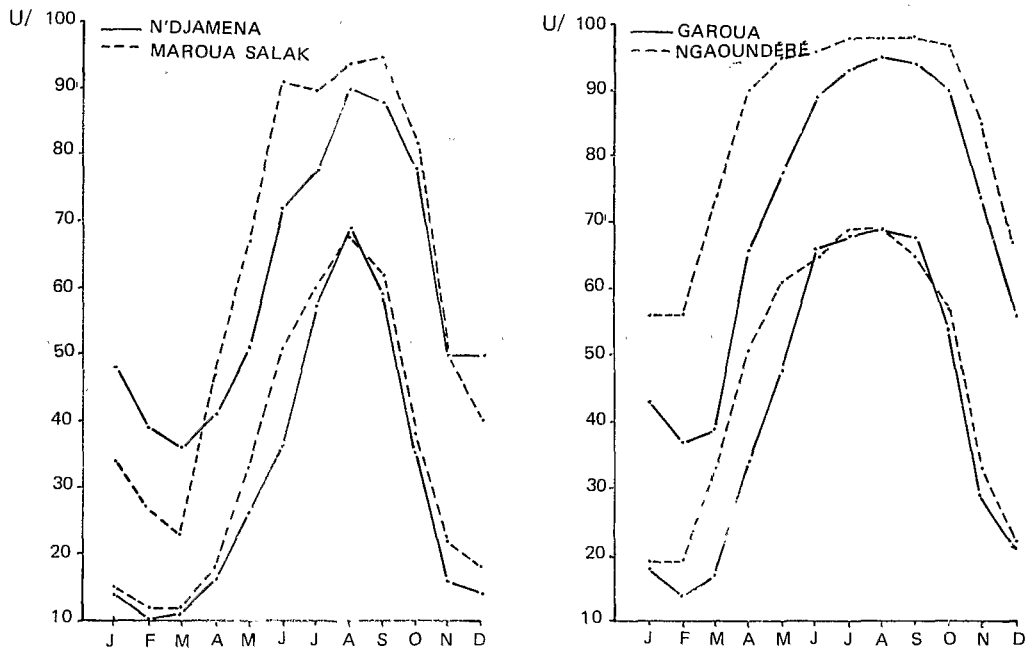


Fig. 9.5. – Variations mensuelles de l'humidité relative.

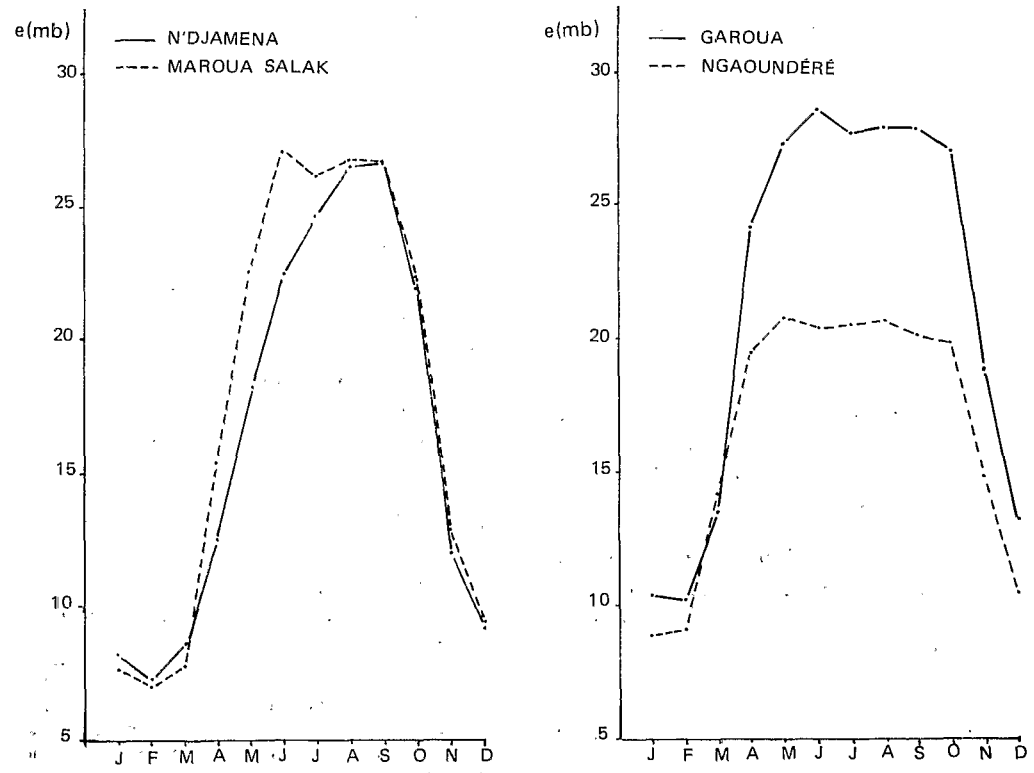


Fig. 9.6. – Variations mensuelles de la tension de vapeur.

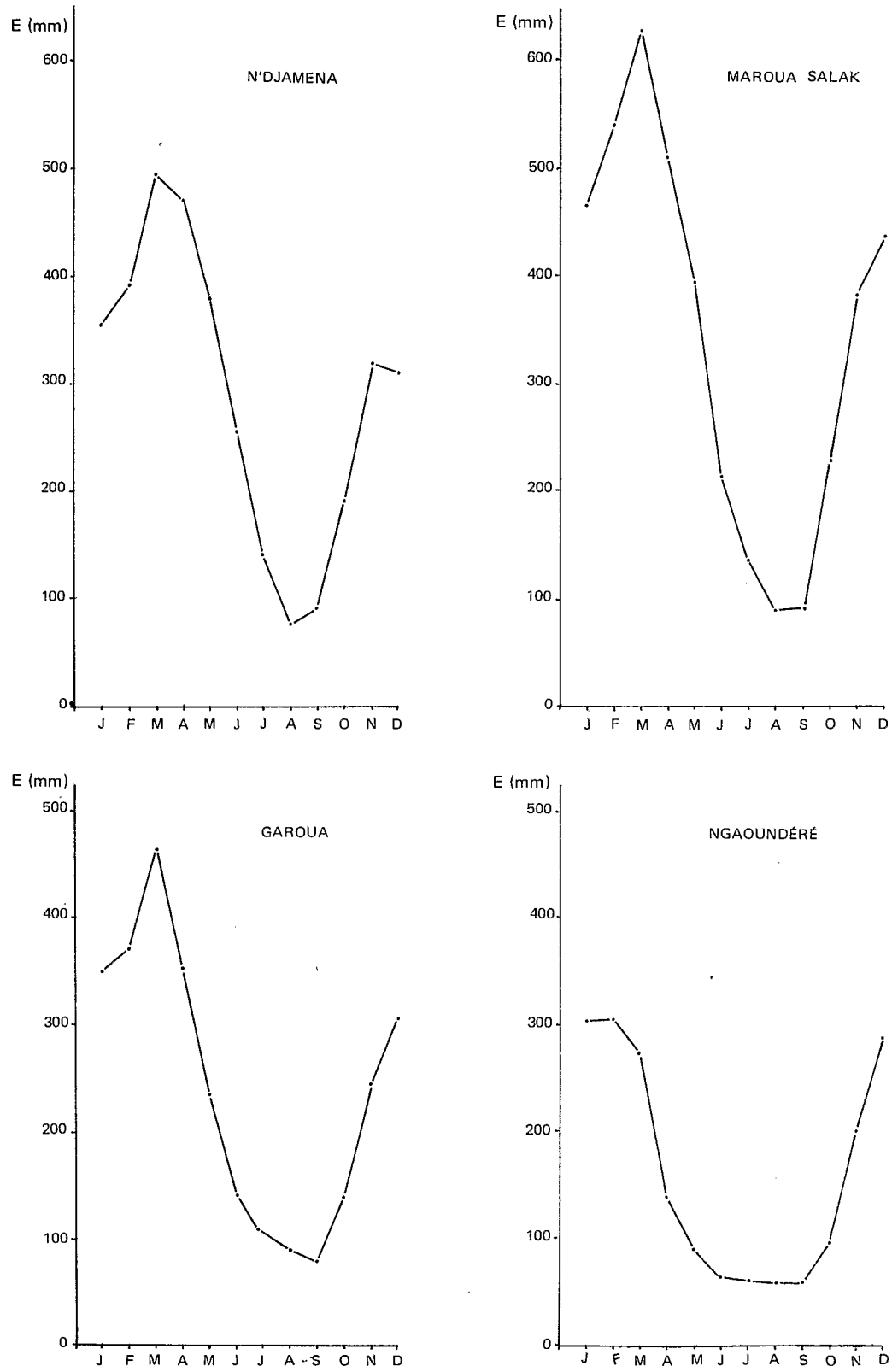


Fig. 9.7. – Évaporation Piche mensuelle.

Tableau 9.7. – Mesures d'évaporation sur bac (en mm).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ndjamena													
COLORADO	195	216	277	267	272	210	177	134	156	205	208	187	2504
CLASSE "A"	219	249	324	306	315	240	199	159	175	226	221	201	2832
Maroua Salak (54-56)													
COLORADO	233	252	316	351	285	195	161	124	132	186	249	254	2738
Bogo (53-56)													
COLORADO	257	244	316	318	304	204	133	121	144	189	237	273	2740
Godola (54-56)													
COLORADO	248	252	310	*480*	295	180	146	115	135	195	222	236	2813
Mokolo (54-57)													
COLORADO	313	316	344	345	245	156	126	112	144	198	249	248	2797
Sanguere[1] (72-75)	289	350	493	444	270	207	160	148	152	186	226	249	3174
Sarki (68-69)													
CLASSE "A"	206	232	195	187	188	152	95	109	135	176	189	213	2077
R.C.A.													
Risso (67-70)													
COLORADO	169	210	234	204	145	108	92	81	75	95	134	150	1697
Touboro (63-64)													
COLORADO	175	197	265	201	172	128	113	105	109	111	148	157	1881
Ngaoundéré (68-73)													
CLASSE "A"	208	224	223	172	150	137	116	119	117	143	168	203	1980

(1) Sanguéré est sur une butte ventilée. Valeurs non représentatives.

Tableau 9.8.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Ndjamena	301	282	269	269	278	246	203	180	218	284	299	310	3139
Maroua Salak	286	277	264	252	241	208	180	162	191	254	284	297	2896
Garoua	282	269	272	245	257	225	198	176	197	262	290	300	2974
Ngaoundéré	288	269	242	180	200	154	124	123	130	179	264	294	2447

2.2.5. Insolation

Elle est toujours très forte et les variations observées du sud au nord sont directement liées à l'importance plus ou moins grande de la saison des pluies. Elle est plus de deux fois plus importante dans le Nord-Cameroun qu'à Douala... c'est dire l'importance d'un tel facteur sur le bilan hydrologique.

Le tableau 9.8 donne les insolations moyennes mensuelles relevées dans les quatre stations principales et le total annuel en heures. Août est le mois le moins ensoleillé ; sauf à Ngaoundéré, le mois d'août reste cependant plus ensoleillé que le mois le plus beau de Douala.

Certains phénomènes comme la « brume sèche » peuvent altérer le bilan insolation pendant la période d'Harmattan. L'ensemble du Nord-Cameroun est alors généralement atteint, l'accumulation de poussières venant butter sur la falaise de l'Adamaoua.

2.3. Étude des précipitations

2.3.1. Précipitations annuelles

Les moyennes annuelles calculées sur les périodes d'observations ont été indiquées dans le tableau 9.9. Les résultats n'ayant pas été homogénéisés, ces valeurs sont données à titre purement indicatif. Ainsi, par exemple, la différence entre Kousseri et Ndjamena, situés à 3 km de distance de part et d'autre du Chari, atteint près de 100 mm ; la différence s'explique par des périodes d'observations différentes dont les périodes plus sèches à Kousseri.

D'une manière générale, on observe une diminution de la pluie moyenne du sud au nord. Si l'on ne tient pas compte de l'Adamaoua où les sources des rivières du Nord-Cameroun reçoivent plus de 1 600 mm de précipitations interannuelles, la hauteur de précipitations varie quand même en année moyenne de 1 400 à 400 mm. Le nombre moyen annuel de jours de pluies passe de 120 à 30. la diversité est grande et en fait le caractère sec qui définit le Nord-Cameroun tient davantage à la longueur de la saison sèche variable en longueur du sud au nord mais toujours sèvère.

Le schéma zonal d'une répartition de la hauteur de précipitations annuelles en fonction de la latitude est affecté par l'orographie. L'examen d'une carte des isohyètes interannuelles montre que les reliefs sont plus arrosés ; c'est en particulier le cas du massif de Poli et aussi des Monts Mandara entre Bourrah et Mokolo. Certaines zones sont déficitaires telles la vallée de Mayo Kébi (en particulier au Tchad) et la partie camerounaise sud-ouest de la cuvette tchadienne qui constitue une zone d'abri des monts Mandara. On pense que cette zone montagneuse gène le déplacement de l'air humide et est responsable d'un décrochement des isohyètes entre l'Ouest-Africain et le bassin tchadien.

L'étude de la **répartition statistique des pluies annuelles** dans la région du Nord-Cameroun a été faite sur 16 stations. Parmi celles-ci, 10 ont été observées plus de 30 ans, 4 entre 20 et 30 ans et 2 plus de 15 ans.

On a ajusté une loi de distribution normale (loi de Laplace-Gauss) pour chaque échantillon, après avoir calculé pour chacun d'eux moyenne et écart-type.

Ces résultats sont indiqués dans le tableau 9.10. Le classement des hauteurs annuelles de précipitations se retrouve dans les 3 premières colonnes de résultats où nous avons indiqué les valeurs extrêmes et la médiane observées.

On trouvera ensuite la valeur de l'écart-type. Puis de part et d'autre de la valeur moyenne de la pluviométrie annuelle, la prédétermination des hauteurs de pluie, décennale (10 ans) et vicennale (20 ans) pour les années humides et les années sèches. Après la moyenne, on a indiqué la valeur de l'intervalle de confiance à 95 % pour la moyenne

Tableau 9.9. – Pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations du Nord-Cameroun.

Poste	Nb. an.	P mm	Poste	Nb. an.	P mm
Ndjamena (Tchad)	36	634	Guider	36	929
Kousseri	36	541	Garoua Météo	20	1060
Mora	30	742	Garoua Ville	45	1034
Guetale	23	838	Yola (Nigéria)	35	991
Pouss	9	777	Lere (Tchad)	20	831
Godola	8	882	Pala (Tchad)	21	1065
Mokolo	21	974	Rey Bouba	11	1177
Maroua Agri	40	805	Tchollire	16	1391
Maroua Salak	18	877	Safaïe-Djelepo	8	1175
Yagoua	36	822	Moundou (Tchad)	34	1207
Bongor (Tchad)	20	882	Baïbokoum (Tchad)	28	1537
Doukoula	15	892	Touboro	14	1350
Kaele	29	831	Poli	36	1448
Bourrah	12	1085	Ngaoundéré	44	1577

Taleau 9.10. – Répartition statistique des pluies annuelles.

Stations	Nb. an.	P max	P méd.	P min.	ET	Années humides		Année moy.	IC ±95 %	Années sèches		C_V
						T=20 ans	T=10 ans			T=10 ans	T=20 ans	
Ndjamena	36	990	625	355	154	887	831	634	52	437	381	0.243
Kousseri	30	959	550	271	134	770	720	540	50	365	315	0.248
Guetale	23	*1148*	878	*453*	139	*1073*	1020	838	60	660	*610*	0.166
Mokolo	21	1426	968	703	169	*1255*	*1192*	974	77	*755*	*690*	0.174
Mora	30	1224	705	390	200	1075	1000	742	75	485	410	0.269
Maroua Agri	40	*1120*	*778*	*600*	142	*1055*	*1003*	805	45	*613*	*555*	0.176
Maroua Salak	18	1119	850	617	123	*1085*	1040	877	61	719	*678*	0.140
Yagoua	36	1214	774	481	177	*1115*	*1050*	822	60	*595*	*525*	0.215
Kaele	29	1163	850	380	192	1145	1070	831	73	560	510	0.230
Guider	36	1157	923	683	133	*1150*	*1100*	929	45	*755*	*707*	0.143
Garoua	45	1426	1029	538	177	1330	1264	1034	53	806	740	0.171
Poli	36	1882	1466	1037	289	*1920*	*1817*	1448	98	*1075*	*970*	0.200
Tchollire	16	1758	1419	922	216	1750	1670	1391	115	1115	1035	0.155
Moundou	32	1845	1195	869	235	1602	1516	1216	85	916	830	0.193
Baïbokoum	28				176	1601	1537	1312	68	1086	1022	0.134
Ngaoundéré Aér.	44	2229	1579	1217	208	1920	1844	1577	63	1309	1233	0.132

interannuelle. Une dernière colonne indique le coefficient de variation C_V dont l'examen montre une croissance avec la latitude particulièrement nette. La régression montre, en dehors d'influences orographiques, un coefficient de corrélation de 0,764 qui suppose toutefois une relation assez lâche. On aurait pour différentes latitudes :

$8° — C_V = 0{,}141$, $9° — C_V = 0{,}165$; $10° — C_V = 0{,}188$; $11° — C_V = 0{,}211$; $12° — C_V = 0{,}235$; $13° — C_V = 0{,}258$.

Ceci correspond bien à ce que l'on connaît de l'irrégularité interannuelle, qui augmente avec l'aridité, et, en particulier, du climat tropical au climat sahélien.

La figure 9.9. reproduit les droites de Henry correspondant aux distributions normales des échantillons des stations étudiées.

2.3.2. Précipitations mensuelles

L'étude statistique a été résumée dans les tableaux suivants, mois par mois. Pour chaque station sont indiqués la valeur moyenne, les quartiles supérieur et inférieur, et l'écart-type. On trouvera également pour chaque station et pour chaque mois la valeur du coefficient de variations C_V.

Une étude plus poussée avec ajustement de diverses lois de distributions ne se justifiait pas ici, compte tenu des lois complexes prévisibles et des échantillons souvent réduits. En effet, la distribution normale ne s'applique aux échantillons mensuels que dans de très rares cas.

L'étude des coefficients de variation montre de plus fortes valeurs pour les mois de saison sèche. Mais si l'irrégularité des précipitations reçues pendant les mois de saison sèche est importante en valeur relative, en raison de faibles valeurs moyennes mensuelles, cette irrégularité reste faible en valeur absolue au regard des variations interannuelles des précipitations mensuelles de saison des pluies.

De Ndjamena à Guider, le coefficient de variation passe par un minimum en août. A Garoua, le minimum est déplacé en septembre. Pour Poli, Tchollire et Ngaoundéré, le coefficient de variation présente deux minimum, le premier en juin, le second en août ou septembre. Juillet apparaîtrait alors comme un mois de plus grand aléa pluviométrique.

2.3.3. Précipitations journalières

L'étude statistique des averses tombées en 24 h suivant une loi de Pearson III aboutit à la prédétermination d'averses maximales de différentes récurrences dont le tableau 9.1, ci-après, donne les valeurs.

Tableau 9.1.

Station	Averses journalières (en mm) de période de retour						
	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50	100 ans
Ndjamena	58.6	70.5	86.6	98.9	111.2	127	139
Mokolo	60	70	84	93	103	116	126
Maroua	65	76	91	105	117	130	146
Garoua	69	83	103	117	131	150	166
Baïbokoum	87	99	116	128	140	156	168
Ngaoundéré	61.9	71.4	83.9	93.5	103	116	125

A l'exception de Mokolo et Ngaoundéré, dont les plus faibles valeurs tiennent à l'altitude élevée des stations, les averses d'une même récurrence augmentent lorsque la latitude diminue.

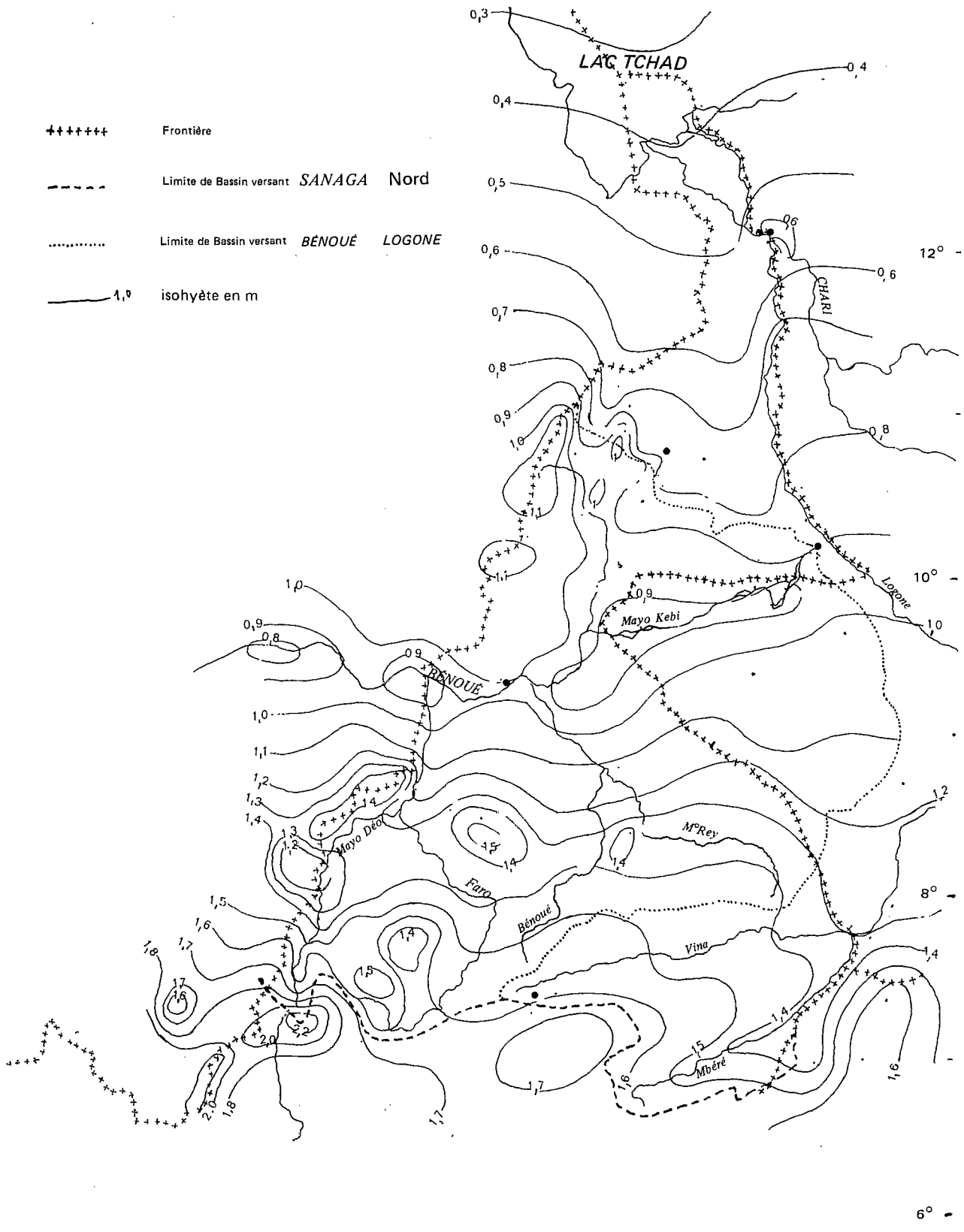


Fig. 9.8. – Esquisse des Isohyètes interannuelles du Nord Cameroun (d'après J.-B. Suchel).

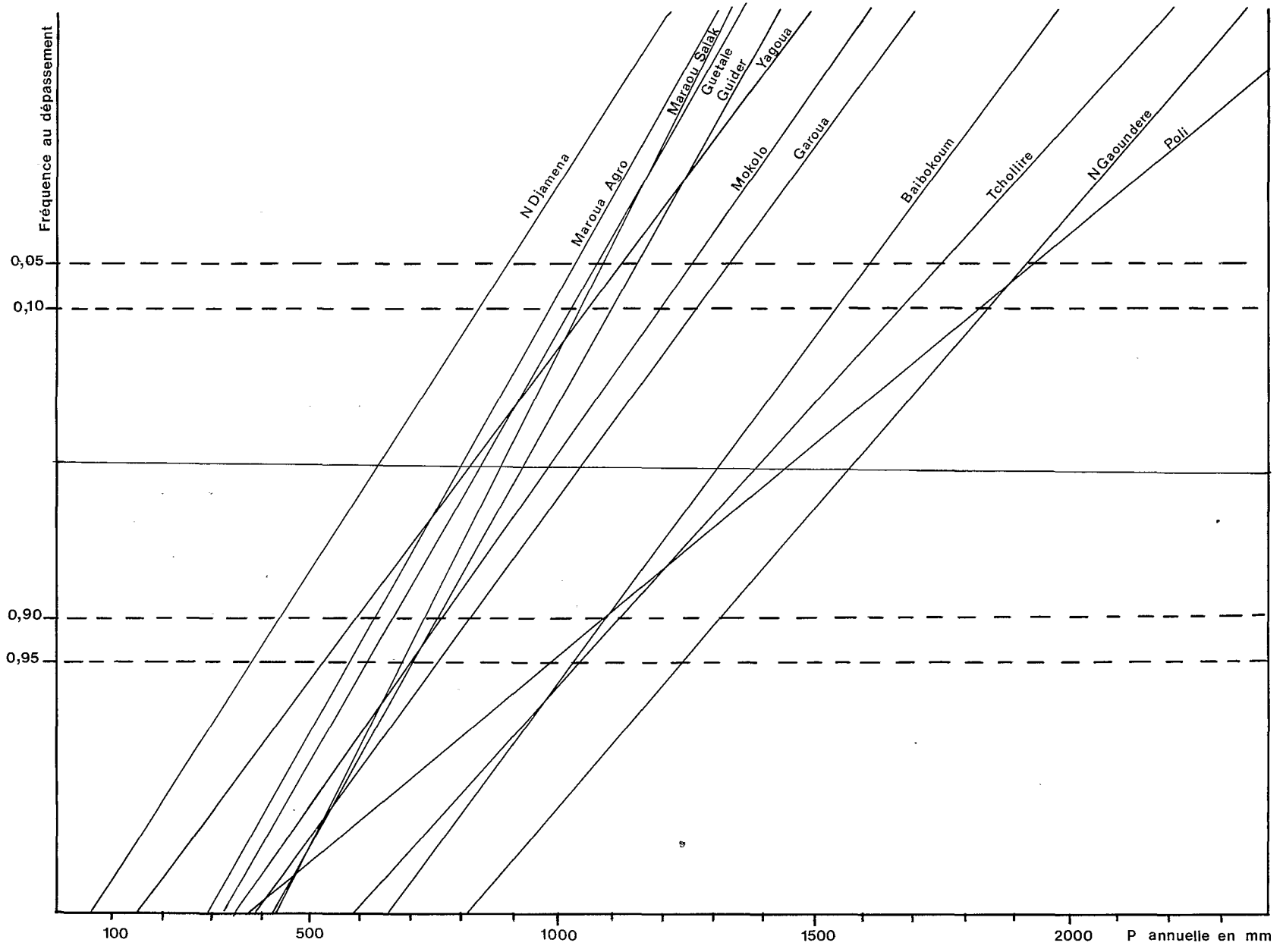


Fig. 9.9. – Distribution normale de précipitations annuelles des stations du Nord-Cameroun.

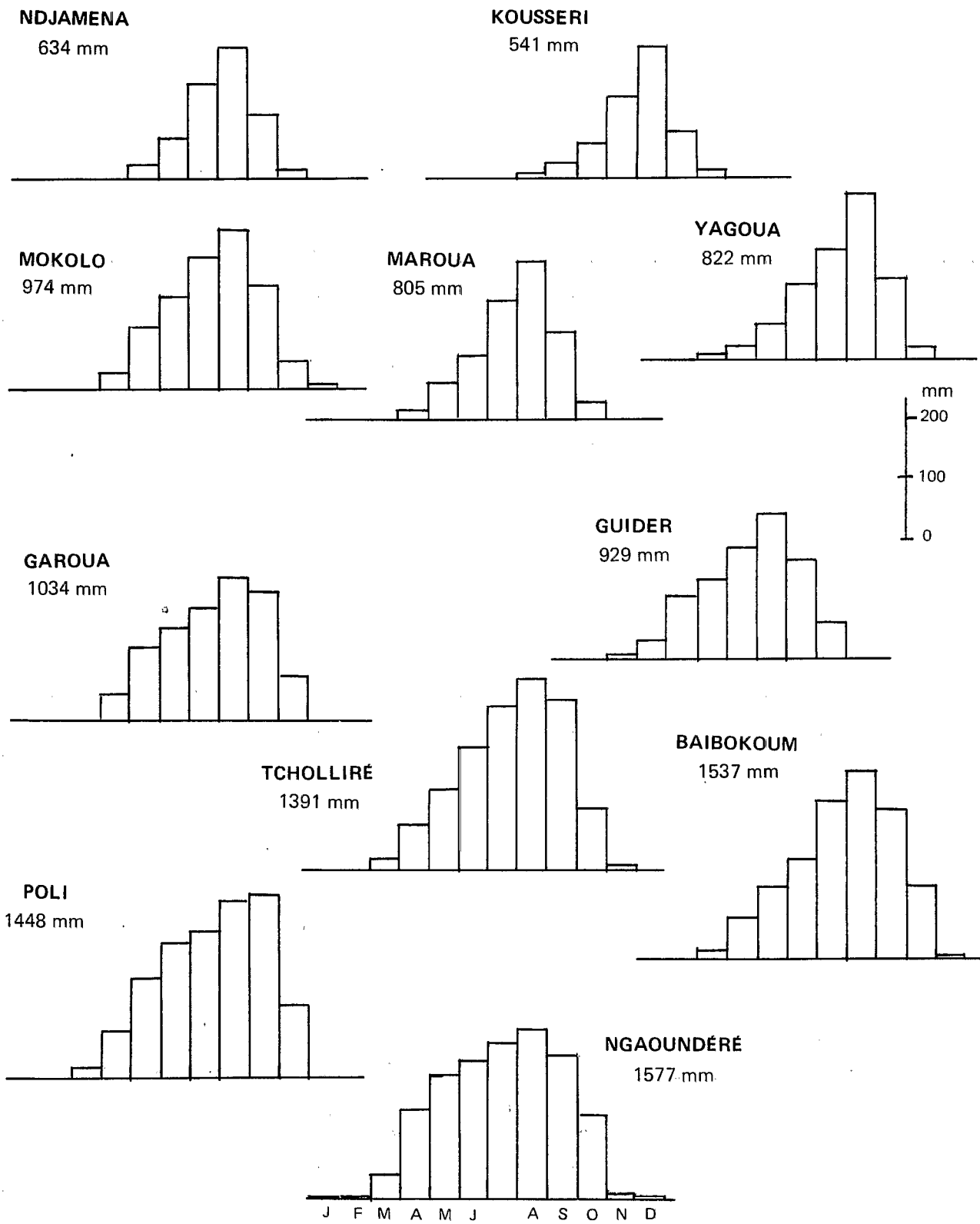


Fig. 9.10. — Histogrammes des précipitations mensuelles au Nord Cameroun.

Tableau 9.12. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ndjamena	Moy	0	0	0	2	27	66	153	218	106	12	0	0
	Q1	0	0	0	10	47	89	189	300	136	31	0	0
	Q3	0	0	0	0	8	44	111	189	67	5	0	0
	ET	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	C_V	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Guetale	Moy	0	0	0.5	16.9	83.7	127.2	182.4	229.8	153.8	32.5	0.3	0
	Q1	0	0	0.3	27.4	98.8	152.1	200.0	271.2	178.5	48.2	0	0
	Q3	0	0	0	1.9	67.1	97.5	152.6	173.4	101.9	7.6	0	0
	ET	0	0	1.3	15.3	42.1	40.9	55.1	71.3	68.4	28.9	0.8	0
	C_V	–	–	2.6	0.90	0.50	0.32	0.30	0.31	0.44	0.89	2.67	–
Mokolo	Moy	0	1.7	4.8	28.7	102.6	151.3	220.6	267.7	172.8	43.5	3.1	0
	Q1	0	0	4.1	37	139.0	168.1	259.9	355.7	191.7	64.9	0	0
	Q3	0	0	0	7.5	60.4	121.7	187.8	210.6	131.9	11.6	0	0
	ET	0	41.1	10.0	27.1	52.5	55.6	53.5	96.2	75.6	36.3	8.92	0
	C_V		24.2	2.08	0.94	0.51	0.37	0.24	0.36	0.44	0.83	2.87	–
Maroua Agri	Moy	0	0	1	15	59	105	193	260	145	27	0	0
	Q1	0	0	0	20	67	133	234	295	189	35	0	0
	Q3	0	0	0	2	29	82	148	233	79	9	0	0
	ET	0	0	3	23	41	48	58	68	66	30	0	0
	C_V	–	–	3	1.53	0.69	0.46	0.30	0.26	0.46	1.11	–	–
Maroua Salak	Moy	0	0	3.7	20.6	62.9	134.3	215.9	241.3	156.9	30.1	0.35	0
	Q1	0	0	0.7	34.7	74.8	171.9	242.1	265.3	185.4	40.4	0	0
	Q3	0	0	0	5.7	32.5	85.3	159.4	192.8	127.5	5.3	0	0
	ET	0	0	7.4	15.8	34.0	59.6	70.7	69.4	52.4	28.9	1.4	0
	C_V	–	–	2.00	0.77	0.54	0.44	0.33	0.29	0.33	0.96	4	–
Yagoua	Moy	0	0.4	4.9	22	57.6	123.2	182.3	273.9	133.7	19.1	1.9	0
	Q1	0	0	8.0	28.2	76.2	161.3	219.8	334	179.3	28.2	0	0
	Q3	0	0	0	6.4	32.2	87.0	124.9	199.3	93.0	3.6	0	0
	ET	0	2	9.5	20.3	35.5	50.0	71.3	104.6	68.1	18.8	7.5	0
	C_V	–	5	1.94	0.92	0.62	0.41	0.39	0.38	0.51	0.98	3.95	–

Tableau 9.13. – Répartition statistique des pluies mensuelles.

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Guider	Moy	0	0.5	4.4	30.3	103.2	134.9	186.9	242.1	168.0	61.0	3.3	0
	Q1	0	0	1.6	45.8	145.4	159.8	232.5	292.0	216.1	92.4	0	0
	Q3	0	0	0	10.8	48.5	99.3	149.0	171.9	113.4	29.6	0	0
	ET	0	2.6	11.0	24.7	67.5	47.3	63.3	78.0	65.0	40.3	8.3	0
	C_V	–	5.20	2.50	0.82	0.65	0.35	0.34	0.32	0.39	0.66	2.52	–
Garoua	Moy	0	0.4	4	42	122	152	184	239	215	73	1	1
	Q1	0	0	2	62	162	190	237	282	263	92	0	0
	Q3	0	0	0	15	77	112	127	181	160	40	0	0
	ET	0	2	8	35	55	53	72	92	65	47	5	6
	C_V	–	5.0	2.0	0.83	0.45	0.35	0.39	0.38	0.30	0.64	5.0	6.0
Poli	Moy	0	2.7	19.9	77.8	171.8	229.2	248.6	298.3	308.0	124.6	6.3	1.9
	Q1	0	0	24.6	111.7	216.4	256.0	288.4	374.1	350.0	156.0	2.5	0
	Q3	0	0	0	39.5	121.9	196.0	217.6	205.6	247.9	93.7	0	0
	ET	0	8.2	33.0	46.6	61.4	44.4	71.6	124.9	65.2	59.2	13.0	8.9
	C_V	–	3.04	1.66	0.60	0.36	0.19	0.29	0.42	0.21	0.47	2.06	4.68
Tchollire	Moy	0	0.6	20.3	75.6	132.5	202.2	272.2	321.6	286.2	100.1	6.4	0.3
	Q1	0	0	29.4	108.9	173.8	253.6	315.4	399.7	360.1	132.3	0	0
	Q3	0	0	0	35.8	95.0	167.1	210.0	273.2	242.9	83.5	0	0
	ET	0	2.8	32.7	48.9	70.7	54.1	93.9	81.6	72.9	37.7	18	1.2
	C_V	–	4.67	1.61	0.65	0.53	0.27	0.34	0.25	0.25	0.38	2.81	4.0
Baïbokoum	Moy	0	2.1	14.3	67.9	119	169	267	315	251	123	4.1	0
	Q1												
	Q3												
	ET												
	C_V												
Ngaoundéré (Aéro)	Moy	4.2	1.7	40.9	149.2	203.9	230.8	263.1	283.3	238.7	142.2	10.0	2.8
	Q1	0	0	66.7	209.0	246.0	266.4	333.2	338.7	290.2	168.4	12.9	0
	Q3	0	0	10.4	91.9	152.6	194.1	182.8	218.3	173.1	89.5	0	0
	ET	11.1	4.9	36.6	64.1	67.1	58.7	99.3	75.1	75.6	56.6	16.7	9.0
	C_V	2.64	2.88	0.89	0.43	0.33	0.25	0.38	0.27	0.32	0.40	1.67	3.21

CHAPITRE X

Le bassin de la Bénoué

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. La place de la Bénoué dans le bassin du Niger

La Bénoué est le principal tributaire du fleuve Niger et constitue le collecteur majeur du Niger inférieur sur le plan des apports. En effet, en amont du confluent du Niger et de la Bénoué, le Niger apporte grosso modo un débit moyen interannuel de 2 800 m³/s contre 3 400 m³/s pour la Bénoué, un module de 7 000 m³/s étant observé plus en aval à Onitsha (Rodier, 1964). De fait, la Bénoué constituait le fleuve principal avant la capture du Niger Supérieur au seuil de Tossaye, en aval de Tombouctou, surtout si l'on considère qu'à l'époque la Bénoué recevait aussi les déversements de la mer paléotchadienne et les apports du Logone et du Chari.

Aujourd'hui, la Bénoué reste la première par les apports mais son bassin ne représente que le quart du bassin du Niger (340 000 km²). Il est vrai que sur les 1 500 000 km² du bassin versant théorique du Niger, plus de 300 000 km² appartiennent au désert ; il est vrai aussi qu'avec 4 200 km de longueur, une large boucle au confins sahariens du Mali et un vaste delta intérieur dont une zone lacustre importante, l'évaporation épuise les apports du Niger supérieur issus des reliefs guinéens (apports réduits de moitié dans la cuvette lacustre avec pertes moyennes de 1 100 m³/s).

Cependant, l'importance relative des apports de la Bénoué ne doit pas faire illusion sur les caractéristiques hydrologiques de l'ensemble du bassin. Ainsi, les affluents de rive gauche de la Bénoué inférieure, Taraba, Donga et Katséna Ala drainant moins d'un cinquième du bassin versant de la Bénoué fournissent la moitié des apports, soit un débit interannuel d'environ 1 700 m³/s. Les hauts-bassins de la Katséna et de la Donga sont au Cameroun, et nous avons déjà évoqué les tributaires camerounais de la Bénoué et leurs abondants débits (chapitre VIII).

Par contre, les régions septentrionales du bassin de la Bénoué ont des ressources en eau nettement moins intéressantes ; la composante sahélienne se fait ressentir dans le climat du Nigéria au-dessus de 10° de latitude nord.

Une superficie de 75 000 km² intéresse au Nord-Cameroun le bassin de la Bénoué supérieure qui totalise 95 000 km² à la frontière du Nigeria (dont environ 18 000 km² au Tchad, 2 000 km² au Nigeria). Ce bassin supérieur, modeste par sa superficie en regard des 340 000 km² de la Bénoué au confluent (Lokodja), l'est aussi par ses apports spécifiques – comme on le verra plus loin – lesquels sont caractéristiques du régime tropical pur.

1.2. Description du bassin supérieur de la Bénoué

Le bassin supérieur de la Bénoué est compris entre les latitudes 6° 43′ et 10° 45′ Nord et les longitudes 11° 41′ et 15° 40′ Est ; il est inscrit dans une maille carrée de quatre degrés.

Il est limité au sud par le plateau de l'Adamaoua dont il draine une partie des reliefs nord ; à l'ouest, les limites coïncident avec celles du Nigeria (à l'exception de la rive gauche du Mayo Déo, entre Tungo et Kontcha et de quelques affluents mineurs du Mayo Tiel). Ces reliefs frontières sont les Mts Alantika au sud et les prolongements des Kapsikis et Mts Mandaras au nord. Une large fenêtre dans ces reliefs permet à la Bénoué de rentrer au Nigeria. Au nord, les Mts Mandara d'une part, le rebord de la cuvette tchadienne d'autre part constituent une limite du bassin de la Bénoué qui devient de plus en plus floue à l'est en suivant au Tchad, vers le sud-est puis

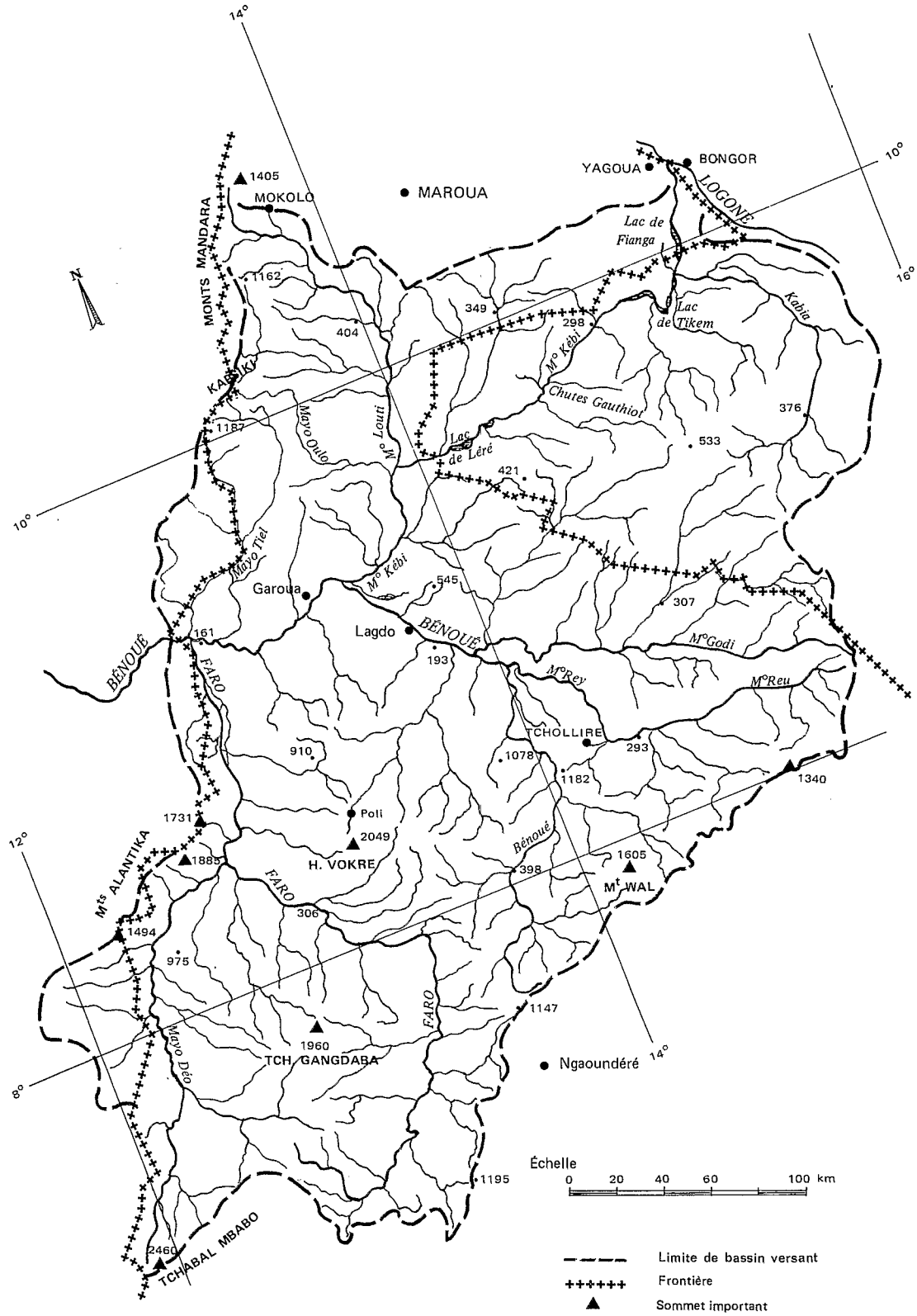


Fig. 10.1. – Bassin de la Bénoué.

le sud, la gouttière du Logone et de ses affluents. La limite Est du bassin de la Bénoué passe de nouveau au Cameroun et rejoint l'Adamaoua par toute une série de reliefs modestes séparant la Bénoué de la Vina-Nord.

Le bassin de la Bénoué montre des reliefs très variés depuis les reliefs vigoureux de l'Adamaoua, des Montagnes de Poli, des Mts Alantika ou encore des pitons volcaniques des Kapsikis jusqu'aux vastes étendues subhorizontales du haut Kébi en passant par la large vallée de la Bénoué et les vastes étendues vallonnées de l'est du bassin.

Le Tchabal Mbabo, au sud-ouest, est le point culminant du bassin (2 460 m) ; les autres reliefs importants culminent dans l'Adamaoua, à 1 960 m au Tchabal Gangdaba, et, à 1 606 m, au Mt Wal, dans les montagnes de Poli, à 2 049 m, à l'Hossere Vokre, dans les Mts Alantika, à 1 885 m, et dans les Mts Mandara, à 1 405 m. L'exutoire du bassin à la frontière du Nigeria n'est qu'à 168 m d'altitude.

Ces quelques éléments peuvent être complétés par la définition des principales régions constituant le bassin de la Bénoué :

a) Les Hautes-régions de l'Adamaoua concernent une petite partie de la haute-Bénoué mais surtout les hauts-bassins du Mayo Déo et du Faro ; ces régions limitées au nord par la « falaise » (retombée abrupte du plateau sur les régions plus basses) appartiennent aux zones d'élevage les plus riches du Cameroun (Tignere).

b) Entre l'Adamaoua et la plaine de la Bénoué, on a, d'ouest en est, une vaste zone de vallonnements dont l'altitude moyenne passe de 800 à 200 m. Cette région correspond, à l'ouest de la Bénoué, au pays des Namchis, à l'est, au pays Bouba Ndjida dont la capitale historique, Rey-Bouba, jouit encore à travers son lamido [1] d'une grande audience en milieu islamisé. Les densités de population y sont très faibles. Ces régions se poursuivent au Tchad par le plateau Laka. Au sein ou en bordure de cette zone, les montagnes de Poli et les Mts Alantika constituent des milieux particuliers où le type d'habitat n'est pas sans rappeler celui des Mts Mandara.

c) Les régions de vallonnements du nord de la Bénoué et du Mayo Kébi sont comprises entre 200 et 400 m et correspondent au traditionnel pays Fali avec les entablements gréseux caractéristiques du Tinguelin.

d) A l'est de cette zone, en république du Tchad, la vallée du Kébi, ses lacs en amont des Chutes Gauthiot (Fianga, Tikem) et le passage à la gouttière tchadienne en bordure de la vallée du Logone, constituent une région particulière marquée par l'absence presque totale de reliefs.

e) Le Massif des Mts Mandara au nord, avec les pointements volcaniques des Kapsikis, ses massifs granitiques dont l'érosion en boules et les empilements de blocs sont une constante du paysage, constitue une des zones naturelles du bassin de la Bénoué les plus originales. Ce massif, avec les montagnes de Peske Bori, descend au sud jusqu'à Guider. Densément peuplées, surtout dans l'extrême nord du bassin (Mokolo), ces montagnes ont constitué jadis le refuge des Kirdis [1], rebelles à l'islamisation. Ceux-ci ont adapté leur habitat et leurs cultures aux conditions difficiles de reliefs abrupts.

Cette définition régionale des différentes parties du bassin de la Bénoué doit être, bien entendu, complétée par les éléments du milieu géographique et du milieu climatique ; ceux-ci ont été développés dans le chapitre précédent. La zonalité latitudinale des précipitations et de la végétation en constitue l'aspect essentiel.

Il reste à décrire le réseau hydrographique dont la carte de la figure 10.1 retrace le chevelu principal.

1.3. Le réseau hydrographique du bassin de la Bénoué

A la frontière du Nigeria, le réseau hydrographique du bassin de la Bénoué est constitué essentiellement des réseaux de trois bassins secondaires de taille pratiquement équivalente :
- le bassin de la Haute Bénoué,
- le bassin du Mayo Kébi,
- le bassin du Faro.

Bénoué et Mayo Kébi confluent en amont de Garoua. Le Faro rejoint la Bénoué à la frontière nigeriane.

Entre ces deux confluents, la Bénoué n'a reçu que quatre affluents mineurs (Mayos Douka et Binossi en rive gauche, Mayos Goulongo et Adoua en rive droite) et le Mayo Tiel en rive droite qui reste un affluent secondaire issu de la région de Dourbey.

Ces trois unités hydrographiques ont des formes voisines. Le tracé en plan du réseau montre dans chaque cas un bief aval issu de deux ou trois branches majeures :

– Ainsi, la moyenne Bénoué est issue de la Haute Bénoué qui reçoit en rive droite le Mayo Rey puis le Mayo Godi dont le bassin versant débordant sur le Tchad est plus grand que celui de la Haute Bénoué.

– Le Mayo Kébi est issu de son cours amont, prenant le nom de Kabia aux confins de la vallée du Logone et d'un affluent plus modeste venu des Mts Mandara, le Mayo Louti.

– Le Faro est issu du confluent, en amont de Tchamba, du Faro supérieur et du Mayo Déo d'importance comparable.

(1) Lamido : seigneur temporel et spirituel équivalent de sultan.

(1) Sous ce vocable, on regroupe les principales ethnies de la région : Matakam, Mofou, Guiziga, Guider...

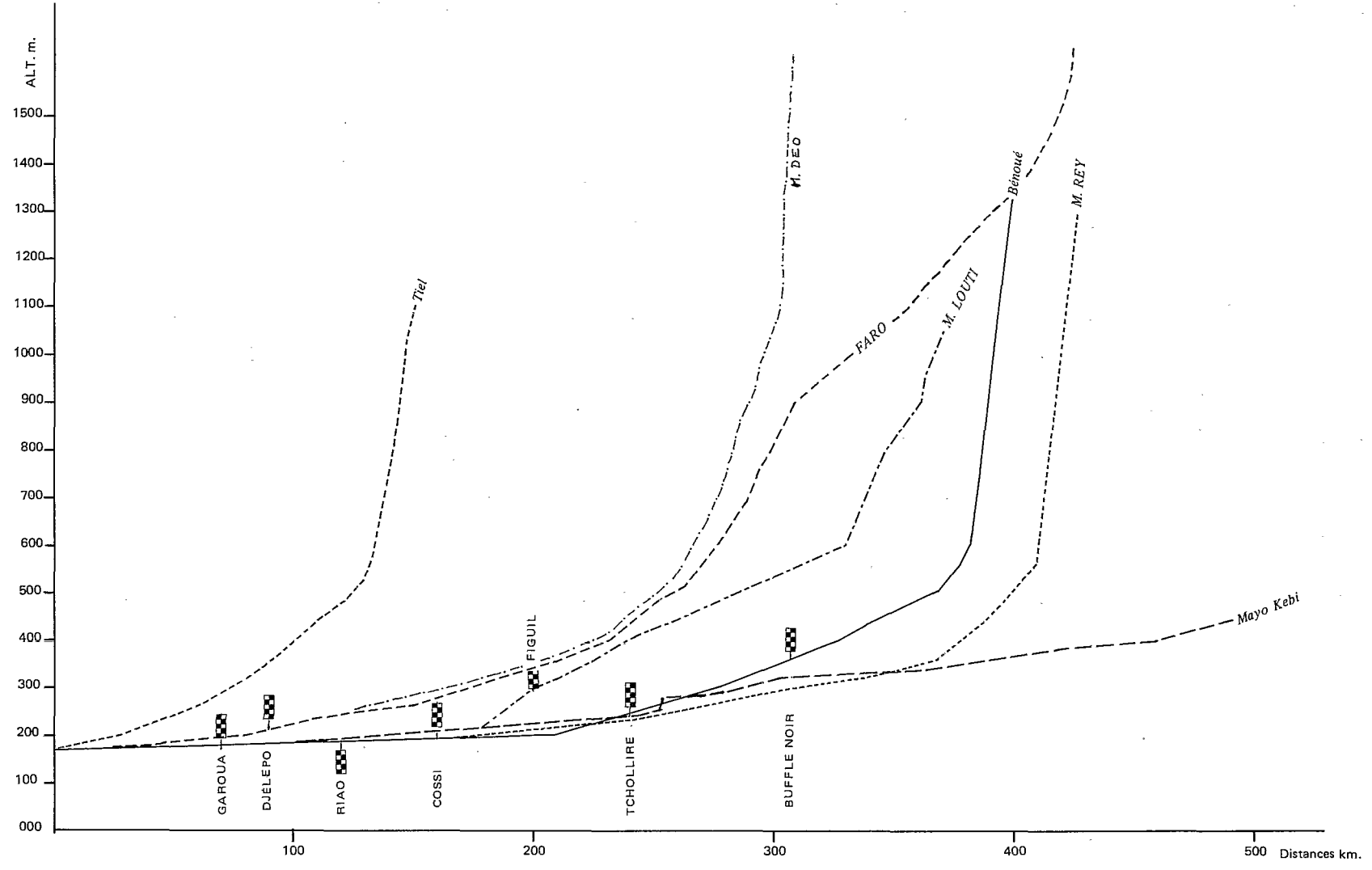


Fig. 10.2. – Profil en long : Bénoué et principaux affluents.

Par rapport à la frontière Nigeria-Cameroun, choisie comme origine O du réseau de la Bénoué supérieure, la Bénoué s.s. n'arrive, par la longueur, qu'au troisième rang ex aequo avec les Mayos Godi et Rey. La branche la plus longue est celle du Mayo Kébi avec 495 km, suivie du Faro avec 420 km contre 390 km à la Bénoué. On verra que par les débits, la Bénoué est bien la branche principale de l'ensemble Bénoué-Kébi lequel par la superficie et le débit l'emporte sur l'ensemble Faro. Les figures 10.2 et 10.3 donnent les profils en long des cours d'eau les plus importants.

1.3.1. La Bénoué

1.3.1.1. La Haute Bénoué

Elle naît sur le rebord septentrional du plateau de l'Adamoua à 1 300 m d'altitude au Tchabal Amadou à l'ouest de la route Ngaoundéré-Garoua à quelques kilomètres seulement des virages de « la Falaise ». Simple ruisseau de montagne, la Bénoué dévale rapidement du plateau et n'est plus qu'à 560 m d'altitude après un parcours de vingt-trois kilomètres seulement lorsqu'elle coupe la route déjà citée à Wak (ou Ouak), village où une station hydrométrique a été observée quelque temps. Gardant une orientation nord-ouest et nord, la Bénoué reçoit une série de petits affluents de rive droite comparables par leur morphologie à la Bénoué ; on peut citer la Mazele, le Bang Na et le Poussoum. La Bénoué n'est plus qu'à 410 m d'altitude en abordant le Parc National de la Bénoué ; depuis la latitude de Mbe, la rivière coule dans la pénéplaine de basse altitude. La Bénoué va constituer la limite orientale du Parc National pendant plus d'une centaine de kilomètres. Sur cette portion de son cours, la Bénoué va perdre 170 m d'altitude ; au campement du Buffle Noir où une station hydrologique permanente est installée, la Bénoué n'est déjà plus qu'à 360 m d'altitude à 90 km de sa source. Elle franchit là un ressaut de 5 m. Ces fortes pentes expliquent l'action érosive du réseau ; la Bénoué coule sur un lit rocheux jusqu'à la sortie du parc en aval du pont de Boukma où sont observés les derniers rapides.

Les affluents de rive gauche traversent le Parc National ; ils sont torrentueux et courts (Mayos Alim,Mbam, Bam Na, Birma, etc.). En rive droite, le seul cours d'eau important vient de l'Adamaoua ; c'est le Mayo Oldiri.

En quittant le Parc National, la vallée de la Bénoué va s'élargir dans une large plaine alluviale. Au km 200 depuis le Nigeria (190 depuis la source), la Bénoué n'est qu'à 220 m d'altitude. Au confluent du Mayo Rey, l'altitude 200 m est atteinte ; la pente va encore se réduire, les bancs de sable encombrent le lit de la rivière. Le cours de la Bénoué s'oriente vers le nord-ouest, direction qu'elle gardera jusqu'à son confluent avec le Mayo Kébi. Quelques méandres se forment en dépit d'une puissance accrue du cours d'eau qui reçoit en moins de 25 km le Mayo Rey, le Mayo Godi, en rive droite, et le Mayo Mbay en rive gauche. La taille du bassin de la Bénoué a plus que triplé.

1.3.1.2. Le Mayo Rey

Il prend sa source dans les montagnes de Ndock (1 340 m), prolongement des Mts Wal (1 606 m), reliefs nord de l'Adamaoua séparés de celui-ci par la vallée de la Vina-Nord. Sa longueur totale est de 250 km. La pente est forte (50 m/km dans les 15 premiers kilomètres, puis 5 m/km pour les 40 km suivants). A 40 km en amont de Tcholliré (station hydrologique de Mayo Galké), le Mayo Rey n'est plus qu'à 300 m d'altitude. Il abandonne à Tcholliré sa direction ouest pour celle du nord qu'il garde jusqu'à Rey Bouba où il atteint, 30 km avant son confluent avec la Bénoué, une large plaine alluviale. En rive droite, il ne reçoit que de rares et très courts affluents issus des reliefs sud du Parc de Bouba Ndjida. En rive gauche, par contre, il reçoit quelques affluents importants issus de l'Adamaoua tels les Mayos Diaole et Laindé.

1.3.1.3. Le Mayo Godi

Il possède le sous-bassin le plus important de la moyenne Bénoué. Son réseau est essentiellement formé de trois branches principales : le Mayo Godi supérieur ou Mayo Lidi, le Mayo Vaimba et le Mayo Tchina. Le Mayo Godi ou Lidi prend sa source dans les mêmes montagnes que le Mayo Rey et suit un cours parallèle ; sa longueur totale est de 265 km. Il traverse le Parc de Bouba Ndjida et reçoit les mayos Dopsa et Bidjou, les seuls affluents notables de rive gauche. En rive droite, le Mayo Vaimba est issu des mayos Senabou et Senaroua drainant au Tchad le plateau Laka au sud de Pala. On relève encore le Mayo Ouarkla, long de 40 km environ. Le Mayo Tchina ou Sina, long de 130 km, est caractérisé par sa très faible pente ; il naît vers 400 m d'altitude au sud de Pala et a une direction générale ouest. Il rejoint le Mayo Godi peu avant que celui-ci ne se jette dans la Bénoué à 15 km en aval du confluent du Mayo Rey.

1.3.1.4. Le Mayo Mbay

Il est constitué par la réunion, trente kilomètres en amont de son confluent avec la Bénoué, par le Mayo Sala et le Mayo Boki ; ceux-ci drainent respectivement les versants est et nord du Massif de Poli. Leurs lits sont encaissés et témoignent de crues violentes.

1.3.1.5. La Moyenne Bénoué

Elle coule dans une large vallée avec ses plaines de débordement dépassant parfois cinq et même dix kilomètres de largeur, ses méandres morts ou ses mares restant en eau toute l'année. Cette physionomie générale n'est affectée qu'au défilé de Lagdo, 50 km en aval du confluent du Mayo Rey (km 130) ; sur ce bief, la pente est tombée à 0,2/1 000. Le défilé de Lagdo et le site incomparable qu'il constituait pour le barrage récemment achevé méritent que l'on se penche sur sa formation.

A Lagdo, deux inselbergs de granite dominent la plaine, celui de Douka et celui de Lagdo ; ce dernier est traversé par la Bénoué qui y a creusé un défilé étroit, dont la largeur descend jusqu'à 120 m, au lieu de contourner l'obstacle. L'explication tient, très probablement, dans un phénomène de surimposition ; la Bénoué devait couler à l'aplomb de l'inselberg enfoui sous les sédiments crétacés ; le creusement de la vallée a atteint le granite et s'est poursuivi tandis que les dépôts détritiques environnants étaient enlevés par l'érosion. Cette ablation de deux à trois cents mètres de grès depuis le tertiaire est parfaitement plausible ; elle renforce l'hypothèse de ce que l'on appelait une « vallée épigénique » (Roch, 1952). Pour Wakuti (1968) par contre, rien ne prouve que les grès crétacés aient recouvert le granite de Lagdo et l'érosion régressive d'un thalweg accessoire serait responsable de la capture de la Bénoué à travers le défilé actuel. Tillement (1970) fait justement remarquer qu'une tête de thalweg n'a pas le pouvoir érosif nécessaire pour entailler plusieurs dizaines de mètres de granite depuis le Quaternaire récent.

Quoi qu'il en soit, le défilé de Lagdo est aujourd'hui barré et la Bénoué, stockée à l'amont jusqu'au Parc National, régularisée à l'aval.

A l'aval de Lagdo, la moyenne Bénoué s'étale largement de Riao (station hydrologique) à Pitoa ; la pente reste faible et les zones de débordement peuvent aboutir à de vastes plans d'eau tel le Vinede Douloumi qui couvre en rive droite plus de 1 000 ha au droit d'Adoumri.

La Bénoué reçoit au km 100 le Mayo Kébi (alt. 179 m) après avoir laissé en rive gauche les entablements gréseux de l'Hossere Douli.

1.3.1.6. La partie inférieure de la Bénoué camerounaise

Après son confluent avec le Mayo Kébi, l'obstacle du Massif gréseux du Tinguelin contraint la Bénoué à abandonner sa direction N-W. De Fitoa à la frontière du Nigeria, la Bénoué prend une direction générale Ouest (d'abord W.S.W. puis W.N.W). Au port de Garoua, la plus ancienne station hydrologique du Cameroun, la Bénoué n'est plus qu'à 175 m d'altitude et encore à 80 km de la frontière.

La vallée est bien marquée, séparée des zones inondables par les bourrelets de berge. Les reliefs gréseux jalonnent de loin en loin les bords de la vallée dont on a dit qu'elle témoignait d'un fleuve plus abondant issu par le Kébi puis le Chari du lointain massif du Djebel Marra (3 230 m) au Soudan. Quelques lacs occupent des dépressions du lit majeur de la Bénoué à l'aval de Ouro Ardo Rey. La pente moyenne n'est plus que de 9 cm/km entre Garoua et la frontière. Les bancs de sable se déplacent et rendent souvent difficile la navigation.

A l'exception du Faro et du Mayo Tiel, les affluents de la Bénoué restent très secondaires. On peut cependant citer le Mayo Goulongo qui draine le massif gréseux du Tinguelin situé au nord de Garoua.

Le Mayo Tiel, affluent frontière de rive droite de Demsa à son confluent, est issu de la région de Dourbey et draine le sud des Monts Mandara (montage de Doumo : 1 024 m). Il a une longueur de 140 km et un régime torrentiel dans sa partie amont.

Le Faro conflue avec la Bénoué dans une vaste zone de débordements d'une vingtaine de kilomètres de large. En rentrant au Nigéria, l'altitude de la Bénoué est de 168 m.

1.3.2. Le Mayo Kébi

Principal affluent de la Bénoué supérieure, ancien chenal évacuateur d'un paléoréseau hydrographique important, le Mayo Kébi est surtout caractérisé par son bassin tchadien d'une subhorizontalité qui tranche avec les autres régions de la Bénoué. Seule la partie camerounaise du Bassin du Kébi montre des reliefs prononcés.

1.3.2.1. Le cours principal du Kébi

Dans son cours supérieur, le Kébi,sous le nom de Kabia, draine au Tchad le plateau Laka et prend sa source près de Gagal à un peu plus de 400 m d'altitude. Prenant une direction N.E, la Kabia rejoint rapidement la zone dépressive de la « gouttière tchadienne » et forme le lac Kabia à la cote 345 m à 60 km de sa source. La Kabia prend alors une direction N.W parallèle à la direction du Logone et de son affluent Tandjilé. Dès le lac Kabia et en amont de Gounou-Gaya, des zones marécageuses continues s'installent en saison des pluies, et des déversements de la Tandjilé vers la Kabia ne sont pas exclus. La Kabia reçoit à 105 km de sa source la Loka en rive droite dont le lit est mal défini et correspond davantage à une zone d'écoulements incertains qui assure cependant le transfert à la Kabia des déversements du Logone par l'effluent d'Eré ; celui-ci correspond d'ailleurs davantage à un seuil dans la zone

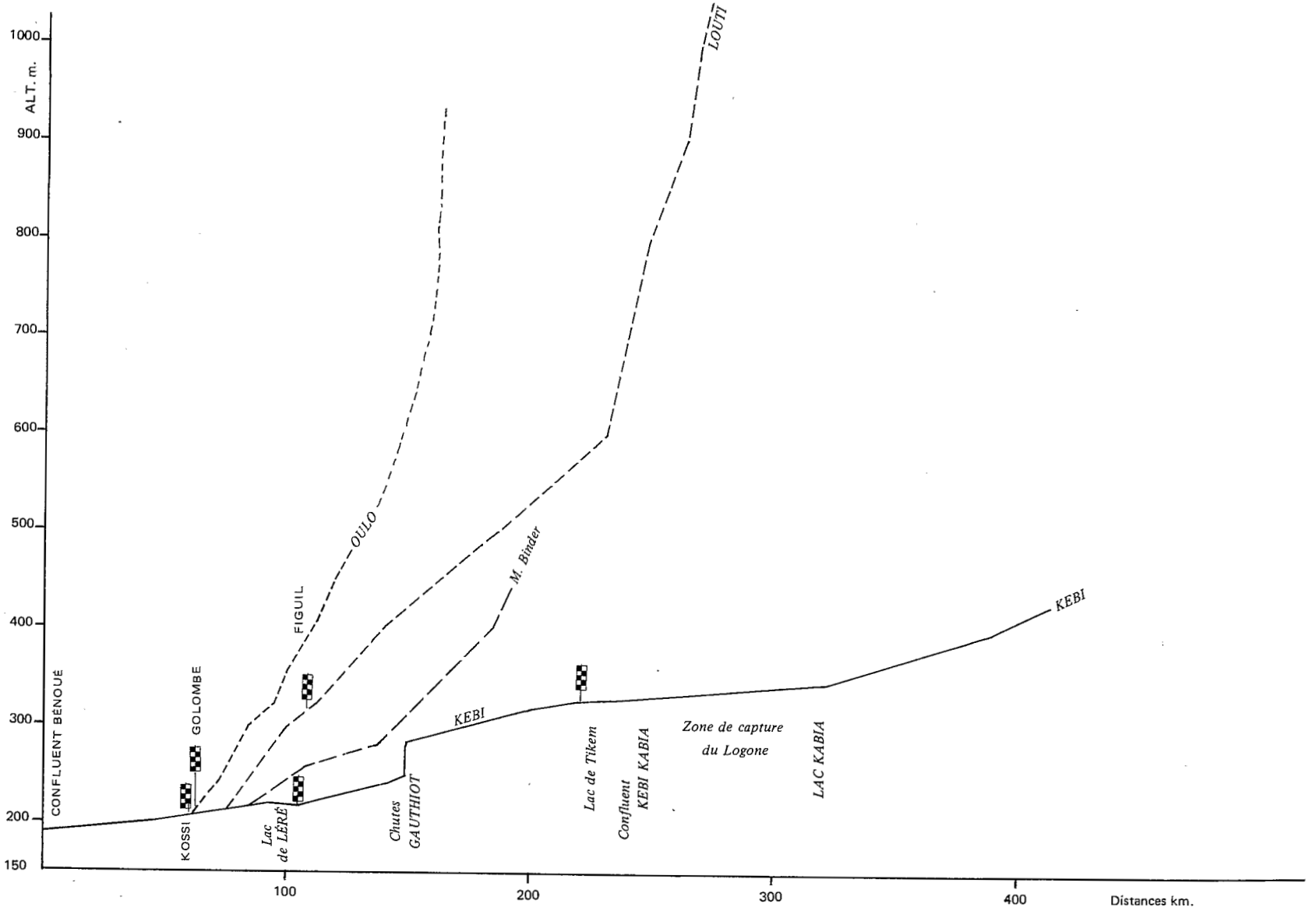


Fig. 10.3. – Profil en long Mayo Kébi et affluents.

marécageuse dont le niveau est plus ou moins dépassé par la crue du Logone [1].

Après son apport, la Kabia prend une direction W jusqu'au droit de Fianga où elle rejoint à 324 m d'altitude une vallée large et bien marquée venant du nord et reçoit d'autres déversements du Logone au seuil de Dana, près de Bongor. Cette vallée, témoin d'une rivière plus importante, est partiellement occupée par des zones marécageuses et des lacs : lacs de Fianga et de Tikem. C'est la dépression Toubouri. Au seuil de Mbourao, en aval du lac de Doura, l'altitude est encore de 320 m. La pente moyenne depuis le confluent de la Kabia est de 0,07/1 000. Le cours d'eau a pris le nom de Mayo Kébi et suit une direction générale W.S.W où sa pente augmente nettement (2/1 000) à l'approche des Chutes Gauthiot qu'il atteint à 225 km de sa source. Celles-ci ont une hauteur de 45 m et sont dues à une tectonique relativement récente [2]. Les potentialités hydroélectriques de ces Chutes ont été étudiées par Électricité de France et l'ORSTOM [3].

Après ces Chutes, le Mayo Kébi voit sa pente diminuer rapidement ; il atteint le lac de Tréné et le lac de Léré, ce dernier à la cote 231. En rive gauche, il a reçu deux affluents issus de la région de Pala (Mayo Dala et Mayo el Ouaya). A la sortie du lac de Léré, il reçoit en rive droite le Mayo Binder qui, avec son affluent Mayo Sokoy, draine au Cameroun la région de Kaélé et celle du sud de Mindif, puis rentre au Cameroun au pied de l'Hossere Katiau à la cote 220 dans la mare de Bolgui.

Le Kébi reçoit très vite le Mayo Louti et le Mayo Oulo en rive droite. Ces affluents torrentueux se jettent dans le Kébi par un delta alluvial. Le Kébi a alors pris une direction sud et franchit les verrous de schistes cristallins ou de jeunes granites de Cossi, Gobtikere, Ouro Labare. A Cossi, une station hydrologique est installée. A Labare, la cote 200 est atteinte. Le lit du Kébi s'élargit ; la plaine alluviale comprend de vastes aires d'inondation (nadérés). Le Kébi rejoint enfin la Bénoué par un confluent net aux berges bien formées qui tend à remonter vers l'amont par l'érosion du dernier méandre.

(1) Des études détaillées ont été faites par la Commission Scientifique du Logone et du Tchad dès 1947 sous l'impulsion du ministère de la F.O.M. Les hydrologues de l'ORSTOM, sous la Direction de J. Rodier et de A. Bouchardeau sur le terrain, ont en particulier étudié le phénomène de capture du Logone par les affluents de la Bénoué (Bouchardeau, 1949, 1953 ; Rodier, 1967).

(2) Probablement du Quaternaire, cet accident devrait être postérieur aux sables du Kelo du Continental Terminal si on considère qu'un basculement provisoire du réseau de la Bénoué vers le Tchad a permis leur dépôt à partir d'une érosion des grès de Garoua (cf. IX-1.2).

(3) Ce sont les seules Chutes vraiment intéressantes sur le plan hydroélectrique de tout le bassin de la Bénoué. Cela paraît assez paradoxal compte tenu des reliefs au sud du bassin mais en fait les bassins amont correspondants ne constituent pas des collecteurs suffisants. Voir pour les Chutes Gauthiot les travaux de Roche 1963, Billon 1985, Callède 1966.

1.3.2.2. Le Mayo Louti et le Mayo Oulo

Le Mayo Louti prend sa source près de Mabas, balcon du Cameroun au-dessus de la plaine nigeriane au nord-ouest de Mokolo, vers 1 210 m d'altitude dans les Monts Matakam. Il a une longueur totale de 180 km et draine une bonne partie du massif des Monts Mandara. Il a un cours général N.S. ou N.N.W-S.S.E. Sa pente est forte ; dans son cours supérieur, elle est de 10/1 000 (nombreuses petites chutes) ; entre Guider et son confluent, elle est encore de 3/1 000. Ses principaux affluents sont des torrents de rive droite. Le Mayo Zouvoul draine avec le Mayo Gawar la majeure partie de la région des Kapsikis. Plus au sud, le Mayo Dangar ou Larbak collecte les eaux des mayos Douroum, Teleki, Paha dont le réseau hydrographique témoigne d'une tectonique cassante importante dans les régions de Tchevi et Bourha. Le Mayo Guider est le dernier oued notable affluent du Louti. Louti signifie « fou » en langue locale. Cet affluent du Kébi doit son nom aux crues violentes provenant du haut-bassin par temps serein sur les régions aval.

Signalons entre Guider et Figuil les gorges très étroites de Kola dans lesquelles la montée des crues est spectaculaire.

Beaucoup plus modeste, le Mayo Oulo est également caractérisé par de violentes crues dont témoigne encore la carcasse d'un pont métallique en avant du pont actuel sur la route Garoua-Maroua. Il prend sa source vers 1 100 m au sud de Tchévi. Sa pente dépasse 10/1 000 jusqu'au village de Mayo Oulo à 40 km de sa source. Son cours totalise 100 km. Le Mayo Oulo draine les ultimes reliefs du sud des Monts Mandara, dont le massif du Peske Bori.

Mayo Louti et Mayo Oulo ont un pouvoir érosif très puissant.

1.3.3. Le Faro

1.3.3.1. Le Faro supérieur

Le Faro est l'affluent le plus riche en apports tant solides que liquides du bassin supérieur de la Bénoué. Il prend sa source vers 1 500 m en plein cœur de l'Adamaoua dans la région de Tignere et draine l'essentiel du plateau situé entre Ngaoundéré et Tignere. A 100 km de sa source, après avoir reçu le Mbakana, le Manang et le Ro (dont le Rem [1] est un affluent), le Faro va s'enfoncer dans le plateau en une vallée profonde. La pente est très forte : 11/1 000 sur 20 km, 3,4/1 000 sur les 50 suivants, 9/1 000

(1) Le Rem a fait l'objet d'études hydrologiques, cf. Brunet-Moret (1965b).

sur le bief amont de la Réserve d'Hippopotames qui s'achève par des chutes, 1,6/1 000 sur les 30 km qui suivent et marquent le débouché du Faro dans la pénéplaine, à 390 m d'altitude. La direction de la rivière passe du nord à l'ouest.

Au cours de sa descente de l'Adamaoua, le Faro a reçu en rive gauche la Mere qui draine les flancs sud et est du Tchabal Gangdaba (1 960 m). Dans la pénéplaine, le Faro n'est plus qu'à 335 m d'altitude lorsqu'il reçoit les mayos Bigoe et Life issus des flancs nord du Gangdaba et seulement à 310 m pour les affluents de rive droite, mayos Doukoua et Bantadje qui drainent les régions sud du Massif de Poli. Depuis son arrivée dans la pénéplaine, le Faro a parcouru 50 km avec une pente moyenne encore forte de 1,5/1 000.

La pente tombe à 1/1 000 sur les 50 km qui séparent le confluent de la Bantadje de celui du Mayo Déo. Sept kilomètres en amont de ce dernier, le Faro a reçu le Mayo Niali qui draine la partie centrale de la Réserve du Faro.

1.3.3.2. Le Mayo Déo

Le Mayo Déo né au flanc nord du Tchabal Mbabo (2 460 m) a une longueur de 185 km (contre 310 km pour le Faro au confluent). Il dévale rapidement de l'Adamaoua et reçoit en rive droite comme affluents les mayos Nolti et Oulti. Le Déo n'est déjà plus qu'à 356 m au confluent avec le Mayo Oulti. La pente du bief aval reste sensiblement constante, 1,1/1 000 sur 100 km. La pente moyenne du bief amont est de 14/1 000.

Le Mayo Déo reçoit en rive gauche de courts affluents venus du Nigéria entre Toungo et Gamu. En rive droite, il reçoit encore le Mayo Isselou (Réserve du Faro).

Fortes pentes, crues violentes se traduisent par une érosion intense caractérisée par l'observation de bancs de cailloutis et graviers dans le lit du Déo, les bancs de sable n'apparaissant que plus à l'aval.

1.3.3.3. Le Faro inférieur

Le confluent du Faro et du Déo à 257 m d'altitude et à 20 km en amont de Tchamba marque le début d'un large bief orienté *grosso modo* vers le nord et dont la pente va rester de l'ordre de 1/1 000 sur 60 kilomètres. Le Faro est alors une puissante rivière de 800 m de large ; il coule au pied des Monts Alantika qui le dominent de plus de 1 000 m tout au long de cette partie du cours d'eau. A l'est, les reliefs plus éloignés du Massif de Poli complètent l'image montagnarde du Faro.

Quarante kilomètres en aval de Tchamba et de la station hydrologique de Djelepo (qui a remplacé celle de Safaï, peu en amont), la vallée du Faro s'élargit encore. De larges zones d'inondation apparaissent. Alors que la cote de la rivière passe en dessous de 200 m, le Faro se divise d'abord en deux bras, puis trois ; son lit majeur fait jusqu'à 7 kilomètres de largeur. La pente n'est plus que de 0,5/1 000 sur le bief aval long de 50 km. Avant de rejoindre la Bénoué, le Faro, peu profond et encombré d'îles, prend la physionomie générale rencontrée sur la Bénoué depuis Lagdo.

1.3.4. Les vallées alluviales

La description qui a été faite des trois composantes hydrographiques du bassin de la Bénoué a montré de grandes différences dans leur morphologie mais aussi une constante dans leur partie aval : l'existence de larges plaines alluviales marécageuses ou périodiquement inondées séparées du lit mineur ou apparent par des « levées naturelles » ou « bourrelets de berges » non continus sur lesquels se développe une végétation arborée.

Les cours d'eau n'ont plus qu'une pente très faible ; ils se ramifient éventuellement en plusieurs bras, abandonnent d'anciens méandres qui deviennent mares permanentes ou non, alluvionnent leurs transports.

Il est caractéristique que ce stade de sénilité apparaisse dès que les rivières abordent les terrains crétacés du bassin sédimentaire de la Bénoué.

La vallée de la Bénoué présente la particularité d'avoir été à l'origine un large et profond fossé tectonique, ancien bras de mer crétacé. A l'inverse de la plupart des autres fleuves étudiés, la Bénoué n'a donc pas eu la peine de creuser son lit dans le socle ancien et c'est ce qui explique sans doute que seul son cours supérieur soit coupé de quelques chutes ou rapides. On a déjà évoqué les vicissitudes que la Bénoué camerounaise a connues dans ses rapports avec le Logone tour à tour tributaire ou indépendant au gré de la tectonique (plissement synclinal des grès de Garoua, affaissement de la gouttière tchadienne, exhaussement du massif de l'Adamaoua), et, par suite, on imagine les variations de puissance du cours d'eau sans compter les variations climatologiques.

Le comblement progressif de la vallée a permis au cours d'eau de former son lit à partir de ses propres alluvions et d'adapter en chaque point de son cours, sa pente, son profil en travers et son tracé en plan aux débits liquide et solide moyens apportés par les bassins versants. Ces cours d'eau alluvionnaires peuvent être rattachés à deux types principaux. La Bénoué en aval de Garoua appartient au type « sinueux » et montre une rivière en équilibre capable de transporter ses sédiments sans former de dépôts importants ; le lit reste relativement étroit et profond et présente des méandres réguliers. C'est aussi semble-t-il le type du Kébi en aval de Labare.

La Bénoué, en aval de Lagdo – jadis en amont –, et le Faro aval appartiennent au type « comblant » ; on observe des sections larges et rectilignes avec hauts-fonds divisant le courant en chenaux instables ; le lit perd de sa profondeur et la tendance s'accentue si les berges sont facilement affouillables. A vitesses et débits constants, l'augmentation de largeur aux dépens de la profondeur entraîne une diminution des transports en suspension et un accroissement du charriage de fond (Amélioration de la Navigabilité de la Bénoué, 1958).

Tillement (1970) conçoit l'alluvionnement de la Bénoué en amont de Garoua suivant plusieurs phases dont on retrace l'histoire dans les terrasses fluviales. Après une période d'érosion intense jusqu'à la fin du Tertiaire, il y a eu au Quaternaire un remblaiement important de l'ensemble des dépressions et de la vallée probablement à la suite d'une remontée du niveau de base. Il n'y a pratiquement aucun affleurement rocheux dans la vallée en aval de Boukma et les alluvions atteignent et dépassement fréquemment 30 m d'épaisseur. Une nouvelle période d'érosion enlève une partie de ces alluvions anciennes qui sont entaillées sur une épaisseur de 10 à 20 m. Cette reprise de l'érosion serait due à une surélévation de l'Adamaoua. Quelques lambeaux anciens subsistent en terrasses. A la période actuelle, ou dans un Quaternaire très récent, une nouvelle couche d'alluvions se dépose (grossières dans le lit mineur, limoneuses dans les zones de débordement) et comble progressivement le creusement de la précédente phase. La surface de ces dépôts reste cependant aujourd'hui entre 6 et 8 m en dessous des terrasses anciennes.

Aujourd'hui ces larges plaines, périodiquement inondées, envahies par de vastes étendues herbeuses sont assez comparables au paysage des « yaérés » de la vallée du Logone ; on y retrouve les mêmes traditions d'élevage à la saison sèche (fourrage et eau abondante), les mêmes traditions de pêche avec le retrait des eaux, les mêmes cultures des sorghos de décrue, les mêmes relations reprises chaque année aux basses-eaux entre villages des deux rives.

Les aménagements qui doivent suivre la mise en eau et l'exploitation du barrage de Lagdo vont quelque peu modifier les paysages de certaines parties de la vallée ; l'ensemble ne devrait cependant pas être altéré avant longtemps, une mise en valeur globale de ces plaines alluviales supposant une densité de population que ne connaît pas la vallée de la Bénoué.

2. CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS ET DONNÉES DE BASE

2.1. Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques

Le réseau d'observations hydrologiques est relativement peu dense sur le bassin de la Bénoué. Quelques stations anciennes abandonnées (Wak, Famou, Campement Coron) et les stations du Kébi au Tchad ne seront pas utilisées ici ; ces dernières apparaissent d'un intérêt secondaire, les écoulements étant considérablement amortis par les lacs de la dépression Toubouri et Léré avant de pénétrer au Cameroun. Les observations de huit stations seront examinées ici.

Ce sont :
- sur la Bénoué : la station du Campement du Buffle Noir, la station du Mayo Rey au village de Mayo Galké (Tchollire), la station de Riao liée à celle de Lagdo, la station de Garoua ;
- sur la branche Kébi : les stations de Figuil sur le Mayo Louti, de Golombe sur le Mayo Oulo, la station de Cossi sur le Kébi ;
- sur la branche Faro : la station de Djelepo sur le Faro qui a remplacé celle de Safaïe.

Les caractéristiques géométriques de ces bassins sont données dans le tableau 10.1, ci-après. Il convient de souligner que les superficies des bassins ont été déterminées sur la base des derniers documents cartographiques existants, que les résultats infirment des données de superficie précédemment indiquée pour le bassin de la Bénoué. Par exemple, la Bénoué à Garoua a une superficie de 60 500 km² contre 64 000 km², valeur admise dans les publications antérieures.

Tableau 10.1.

Station	S km2	P km	Forme Ke	Rect. équivalent		Altitude (m)	
				L	l	max	min
Bénoué au Buffle Noir	3 200	246	1.22	87	37	1 960	360
Mayo Rey à Tchollire	5 240	320	1.24	115	46	1 340	270
Bénoué à Riao	30 650	750	1.20	256	120	2 049	186
Mayo Louti à Figuil	5 550	340	1.28	126	44	1 255	243
Mayo Oulo à Golombe	1 160	155	1.27	57	20	1 195	230
Mayo Kébi à Cossi	25 000	662	1.17	213	117	1 255	195
Bénoué à Garoua	60 500	1 060	1.21	364	166	2 049	186
Faro à Djélépo	24 000	700	1.27	259	93	2 460	230

L'étude de l'hypsométrie des bassins a été faite pour les quatre stations principales. Les répartitions par tranches d'altitude ont été indiquées dans le

tableau 10.2. On a précisé en bas du tableau l'altitude moyenne des bassins et l'indice global de pente.

On peut être surpris de retrouver pour ce dernier paramètre des valeurs voisines pour Riao et Cossi. Précisons que pour le Kébi, les bassins du Louti et du Oulo apportent des reliefs non négligeables tandis que le bassin du Godi pour la Bénoué est de relief peu marqué. Ceci dit, au niveau des écoulements, cet indice aura peu de signification pour les 2 stations si on se réfère à l'effet amortisseur des lacs de la vallée du Kébi.

Soulignons aussi l'altitude moyenne élevée du Bassin du Faro et son fort indice de pente.

Tableau 10.2. – Hypsométrie des bassins principaux (en %).

Tranches d'altitudes	Bénoué à Riao	Mayo Kébi à Cossi	Bénoué à Garoua	Faro à Djelepo
< 300	10	15	23	2
300 - 400	22.5	35	22	13
400 - 500	24.5	25	14	20
500 - 600	18.5	10	19	
600 - 700	10		10	} 20
700 - 800	6.5	} 10	5.5	
800 - 1000	5	4	4.5	} 20
1000 - 1200	2	1	1.5	20
> 1200	1		0.5	5
Altitude moyenne	510	445	470	740
Indice global de pente ‰	2.46	2.40	1.74	3.40

2.2. Les données pluviométriques

Les stations pluviométriques ne sont pas nombreuses et le tracé des isohyètes interannuelles s'appuie sur les données existantes mais aussi des considérations de relief et d'exposition ; il reste donc relativement imprécis. Parmi ces stations pluviométriques d'inégale qualité, on citera : Ngaoundéré, Tignere, Djelepo, Poli, Fignole, Tchollire, Rey Bouba, Ouro Boki, Garoua, Guider, Léré, Pala, Gounou Gaya, Yagoua, Fianga, Kaélé, Mokolo. Pour chaque bassin versant contrôlé par une station hydrologique et l'ensemble du bassin de la Bénoué à sa sortie du Cameroun, nous indiquons l'estimation de la hauteur moyenne interannuelle de précipitations dans le tableau 10.3 ci-contre.

2.3. Les débits

L'échantillon de débits est de qualité très inégale puisque l'on ne dispose de plus de dix années d'observation que pour cinq stations sur huit. Seules les stations du Kébi à Cossi et de la Bénoué à Riao et à Garoua offrent des échantillons comparables sur plus de 25 ans.

Tableau 10.3. – Précipitations sur le bassin de la Bénoué.

Bassin	Superficie km²	Hauteur moyenne des précipitations interannuelles probable mm
Bénoué au Buffle Noir	3 200	1 470
Mayo Rey à Tcholliré	5 240	1 420
Bénoué à Riao	30 650	1 285
Mayo Louti à Figuil	5 550	990
Mayo Oulo à Golombe	1 160	1 000
Mayo Kébi à Cossi	25 000	925
Bénoué à Garoua	60 500	1 130
Faro à Djelepo	24 000	1 545
Bassins aval Garou et Djelepo (BV intermédiaires)	10 500	1 110
dont Mayo Tiel	2 600	1 050
Bénoué à la frontière	95 000	1 230

Un fait nouveau apparaît dans ces observations par rapport aux chapitres qui ont précédé ; c'est une probabilité qui est loin d'être négligeable de voir une partie de la saison sèche sans écoulement.

Une série de tableaux présente la chronique des débits moyens mensuels observés à chacune des stations. D'autres tableaux indiquent pour cinq stations les valeurs extrêmes observées (étiages absolus et maximums de crue) avec leurs dates d'apparition. Pour ces mêmes stations, sont produites les valeurs représentatives des débits caractéristiques.

2.3.1. Le bassin de la haute Bénoué

A la station du Buffle Noir qui contrôle un bassin de 3 200 km² sur 18 années complètes d'observation, le module interannuel de la Bénoué est de 46,9 m³/s, soit 14,7 l/s.km² ; le débit moyen mensuel le plus fort est observé en septembre avec une moyenne de 194 m³/s et un maximum de 283 m³/s. Mars est le mois de plus basses-eaux avec un débit moyen interannuel de 0,482 m³/s. Il arrive que la Bénoué tarisse complètement en avril ou mai, mais généralement un léger débit de quelques litres secondes subsiste aux étiages les plus sévères. Les maximums de crue sont importants puisqu'on a observé jusqu'à 1 880 m³/s, soit un débit spécifique de pointe de 590 l/s.km². Le débit caractéristique de crue non dépassé pendant un jour est en moyenne de 705 m³/s (220 l/s.km²) et le maximum est de 1 490 m³/s, ce qui illustre bien le caractère aigu des crues de la Bénoué au Buffle Noir. On notera que le débit de 8 m³/s n'est pas dépassé pendant 6 mois en année moyenne.

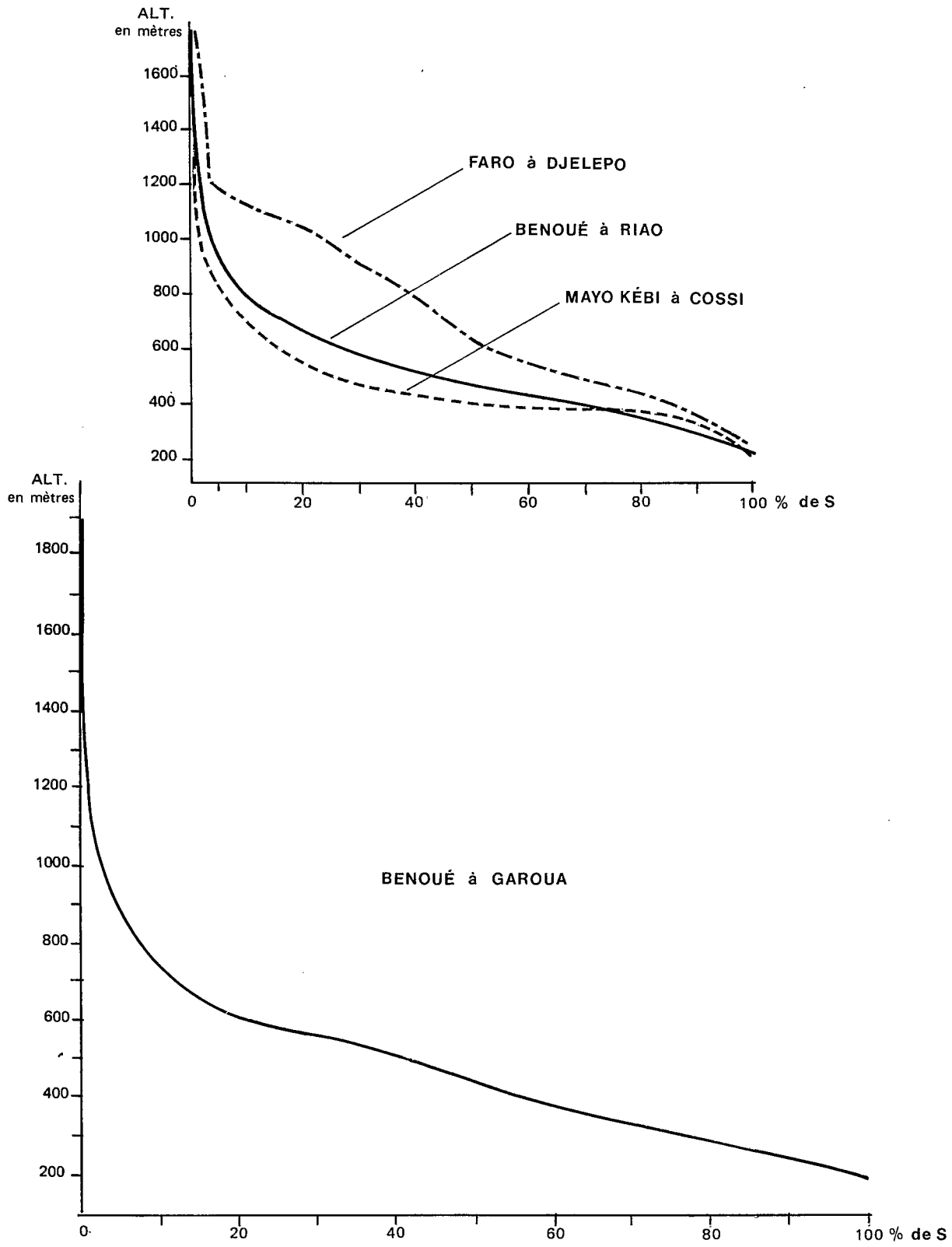


Fig. 10.4. – Profils hypsométriques du bassin de la Bénoué.

Tableau 10.4. – Bénoué à Buffle Noir.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1955-56							224	27.9	9.51	5.08			
56-57				49.2	186	260	131	14.8	6.73	3.16	1.76	0.734	
57-58	1.54	4.53	20.0	44.4	175	200	145	30.8	9.59	4.63	2.08	0.780	53.5
58-59	1.78	4.30	12.7	64.1	94.8	206	91.7	16.0	6.59				
59-60													
60-61										5.88	2.85	1.020	
61-62	0.75	3.36	30.9	110	82.6	162	66.4	12.8	5.50	2.84	1.10	0.800	40.1
62-63	2.93	6.88	34.5	59.5	127	190	98.2	22.6	7.94	3.88	1.87	0.866	46.5
63-64	1.85	7.04	6.56	36.3	267	179	105	18.3	7.30	3.64	1.53	0.600	53.1
64-65	1.50	5.66	17.3	82.6	102	255	89.4	28.1	9.09	4.47	1.88	0.762	49.9
65-66	1.00	2.35	11.8	48.7	166	220	57.6	12.2	5.21	2.42	1.17	0.475	44.2
66-67	1.62	12.6	34.1	45.2	223	283	93.3	19.9	6.06	3.06	1.52	0.626	60.5
67-68	0.84	5.76	20.2	92.7	160	182	94.5	14.1	4.56	2.31	1.07	0.582	48.4
68-69	4.20	4.59	10.6	73.7	199	211	58.0	11.4	3.27	1.58	0.78	0.500	48.5
69-70	1.50	4.80	25.2	89.6	249	252	77.8	22.5	6.35	2.48	0.84	0.252	61.4
70-71	0.37	5.43	14.8	62.4	208	236	57.7	12.1	4.36	1.86	0.62	0.205	50.6
71-72	0.34	0.97	10.3	74.6	163	177	37.0	8.12	2.57	0.98	0.27	0.103	39.7
72-73	0.64	7.36	16.2	45.1	106	83.4	78.9	11.7	4.49	1.34	0.44	0.093	29.9
73-74	0.53	4.47	8.73	32.8	116	118	38.8	7.38	2.66	0.94	0.31	0.084	27.7
74-75	0.65	6.05	3.83	41.0	98.0	142	113	19.4	5.08	2.55	0.99	0.247	36.3
75-76	0.15	1.31	4.06	66.6	171	248	123	15.8	6.12	2.97	1.24	0.383	53.5
76-77	0.24	3.50	12.5	83.1	180	122	115	30.1	8.72	3.04	1.42	0.370	47.1
77-78	0.09	1.35	10.9	66.5	152	172	110	9.09	3.53	1.47	0.48	0.154	44.3
78-79	8.02	6.49	27.4	46.7	134	177	80.3	27.2	6.43				
MED.	0.92	4.69	13.8	62.4	163	190	92.5	15.9	6.09	2.84	1.13	0.49	
ET.	1.83	2.63	9.45	20.8	51.4	51.8	40.6	7.38	2.12	1.35	0.67	0.29	
MOYE.	1.53	4.94	16.6	62.6	160	194	94.8	17.8	5.98	2.88	1.21	0.482	46.9
Q1	1.70	6.27	22.7	78.6	192	242	113	22.6	7.30	3.76	1.64	0.75	
Q3	0.35	3.43	10.5	45.2	111	167	66.4	12.1	4.49	1.72	0.70	0.23	

La station du Mayo Rey à Tchollire contrôle un bassin de 5 240 km². Sur 5 années seulement, on a un module interannuel de 49,5 m³/s, soit un débit spécifique de 9,4 l/s.km². Cette valeur est en rapport avec la baisse de pluviométrie notée sur le bassin par rapport à celui de la Bénoué. Les pentes et le relief sont un peu moins accusés que sur la Bénoué et le débit maximum de crue observé sur la période est de 1 100 m³/s, soit 210 l/s.km². La période de basses-eaux est marquée par un tarissement complet du Mayo Rey pendant au moins un mois pour les années observées, généralement avril, parfois mai.

Plus à l'aval, la station de Riao est observée depuis 1950 ; elle fait partie comme celle du Buffle Noir du réseau d'Annonce des Crues de la Bénoué. Elle est située quelques kilomètres en aval de Lagdo et contrôle aujourd'hui encore les débits sortant de la retenue.

A Riao, le bassin de la Bénoué est de 30 650 km². Le module interannuel est de 250 m³/s, soit 8,16 l/s.km². Les modules extrêmes relevés sont de 99 m³/s en 1972-73, soit 3,23 l/s.km² et 386 m³/s, soit 12,6 l/s.km². Les débits moyens mensuels les plus élevés sont ceux de septembre (1 268 m³/s en moyenne) puis août et octobre. Le maximum de crue survient le plus souvent en septembre. Il a atteint 3 428 m³/s en 1966, soit un débit spécifique de 112 l/s.km². La probabilité d'observer un étiage nul n'est pas négligeable. Ainsi, de 1958 à 1963, on aurait observé des périodes de tarissement complet pouvant dépasser 3 mois en février, mars, avril et mai. On peut s'interroger sur la notion d'écoulement nul retenue

Tableau 10.5. – Bénoué à Riao.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1950-51				130	878	1213	631	74	16.2	8.30	3.20	0.80	
51-52	0.37	2.90	30.5	151	697	992	619	157	39.0	–	–	–	
52-53	–	–	–	–	–	–	–	–	–	9.90	3.80	1.23	
53-54	0.54	12.5	47.0	285	682	869	430	46.0	11.0	*6.00*	2.50	1.40	*199*
54-55	0.89	2.56	31.5	305	540	1533	785	98.0	23.4	8.20	2.76	0.50	285
55-56	*0.30*	3.75	40.2	259	1034	1826	1148	156	49.0	25.4	*12.0*	*6.40*	*380*
56-57	*0.40*	*5.00*	*50.0*	223	670	1493	928	101	37.0	17.4	7.30	1.57	*294*
57-58	0.45	7.90	113	264	768	1243	769	91.0	16.7	1.77	0.19	0	273
58-59	0	0.17	15.2	194	484	937	395	45.0	7.30	1.00	*0.15*	0	*173*
59-60	0	1.51	20.0	84.0	327	1735	262	27.0	*6.00*				
60-61	0			318	1282	2162	875	121	–				
61-62	0			477	808	1575	278	90.0	–				
62-63		0.4	38.0	82.0	966	1913	680	70.0	10.7	2.10	0.10	0.0	
63-64	0.20	1.90	7.00	268	1238	1116	558	88.0	18.7	5.90	2.20	0.70	275
64-65	2.40	6.74	23.3	206	539	1520	547	109	28.3	7.86	3.52	1.45	250
65-66	0.47	1.90	35.1	143	985	1130	250	39.3	8.57	2.28	0.60	0.03	216
66-67	0.0	14.4	86.6	134	806	1710	367	72.4	15.7	7.44	3.89	1.98	268
67-68	1.43	3.86	19.4	188	476	947	413	40.3	11.6	5.56	2.97	1.27	176
68-69	0.42	3.60	12.0	319	907	1135	428	93.6	45.7	8.68	4.82	2.01	234
69-70	4.52	11.8	56.9	346	1380	1562	717	145	49.7	7.76	3.98	1.67	386
70-71	0.60	0.36	10.9	159	1370	1660	361	77.1	63.6	9.91	5.05	2.62	310
71-72	0.88	0.13	13.0	199	844	1190	168	28.7	9.24	5.16	3.29	1.37	205
72-73	1.49	5.24	29.2	133	386	328	239	28.0	6.61	17.7	11.8	6.77	99.4
73-74	0.57	9.32	36.5	145	704	925	210	34.5	10.6	3.36	0.72	0.0	173
74-75	0.0	5.80	5.24	233	748	805	691	122	48.3	5.75	4.10	2.71	223
75-76	1.75	2.10	5.64	290	1283	1678	*643*	142	63.0	8.09	5.71	4.36	*344*
76-77	3.31	4.43	43.7	268	821	609	583	161	17.3	6.72	4.66	3.07	210
77-78	1.84	1.46	15.7	231	852	1154	249	30.4	10.0	6.23	4.59	3.07	213
78-79	4.91	16.4	42.3	217	1002	1762	487	72.5	30.0	13.1	8.16	6.05	305
79-80	4.95	*16.9*	49.4	143	515	459	147	26.4	*8.2*				
80-81				275	1104	844	306	64.1					
MED.													
ET.													70.8
MOYE.	1.46	5.50	33.7	230	837	1268	506	81.7	24.5	8.06	2.08	2.48	250
Q_1													
Q_3													

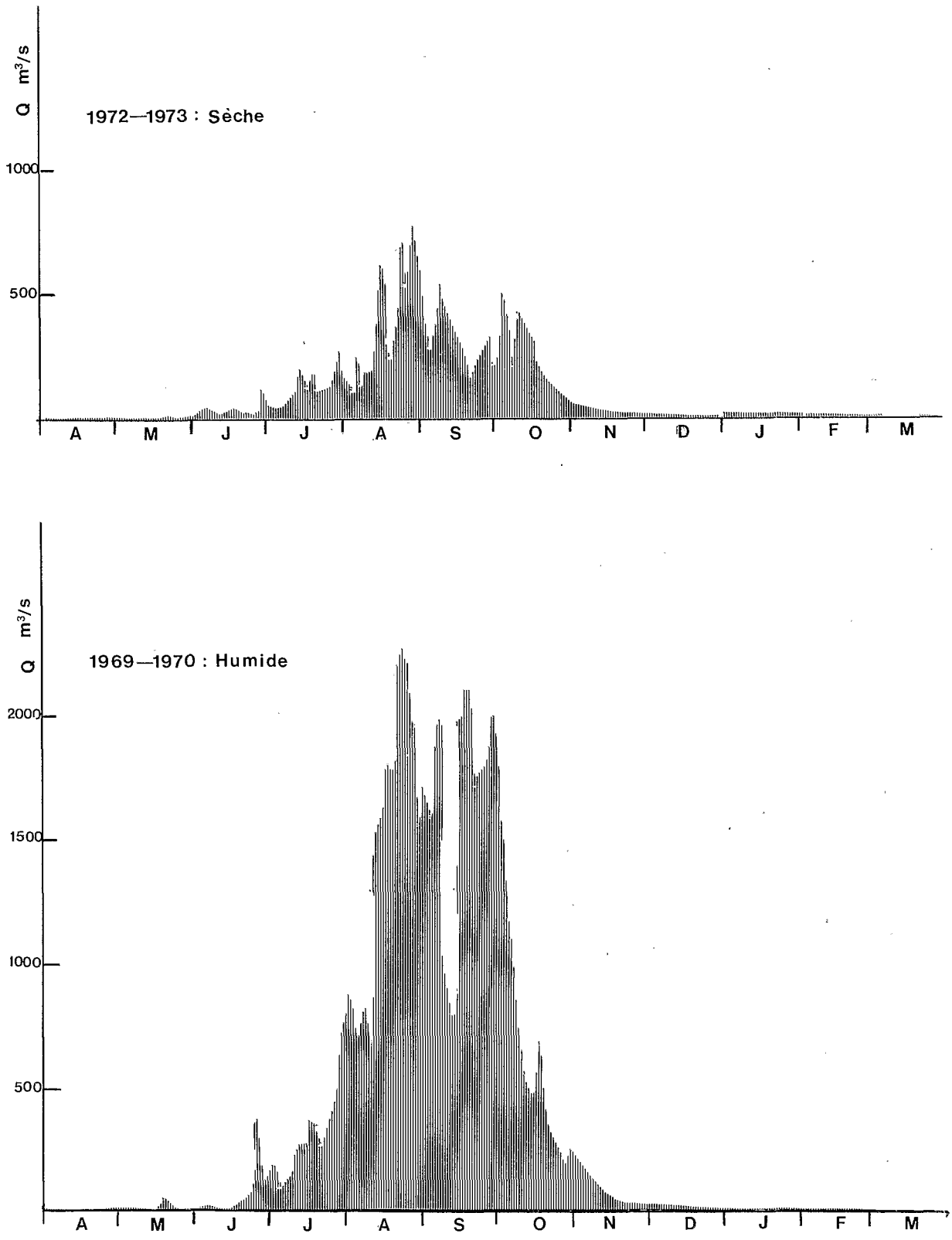


Fig. 10.5. – Débits moyens journaliers.
Bénoué à Riao.

Tableau 10.6. – Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Mayo-Rey à Tchollire.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1974-75										0.90	0.39	0.06	
75-76	0.0	0.49	1.14	46.1	359	375	122	14.8	2.69	0.78	0.23	0.06	76.9
76-77	0.0	0.32	8.17	43.4	188	175	151	39.3	5.58	1.31	0.38	0.10	51.0
77-78	0.01	0.0	1.41	37.4	126	170	31.7	3.37	0.63	0.20	0.05	*0.40*	*30.9*
78-79	1.72	1.32	2.30	16.7	262	354	112	20.0	3.49	1.04	0.24	0.05	64.6
79-80	0.0	0.70	4.73	23.6	123	88.1	36.5	3.57	1.10				
MOY.	0.35	0.57	4.15	34.0	212	232	90.6	16.2	2.70	0.85	0.26	0.13	49.5

Mayo-Oulo à Golombe.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1971-72					34.6	41.5							
72-73	0.0	0.83	6.04	19.6	41.6								
73-74	0.0	0.0	2.58	13.1	28.5	42.8	18.6	3.01	0.0	0.0	0.0	0.0	9.05
74-75	0.0	0.02	1.48	9.26	11.8					0.0	0.0	0.0	
75-76	0.0	0.0	13.2	21.0	47.5	61.2	20.3	8.17	0.62	0.0	0.0	0.0	14.3
76-77	0.0	2.39	7.38	25.2	34.2	24.5	35.1	8.27	3.48	0.0	0.0	0.0	11.7
77-78	0.0	0.0	10.3	19.6	22.7	44.7	13.4	4.85	0.0	0.0	0.0	0.0	9.62
78-79	8.74	8.39	9.52	25.7	47.8	27.3							
MOY.	1.25	1.66	7.21	19.1	33.6	40.3	21.8	6.08	1.03	0.0	0.0	0.0	11.0

Mayo-Louti à Figuil.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1974-75	0.0	14.5	9.74	53.1	82.2	93.3	35.4	7.50	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6
75-76	0.0	35.9	42.0	86.6	112	168	10.7	3.10	2.00	0.0	0.0	0.0	38.4
76-77	0.0	10.1	10.7	61.5	62.7	33.2	61.1	2.93	2.31	0.0	0.0	0.0	22.1
77-78	2.72	2.85	4.65	34.9	128	30.7	12.2	1.08	2.59	1.03	0.04	0.02	18.2
78-79	2.07	4.23	7.27	57.1	71.0	34.2	5.56	1.43	0.0	0.00	0.0	0.00	15.1
79-80	0.00	64.8	73.6	151	171	120	51.0	28.7					
MOY.	0.80	22.1	24.7	73.5	104	79.9	29.3	7.46	1.38	0.21	0.1	0.00	28.6

Tableau 10.6a

Année	1955	1956 ... 1970	1971 ... 1973 ... 1974	1975	1976	1977	1978	1979
Date		13/9 18/9	8/9 – 11/9	2/9	12/8	26/8	18/7	28/8
Q Max instantané	> 1 200	970 (695)	> 732 > 1 000	> 2 000	1 100	1 250	(910)	(680)
Q journalier max	–	– 538	566 – 560	(1 800)	874	900	680	521

par l'observateur. Toujours est-il que des périodes sans écoulement de quelques jours à 3 semaines ont été observées dans les années soixante dix. La courbe médiane des débits classés montre que le débit de 16,5 m³/s n'est dépassé que pendant six mois, celui de 258 m³/s pendant 3 mois seulement. Les débits dépassés pendant un jour montrent, par rapport aux débits instantanés, des hydrogrammes de crue nettement moins aigus qu'au Buffle Noir (3 330 m³/s pour un débit de pointe observé de 3 440 m³/s), ce qui est normal en regard de la taille des bassins.

2.3.2. Le bassin du Mayo Kébi

2.3.2.1. Les affluents camerounais de rive droite

Les principaux affluents nord du Mayo Kébi sont de l'amont vers l'aval les mayos Binder, Louti et Oulo. Le premier, étudié au début des années 50 à Mombaroua, offre peu de données et n'a pas été repris ici. Le second, le **Mayo Louti**, a été suivi à la station de Figuil dès 1951 (cf. historique en annexe) mais sans permettre d'obtenir de relevés continus, même à partir de 1956 où un limnigraphe était installé, mais a mal fonctionné. De 1970 à 1974, on dispose aussi de relevés incomplets. Le tableau 10.6 ne donne les débits moyens mensuels et annuels du Louti que pour 6 années complètes seulement (1974-1975 à 1979-1980). Sur ces 6 années, le module moyen est de 28,6 m³/s, soit 5,2 l/s.km² ; sur 5 modules complets ce module tombe à 23,7 m³/s. Le mois d'août paraît être le mois à débit mensuel le plus élevé, mais nos réserves tiennent au poids de quelques fortes crues ; on pourrait attribuer ce 1er rang à septembre pour un échantillon plus long...

Les crues sont violentes et nous avons résumé ci-après les valeurs des plus fortes crues annuelles observées (tableau 10.6a).

Les débits spécifiques de crue pourraient être de 180 l/s.km² en moyenne et dépasser parfois 400 l/s.km².

La période sèche se manifeste le plus souvent par une absence d'écoulement pendant de longs mois :

- 8 mois et demi à la saison sèche 70-71 de la mi-octobre à début juin ;
- 5 mois à la saison sèche 74-75 et en moyenne pendant 3 mois.

Mais on a observé aussi des années sans tarissement complet du Louti, le débit insignifiant ne correspondant alors qu'à l'émergence d'un inféro-flux à la station dont le lit se modifie d'une année à l'autre.

Pour le **Mayo Oulo** à Golombe, l'échantillon de données n'est pas meilleur. La station à été mal suivie, déplacée ; le lit du mayo se modifie après chaque crue et les multiples mesures de débit n'ont permis de valoriser que quelques années de relevés seulement. Sur 7 années incomplètes, on n'a que 4 modules annuels. Le module moyen est de 11 m³/s, ce qui nous donnerait un module spécifique de 9,5 l/s.km². Septembre est le mois de plus fort écoulement pour l'échantillon dont on dispose. Une période sans écoulement est généralement observée pendant quatre à cinq mois, de décembre à mai. Les maximums de crue sont difficiles à estimer ; les jaugeages n'ont été effectués que pour des débits maximums de 350 m³/s. Le maximum de la crue annuelle doit se situer entre 400 et 500 m³/s. La crue du 21 octobre 1976 a certainement dépassé 900 m³/s (le débit moyen journalier est de 303 m³/s) et la probabilité de telle crue n'est peut-être pas vraiment très exceptionnelle. Le débit spécifique de cette crue aurait été de 800 l/s.km², le débit spécifique médian étant de l'ordre de 400 l/s.km².

Il est évident que les données se rapportant aux Mayos Oulo et Louti sont insuffisantes pour proposer une description et une interprétation de leurs régimes. On retiendra leur caractère torrentiel d'oued avec des crues violentes au pouvoir érosif puissant se rattachant à ce qui sera décrit plus loin pour le haut-bassin du Mayo Tsanaga, la durée limitée des écoulements dans l'année, mais des lames écoulées non négligeables. A ces mayos de régime tropical se rattachent le Mayo Binder, quoique sans reliefs aussi prononcés, le petit Mayo Goulongo et surtout le Mayo Tiel.

2.3.2.2. Le Mayo Kébi à Cossi

Nous disposons des observations de vingt-cinq années calendaires à la station de Cossi qui a remplacé celle de Famou plus en aval et d'étalonnage complexe.

Tableau 10.7. – Mayo-Kebi à Cossi.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1954-55										29.9	13.4	4.67	
55-56	2.10	0.43	76.2	126	319	496	210	168	114	46.5	12.0	3.00	131
56-57	1.00	0.11	40.8	107	313	363	150	86.1	76.2	27.4	10.3	3.30	98.6
57-58	1.52	16.4	55.9	178	307	321	200	76.5	31.9	16.6	6.13	3.06	102
58-59	0.69	11.8	72.2	106	322	299	108	31.5	17.8	6.45	2.04	0.51	81.9
59-60	0.00	26.3	84.7	114	137	473	127	168	72.5	22.0	5.69	1.20	102
60-61	0.09	11.8	63.7	265	411	580	139	127	93.7	37.1	10.5	2.96	146
61-62	0.70	0.09	61.2	237	203	589	160	98.8	34.4	8.12	1.47	0.07	116
62-63	0.00	0.00	56.6	105	277	393	167	75.2	91.2	38.2	11.4	2.18	102
63-64	0.46	6.07	50.4	122	556	335	310	109	40.4	13.7	6.03	2.37	130
64-65	11.8	9.11	69.8	102	148	285	89.0	43.1	40.7	16.1	5.30	2.27	68.7
65-66	0.42	0.01	21.9	178	491	308	96.5	8.54	0.88	0.01	0.00	0.00	92.9
66-67	0.27	7.49	37.2	82.8	268	321	110	109	58.6	23.6	7.05	2.30	85.9
67-68	0.50	0.00	18.3	201	234	323	83.2	37.9	31.5	15.9	6.41	2.69	79.8
68-69	1.35	2.92	109	164	243	297	73.7	20.9	13.8	6.22	3.73	1.92	78.4
69-70	1.30	0.12	57.4	141	425	505	409	201	89.7	42.8	14.8	5.46	159
70-71	1.60	3.93	29.9	79.3	339	426	523	198	78.1	27.3	12.5	5.54	145
71-72	1.70	0.49	27.2	151	279	399	103	61.1	27.6	14.0	7.10	2.87	89.6
72-73	0.83	18.6	126	151	267	201	129	30.5	16.5	10.8	4.93	2.28	80.4
73-74	0.88	0.22	26.0	193	463	341	88.8	21.8	7.05	2.75	1.05	0.14	96.2
74-75	0.04	3.93	5.32	79.8	204	225	104	31.9	10.4	3.14	1.15	0.04	56.1
75-76	0.00	11.1	35.4	162	394	538	103	59.3	73.8	35.2	12.7	4.69	119
76-77	2.01	14.5	10.6	126	215	147	176	40.2	20.8	9.80	5.97	4.13	64.4
77-78	2.45	2.09	7.53	69.0	363	295	29.8	6.47	4.43	2.74	1.80	1.49	65.5
78-79	1.46	8.76	19.3	191	249	209	133	97.3	55.6	20.3	8.50	4.30	83.1
79-80	2.98	2.78	51.4	148	236	158	50.8	13.6	4.77				
MED.	0.77	3.93	53.1	133.5	293	338	128	68.1	37.4	16.3	6.27	2.33	
ET.	2.43	7.50	30.6	49.9	110	124	112	59.0	33.4	13.8	4.51	1.68	27.7
MOYE.	1.44	6.36	48.5	143	307	353	155	76.9	44.2	19.5	6.88	2.52	97.0
Q1	1.52	11.8	69.8	178	394	473	176	109	76.2	29.9	11.4	3.06	
Q3	0.30	0.12	27.2	106	234	299	103	31.9	17.8	8.12	3.73	1.20	

Sur la période 1955-1980, le module moyen est de 97,0 m³/s, soit de 3,88 l/s.km². Les valeurs spécifiques extrêmes sont de 2,24 et 6,36 l/s.kmS2.

Le mois à débit moyen le plus élevé est, sans conteste, le mois de septembre (débit moyen : 353 m³/s, soit 14,1 l/s.km²). Le mois de débit mensuel le plus faible est le mois d'avril avec 1,44 m³/s en moyenne. L'écoulement peut s'arrêter complètement pendant ce mois d'avril. Il est relativement fréquent d'observer des débits nuls de février, mars à mai et chaque année, pratiquement, l'écoulement s'arrête. En 1966, l'écoulement s'est arrêté du 5 janvier au 29 avril et il y a encore eu 6 jours sans écoulement en mai. En principe, en dehors des quelques jours sans écoulement, le Kébi montre des débits relativement soutenus en étiage du fait de la lente vidange du lac de Léré.

Les crues du Kébi, à moin qu'elles ne découlent directement de fortes crues du Mayo Louti, sont amorties par le lac de Léré et ne présentent pas d'hydrogrammes très aigus. Le débit maximum est de 996 m³/s, soit 40 l/s.km² ; le maximum maximorum observé est de 1 554 mS3/s, soit 62 l/s.km².

L'étude des débits journaliers classés montre que le débit caractéristique atteint ou dépassé pendant six mois est de 38,4 m³/s, soit moins de la moitié du module mais nettement plus qu'à Riao dont le module est pourtant 3 fois supérieur.

Cela traduit bien les apports du Kébi différés par le stockage dans les lacs de son cours moyen.

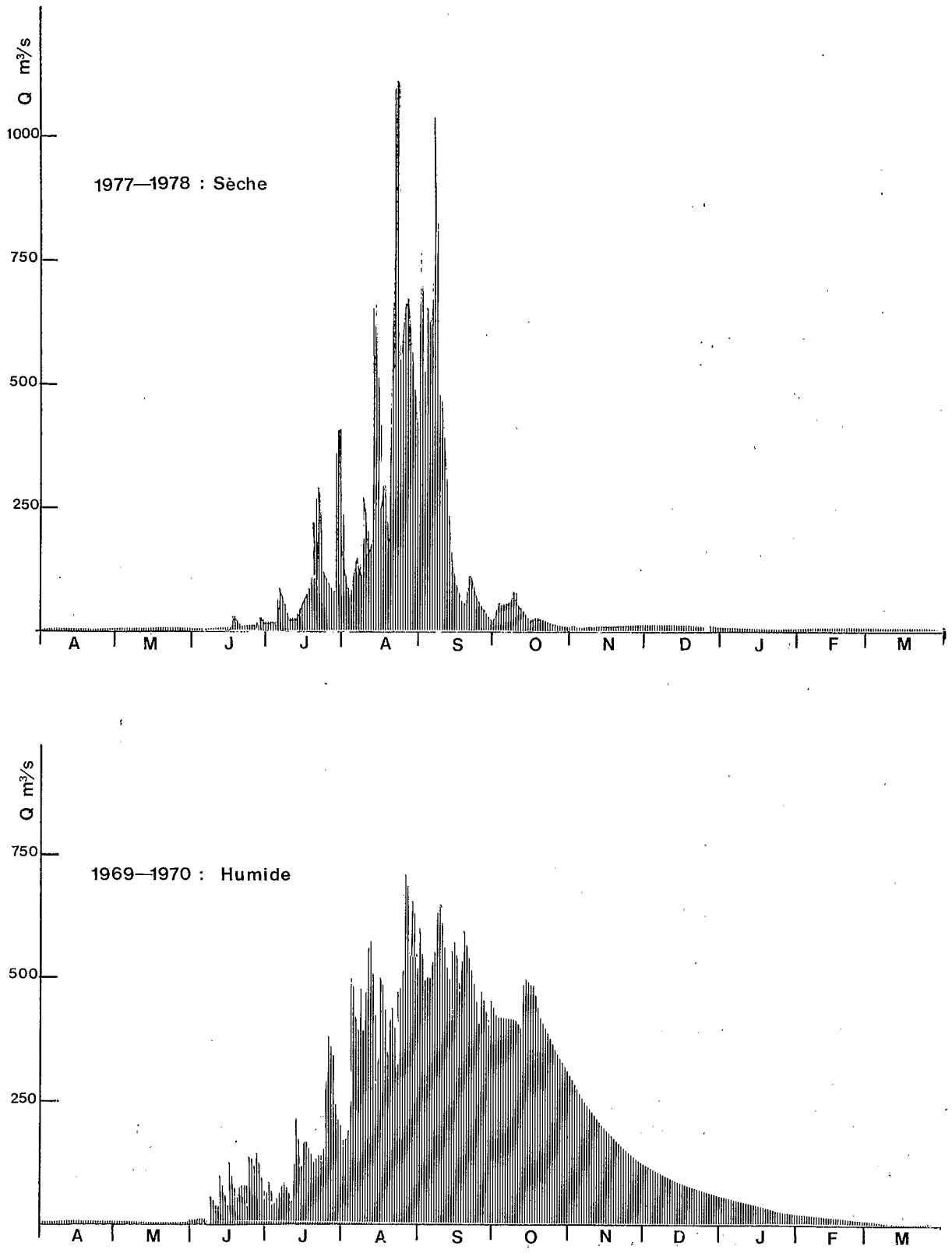


Fig. 10.6. – Débits moyens journaliers Mayo-Kebi à Cossi.

Tableau 10.8. – Débits extrêmes.

Année	Riao				Mayo Kébi			
	Etiage absolu		Débit maximum		Etiage absolu		Débit maximum	
	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit
1950-51	18/4	0.22	04/9	2472				
51-52	17/4	0.16	16/9	1557				
52-53	01/5	0.19	21/9	2167				
53-54	23/4	0.62	30/8	2692				
54-55	21/3	0.45	31/8	3248	24/5	0		
55-56			06/9	3121	14/5	0	08/9	1082
56-57	30/4	0.08	8/10	2854	14/5	0	14/9	1010
57-58	10/2	0	06/9	2387	19/4	0	30/8	837
58-59	07/2	0	29/9	1652	01/4	0	20/8	1038
59-60	22/1	0	18/9	2949	13/4	0	17/9	1138
60-61	13/3	0	21/9	2798	23/4	0	13/8	1554
61-62	24/2	0	09/9	2162	10/3	0	05/9	1430
62-63	17/3	0	05/9	2546	28/4	0.30	05/9	760
63-64	07/4	1.80	04/9	2400	11/4	0.74	12/8	1094
64-65	21/4	1.94	20/9	2699	05/5	0	24/9	647
65-66	28/4	0.02	05/9	2546	05/1	0	11/8	1130
66-67	19/4	0.36	09/9	3428	25/4	0	07/9	1190
67-68	26/4	0.17	15/9	2234	11/5	0.43	13/9	914
68-69	21/3	1.34	08/9	2461	01/5	0	24/8	1230
69-70	28/4	0	24/8	2304	17/5	0.16	29/8	819
70-71	15/5	0.04	04/9	2990	13/5	0.16	21/8	759
71-72	05/5	0.52	07/9	2100	26/4	0.43	08/9	740
72-73	13/5	0	28/8	778	04/6	0	31/8	626
73-74	22/4	0.12	15/9	2233	01/5	0	17/8	1058
74-75	03/5	0	02/8	1386	09/3	0	12/9	571
75-76	06/5	1.06	22/8	2749	09/9	0.68	02/9	1302
76-77	30/4	0	22/8	1708			12/8	1004
77-78	07/4	0.82	10/9	1836				
78-79	21/4	4.05	29/8	2625				
79	21/4	4.05	26/8	1115				

Les hydrogrammes du Kébi montrent généralement une forme très dentelée pendant la saison des pluies correspondant à la succession de crues des différents affluents camerounais et du Kébi amont quelque peu retardées et amorties par les lacs. Le débit de base reste relativement faible entre ces crues. Octobre voit généralement une crue plus étalée provenant de débits plus soutenus par le remplissage continu du lac de Léré par les lacs Toubouri ; en novembre, les prélèvements du Logone aux seuils de Ere et de Dana parviennent à Cossi et se manifestent par une bosse dans l'hydrogramme. Ces apports du Logone concernent en année humide un volume de 1 milliard de m³, en année moyenne seulement 300 millions de m³ ; en année sèche, il n'y a pas capture.

2.3.3. La Bénoué à Garoua

La Bénoué était observée au port de Garoua pendant la saison de hautes-eaux depuis 1930. C'est seulement depuis juillet 1949 que les observations sont pratiquement continues. Les débits moyens

Tableau 10.9. – Bénoué à Garoua.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1949-50	0.02	6.0	30.1	240	1075	1420	460	122	41.5	11.8	3.0	0.52	*284*
50-51	1.0	26.1	50.6	202	1045	1434	671	188	74.8	32.2	15.6	7.10	*314*
51-52	4.20	34.2	51.1	205	968	1351	843	209	36.9	12.4	7.19	1.36	310
52-53	0.53	10.9	60.4	213	731	1208	916	183	78.2	31.7	14.1	6.10	288
53-54	2.50	39.1	87.8	422	818	1160	557	97.0	32.4	14.0	5.10	1.80	224
54-55	1.20	8.80	108	449	584	1980	1048	218	98.0	41.3	18.6	6.20	380
55-56	4.60	9.10	95.9	347	1357	2345	1561	342	145	40.0	16.8	8.20	523
56-57	5.50	4.40	33.4	238	958	1874	1161	157	74.0	40.0	20.0	10.0	382
57-58	3.20	15.0	161	393	1037	1684	1082	189	73.0	35.0	19.1	7.30	392
58-59	1.50	15.8	82.0	294	689	1392	670	108	49.0	30.0	17.4	8.60	280
59-60	5.60	26.6	121	223	452	2157	617	161	41.0	26.0	*14.0*	*7.0*	321
60-61	*5.0*	*12.0*	*90*	579	1864	2803	1204	278	121	44.0	15.1	6.40	638
61-62	*2.0*	*2.0*	*58.0*	739	992	2523	572	158	48.0	*30*	*15*	*8.0*	429
62-63	*0.29*	*3.3*	104	203	1126	2373	1091	162	79.0	35.0	16.3	6.80	459
63-64	*3.0*	15.7	39.0	357	724	1833	958	225	63.0	31.0	16.6	8.40	356
64-65	10.7	13.7	49.5	283	681	1720	851	188	71.5	33.7	17.1	6.10	328
65-66	1.07	2.42	98.5	307	1770	1600	432	82.3	30.2	15.2	6.16	2.09	362
66-67	1.98	35.2	158	234	913	2380	555	186	57.9	29.5	15.5	4.67	382
67-68	2.89	4.90	39.9	356	735	1440	598	88.9	50.4	24.5	11.1	3.39	280
68-69	1.06	10.2	119	438	1080	1810	515	90.6	37.2	16.8	8.03	3.29	344
69-70	4.27	16.8	95.1	414	1910	2270	1220	290	82.6	31.7	13.5	3.65	530
70-71	2.38	1.59	23.0	202	1550	2330	896	222	51.4	26.6	11.3	3.49	443
71-72	1.05	0.30	15.8	276	1080	1670	300	65.3	27.9	15.2	7.78	3.17	326
72-73	1.78	9.29	120	256	584	516	319	69.6	26.0	4.47	1.26	0.28	158
73-74	0.21	1.68	3.24	246	1250	1340	346	58.2	14.2	6.54	2.32	0.71	272
74-75	0.23	10.1	6.85	224	935	1045	792	111	32.0	17.2	9.21	4.77	266
75-76	1.03	3.42	19.4	276	1637	2382	907	109	40.2	36.4	16.9	6.52	453
76-77	2.88	9.85	40.3	295	895	713	673	235	73.3	*24.9*	9.77	3.88	248
77-78	0.84	10.0	22.1	274	984	1520	276	28.1	9.25	3.42	1.16	1.0	260
78-79	0.50	22.6	56.0	366	1042	2043	609	160	57.7	12.2	3.41	1.12	398
79-80	6.13	11.6	48.6	242	706	692	226	40.4	13.7	*9.0*	*3.2*	*1.2*	*221*
80-81				410	1575	1374	443	103	20.5				*341*
MED.													
ET.													101
MOYE.	2.8	12.9	91.2	319	1055	1699	730	154	54.8	24.5	11.9	4.84	350
Q_1													
Q_3													

mensuels et modules ont été indiqués dans le tableau 10.9. La moyenne des 32 modules de la période 1949-80 est de 350 m³/s, soit 5,78 l/s.km².

96 % de l'écoulement de la Bénoué transite à Garoua entre le 1er juin et le 30 novembre (6 mois). Septembre représente 40 % des apports annuels et août septembre, environ les 2/3 (64,4 %).

A partir des relevés disponibles pour les années 1930-49, on a tenté une reconstitution des modules (A), sur la base du poids des différentes périodes de hautes-eaux. Une autre approche (B) de ces modules avait été faite à partir des modules observés à Yola et de l'estimation des précipitations sur le bassin de Garoua en 1958 (Amélioration de la Navigabilité de la Bénoué, ORSTOM-E.D.F.) lorsque trop de débits mensuels manquaient.

Nous donnons les estimations faites à titre comparatif dans le tableau ci-après (tableau 10.9a) :

Tableau 10.9a

Année	A	B	Année	A	B
1930-31	385	420	1940-41	-	-
31-32	510	510	41-42	335	315
32-33	365	365	42-43	345	350
33-34	350	350	43-44	410	510
34-35	365	380	44-45	265	240
35-36	375	450	45-46	290	290
37-37	370	400	46-47	455	505
37-38	-	-	47-48	365	345
38-39	325	325	48-49	585	555
39-40	295	280	moy.	(376)	(388)

soit sur 49 ans avec A : $\bar{Q} = 359$ m³/s
avec B : $\bar{Q} = 363$ m³/s.

On retiendra sur 49 ans un module moyen de 360 m³/s, soit 5,95 l/s.km².

Les modules extrêmes sont de 158 m³/s en 1972-73 (ou 2,61 l/s.km²) et de 638 m³/s (ou 10,55 l/s.km²) et varient dans un rapport de 1 à 4.

Mauvaise adéquation de l'étalonnage de très basses-eaux ou appréciation subjective de l'observateur ont conduit à noter des écoulements nuls en 1948, 49 et 50. Bresson et al., (1952b) ne signale pas d'arrêt de l'écoulement et les observations qui ont été faites au cours des trente dernières années semblent indiquer que la probabilité d'écoulements nuls est extrêmement faible. Les débits minimaux sont de l'ordre de la centaine de litres/seconde et nous verrons plus loin la signification de tels étiages.

Le débit maximum de crue observé est de 6 130 m³/s, soit 101 l/s.km² ; le débit journalier correspondant à cette crue du 26 août 1948 est de 5 970 m³/s. La crue moyenne atteindrait 3 000 m³/s, soit 50 l/s.km² et la crue la plus faible observée n'a atteint que 1 062 m³/s, soit 17,6 l/s.km².

L'étude des débits caractéristiques montre qu'en moyenne le débit non dépassé pendant 6 mois n'est que de 57,5 m³/s, soit seulement le 1/6 du module.

2.3.4. Le Faro à Safaie et Djelepo

Les débits moyens mensuels et les modules du Faro à Safaïe ont été reportés dans le tableau 10.11. Depuis l'abandon de cette station pour celle de Djelepo, les observations faites à Djelepo n'ont pu être valorisées faute d'un étalonnage complet de la nouvelle station. Ceci limite considérablement la taille de l'échantillon des débits et sa représentativité. Certaines données ont été reprises et adaptées de publications anciennes (Amélioration de la Navigabilité de la Bénoué, op. cit.) et indiquées en italiques dans le tableau 10.11.

Sur un échantillon de 15 années ainsi obtenu, la moyenne des modules est de 310 m³/s, soit un module moyen spécifique de 13,2 l/s.km². Les modules 61-62 de 200 m³/s et 68-69 de 190 m³/s paraissent anormalement bas au regard des modules correspondants sur la Bénoué à Garoua. L'échantillon de 11 années complètes admet une moyenne de 305 m³/s.

En comparant la moyenne du Faro sur 15 ans à celle obtenue sur Garoua pour les mêmes années, soit 394 m³/s, qui indique une période nettement excédentaire (moyenne sur 49 ans de 360 m³/s), il paraît raisonnable d'évaluer le module interannuel à 290-300 m³/s, soit un module spécifique interannuel de 12,3 — 12,8 l/s.km². On retiendra pour la suite la valeur de 12,5 l/s.km². Les valeurs extrêmes observées sont de 190 m³/s, soit 8,1 l/s.km² et de 448 m³/s, soit 19,1 l/s.km² dans un rapport voisin de 2,4.

Le mois au débit moyen le plus élevé est celui de septembre mais il ne représente plus que 30 % du volume annuel écoulé. L'écoulement entre le 1er juin et le 1er décembre (6 mois) représente en moyenne 94 % de l'écoulement annuel. C'est dire que là aussi la saison sèche est bien marquée. Cependant les étiages sont assez soutenus ; le débit mensuel le plus faible (mars) est de 8,66 m³/s en moyenne et le débit caractéristique moyen non dépassé pendant 10 jours (DCE) est de 5,37 m³/s. L'étiage absolu le plus faible observé sur l'échantillon dont nous disposons est de 0,87 m³/s, soit 0,037 l/s.km².

Les maximums annuels de crue sont en moyenne de l'ordre de 3 000 m³/s, soit 128 l/s.km². Le maximum observé sur 14 ans est 3 770 m³/s (160 l/s.km²) en 1954. Le minimum relevé en 1958 n'a atteint que 1 690 m³/s (72 l/s.km²). Le débit caractéristique journalier maximum est en moyenne de 2 302 m³/s, ce qui donne une idée du caractère digne de l'hydrogramme de la crue maximale annuelle, traduit par le rapport $Q_{MAX}/D_{MAX} = 1,3$. Le débit non dépassé pendant 6 mois est en moyenne de 98,3 m³/s, soit le 1/3 du module.

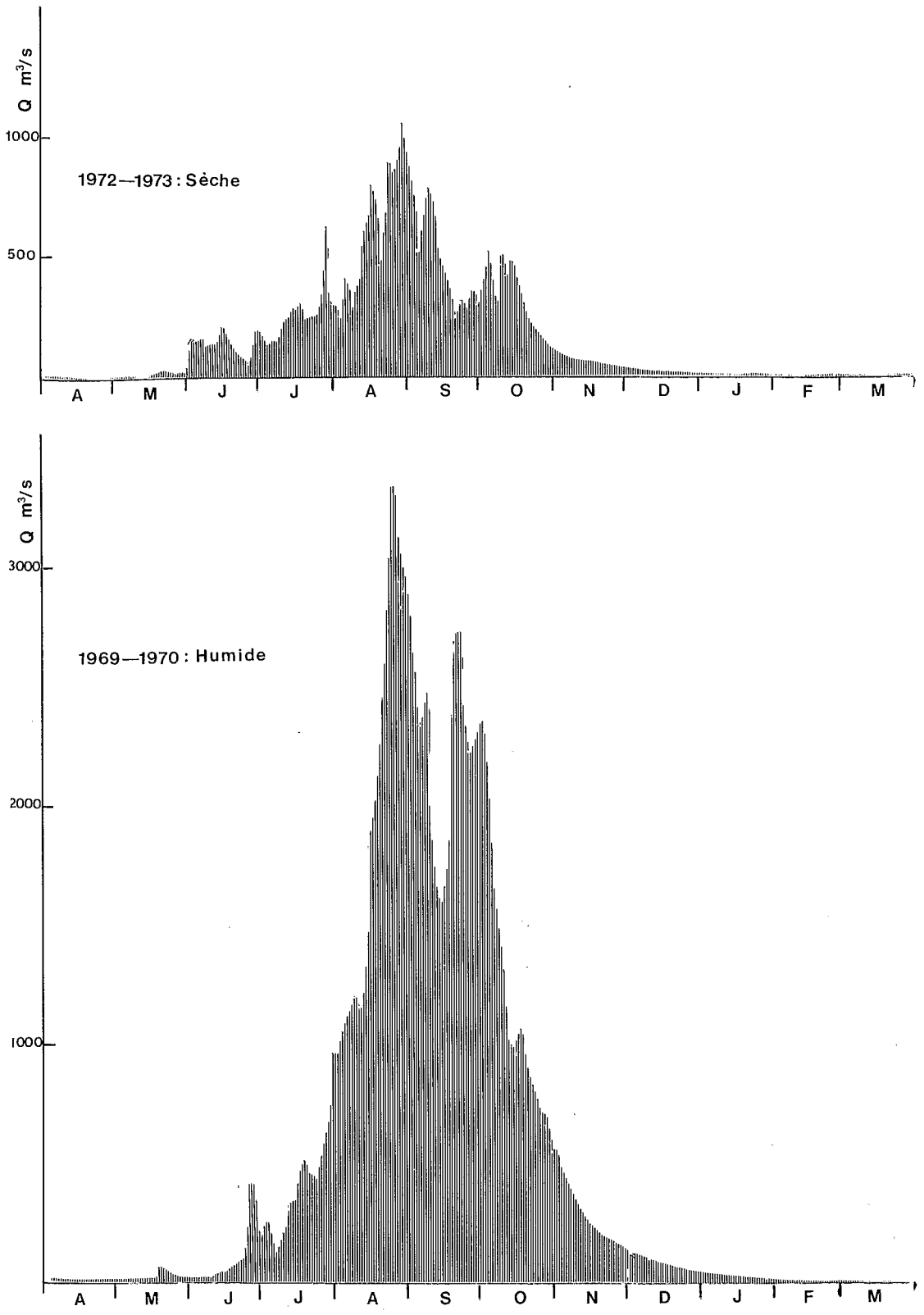


Fig. 10.7. – Débits moyens journaliers
Bénoué à Garoua.

Tableau 10.10. – Débits extrêmes.
Bénoué à Garoua.

Année	Etiage absolu		Débit maximum		Année	Etiage absolu		Débit maximum	
	Date	Débit	Date	Débit		Date	Débit	Date	Débit
1930-31			13/9	2216	1954-55	25/4	1.51	03/9	3049
31-32			11/9	3896	55-56	01/6	1.89	07/9	3467
32-33			07/9	3030	56-57	05/5	1.19	18/9	3181
33-34			24/9	3896	57-58	16/4	1.23	08/9	2628
34-35			27/8	3410	58-59	23/4	1.44	03/9	1864
35-36			07/9	4395	59-60	24/4	0.22	21/9	3975
36-37			16/9	3583	60-61	14/5	0.16	22/9	4334
37-38				-	61-62	20/4	0.18	13/9	3975
38-39			20/9	4214	62-63	20/4	0.53	07/9	3487
39-40			29/9	1773	63-64	12/4	1.05	04/9	3429
40-41				-	64-65	15/4	0.94	23/9	2750
41-42			06/9	3778	65-66	15/4	1.12	13/8	3583
42-43			02/9	3049	66-67	22/4	1.15	11/9	4395
43-44			19/8	3622	67-68	28/4	0.88	18/9	2917
44-45			04/9	1418	68-69	03/4	1.83	10/9	3181
45-46			12/9	3429	69-70	12/5	0.69	26/8	3352
46-47			4/10	4375	70-71	25/5	0.17	05/9	4314
47-48	*01/5*	0	11/9	3162	71-72	05/5	0.81	11/9	2356
48-49	*01/5*	0	26/8	5970	72-73	06/4	0.31	31/8	1062
49-50	*06/4*	0	29/8	2216	73-74	30/4	0.14	20/8	2398
50-51	08/5	0.15	19/9	1898	74-75	26/4	0.14	07/8	1512
51-52	25/4	0.40	27/9	2132	75-78	12/3	0.72	05/9	3945
52-53	08/5	0.74	25/9	1987	78-79	15/4	0.72	31/8	3595
53-54	01/5	0.99	02/9	2055					

Tableau 10.11. – Faro à Safaïe.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
53-54	*10.0*	*120*	*280*	*400*	*665*	*1150*	*1030*	*215*	*65*	*20.0*	*12.5*	*11.5*	*332*
54-55	*15.0*	*65.0*	*230*	*600*	713	1500	1410	240	85.6	41.4	20.7	9.74	*411*
55-56	19.9	63.4	238	634	997	1290	1350	294	80.7	39.0	21.8	16.4	422
56-57	28.9	45.7	339	596	625	1210	687	143	86.5	38.0	18.7	15.4	321
57-58	28.3	168	405	763	1020	1140	1210	353	131	70.7	33.1	15.9	448
58-59	41.6	107	192	367	470	902	542	198	51.8	23.5	10.1	2.11	243
59-60	10.4	92.0	257	522	496	997	403	91.0	27.2	11.9	3.97	1.00	243
60-61	24.0	53.0	198	674	1080	1280	896	278	63.3	27.0	9.27	1.85	384
61-62	1.75	14.8	133	460	348	880	429	83.0	27.8	*16.0*	*8.0*	*1.5*	*200*
62-63													
63-64													
64-65													
65-66	*18.0*	*63*	184	423	982	1080	438	104	53.0	31.6	18.7	8.34	*284*
66-67	19.2	114	324	384	706	1030	646	134	53.1	32.4	18.9	7.38	290
67-68	4.51	32.5	163	545	621	966	408	78.0	38.0	22.9	11.6	5.21	242
68-69	13.7	41.3	101	352	649	705	280	72.6	28.8	12.5	5.96	6.98	190
69-70	24.2	47.6	227	634	1080	1150	800	268	58.0	40.0	26.6	14.2	366
70-71	9.59	31.7	85.2	450	950	1210	335	99.0	31.7	10.9	10.1	5.50	270
71-72	8.07	9.1	49.7										
MED.	19.2	47.6	195	522	709	1110	594	138	53.1	31.6	18.7	7.38	
ET.	11.4	45.3	101	130	247	203	381	95.6	29.6	16.1	8.48	5.50	81.8
MOYE.	17.3	67.0	213	520	761	1103	724	177	58.8	30.7	15.9	8.66	310
Q1	26.2	99.5	257	634	997	1210	896	268	80.7	39.5	21.2	14.8	
Q3	8.83	32.1	133	403	621	966	408	91.0	31.7	17.7	9.68	3.66	

2.3.5. Conclusions

L'échantillon de données de base concernant les débits est, comme on l'a vu, loin d'être homogène tant par la taille que par la qualité. Certaines observations peuvent même être remises en question ; des étalonnages anciens ont dû parfois être corrigés. Il sera donc intéressant de rechercher au cours des prochaines années une information plus complète afin d'affiner l'interprétation des données qui va être proposée.

En ce qui concerne ce travail, en dehors des analyses fréquentielles pour lesquelles l'ensemble des échantillons disponibles et fiables sera exploité, nous nous efforcerons de comparer les bassins entre eux sur des périodes identiques aussi longues que possible.

Cela revient à dire que nous nous pencherons essentiellement sur les stations de Riao, Cossi et Garoua et secondairement sur celle du Buffle Noir.

L'apport des autres stations se limitera le plus souvent à des précisions qualitatives sur le régime des écoulements.

Tableau 10.12. – Débits extrêmes.

Année	Buffle Noir				Faro à Safaie			
	Etiage absolu		Débit maximum		Etiage absolu		Débit maximum	
	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit
1954-55					13/4	4.38	7/10	3770
55-56					23/3	8.76	8/10	3700
56-57	03/4	0.43	07/8	893	09/4	9.79	5/10	3330
57-58	01/4	0.46	14/8	1460	05/4	6.50	12/10	3190
58-59		-	27/9	990	31/3	0.95	25/9	1690
59-60						-	23/9	2890
60-61					10/4	0.87	20/9	3450
61-62			14/9	352		-	21/9	2500
62-63	09/4	0.39	04/9	378				
63-64	09/4	0.35	20/8	1880				
64-65	17/4	0.37	18/9	1270				
65-66	31/3	0.27	02/9	1270	05/4	4.38	02/9	3160
66-67	25/4	0.29	28/8	1330	10/4	3.10	15/9	2120
67-68	17/4	0.12	14/8	1610	12/4	2.30	27/9	3160
68-69			05/9	1770	04/4	2.69	06/9	2610
69-70	10/4	0.004	11/8	1820	14/4	2.90	21/8	2940
70-71	11/5	0	01/9	1690	01/4	3.32	15/9	3110
71-72	09/4	0.03	04/9	1380				
72-73	14/4	0	14/8	931				
73-74	08/4	0.02		-				
74-75	15/4	0.04		-				
75-76	01/4	0.15		-				
76-77	18/4	0.05		-				
77-78	02/4	0.05		-				

Tableau 10.13. – Valeurs représentatives des débits caractéristiques.

	D_{MIN}	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	D_{MAX}
Bénoué à Riao									
Moyenne		0.59	0.85	4.27	20.2	278	1061	1652	2326
Maximum		2.09	4.05	19.3	75.0	818	1720	2420	3330
Q1		0.72	1.38	5.07	24.7	345	1450	2090	2740
Médiane		0.35	0.72	3.37	16.5	258	935	1670	2350
Q3		0.0	0.12	1.64	11.0	173	800	1260	2080
Minimum		0.0	0.0	0.0	5.10	91.5	361	556	774
Mayo Kébi à Cossi									
Moyenne		0.18	0.51	4.67	38.4	145	345	537	862
Maximum		1.19	1.76	14.8	88.5	294	492	758	1180
Q1		0.31	0.97	5.41	49.4	170	408	608	1060
Médiane		0.0	0.26	4.43	37.6	122	328	552	845
Q3		0.0	0.0	2.81	23.5	108	268	456	710
Minimum		0.0	0.0	0.0	2.11	83.1	217	323	501
Bénoué à Garoua									
Moyenne		0.93	1.60	9.34	57.5	421	1457	2184	2914
Maximum		2.68	5.12	19.5	129	746	2290	3590	5970
Q1		1.46	2.14	13.2	69.8	487	1635	2635	3485
Médiane		0.99	1.38	10.9	55.6	393	1430	2030	3040
Q3		0.30	0.60	3.63	35.4	303	1170	1715	2175
Minimum		0.0	0.0	0.78	16.1	175	527	831	1050
Faro à Safaie									
Moyenne		5.37	8.69	24.0	98.3	523	958	1386	2302
Maximum		15.1	18.2	48.6	251	757	1300	1930	2870
Q1		8.03	14.4	30.7	104	731	1170	1680	2680
Médiane		3.84	5.67	25.4	80.4	460	896	1450	2370
Q3		1.45	4.10	11.9	60.7	387	733	1060	2070
Minimum		1.14	2.22	10.3	53.5	286	598	906	1490
Bénoué à Buffle Noir									
Moyenne		0.29	0.50	1.86	7.97	58.2	163	273	705
Maximum		0.65	1.20	4.89	20.3	83.1	224	394	1490
Q1		0.49	0.78	2.64	9.73	68.4	182	321	911
Médiane		0.29	0.46	1.54	7.54	58.4	164	256	659
Q3		0.05	0.19	0.99	5.54	50.6	144	226	449
Minimum		0.01	0.07	0.43	3.44	23.5	94.8	158	299

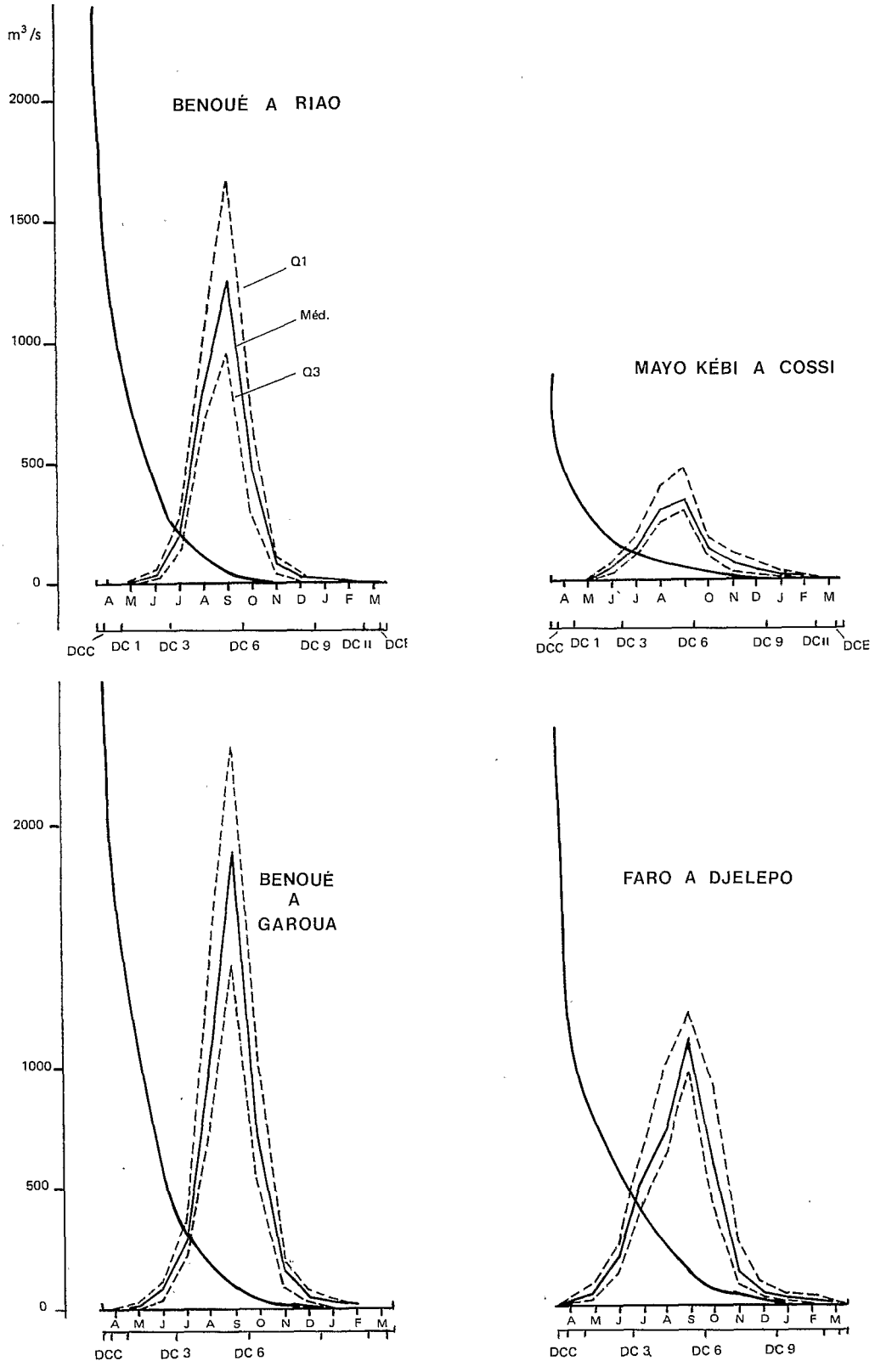


Fig. 10.8. – Courbes des débits moyens mensuels (Médiane et Quartiles) et courbe médiane des débits classés.

3. INTERPRÉTATION DES DONNÉES

3.1. Étude des basses-eaux

3.1.1. Le tarissement

Le tarissement observé aux trois stations principales de la Bénoué et du Kébi après la période immédiate de décrue montre le plus souvent trois phases distinctes :

- une première phase à décroissance rapide des débits,
- une seconde phase montrant un ralentissement dans la décroissance des débits,
- une troisième phase où cette décroissance des débits s'accélère.

La première phase aurait pu être considérée comme un prolongement de la décrue si la loi exponentielle décroissante de variation des débits n'admettait un coefficient nettement plus faible que celui qui pourrait être ajusté à la décrue proprement dite observée en septembre-octobre.

En fait, dès novembre, on observe bien pour Riao et généralement Garoua une phase pure de tarissement ; à Cossi cette phase survient souvent plus tardivement par suite de l'arrivée des apports « perdus » par le Logone (elle n'est, par exemple, observée qu'à partir de janvier en 1965). Les différentes phases ne sont pas toujours mises en évidence.

Cette phase de tarissement a généralement une durée assez limitée : 1 mois, 1 mois et demi, rarement deux mois, et alors, pour des années de fort débit. La loi de tarissement présente la caractéristique de varier nettement d'une année à l'autre, le tarissement étant plus rapide (son coefficient plus élevé) pour les années de faible hydraulicité. Ceci confirme que cette période correspond à la combinaison des débits provenant de la vidange des nappes et de ceux provenant de la vidange des zones de débordement et d'inondation de la crue annuelle. Le tarissement est plus rapide lorsque les zones d'inondation sont réduites et proches du lit mineur et cette phase de tarissement est alors d'autant plus courte. La première phase paraît se terminer le plus souvent vers la fin novembre ; en année humide, elle peut se prolonger jusqu'à la fin décembre. Mais plutôt qu'une date déterminée, il semble que la borne inférieure de cette première phase de tarissement corresponde à un débit :

- de 15 à 20 m³/s pour Riao,
- de 20 à 30 m³/s pour Garoua.

Les coefficients de tarissement α de la loi exponentielle de décroissance des débits

$$Q = Q_o\, e^{-\alpha t} \qquad (1)$$

exprimés en j^{-1}
sont de l'ordre de 0,035 en année forte
à 0,055 en année moyenne
pour la Bénoué à Riao.

A Garoua, on retrouve une valeur de 0,055 pour l'année déficitaire 73-74 et de 0,038 pour des années d'hydraulicité moyenne. Pour les années fortes, la séparation des tarissements est moins nette. A Cossi, ce type de tarissement rapide peut être observé en année très déficitaire ($\alpha = 0{,}058$).

La deuxième phase de tarissement paraît plus classiquement correspondre à la décroissance d'un débit de base alimenté par la vidange des nappes du bassin. Ici, l'hydrogéologie de la Bénoué prend toute son importance car aux petites nappes de versants, aux modestes nappes d'arènes granitiques, il faut ajouter les ressources aquifères des bassins sédimentaires. Citons par exemple le bassin crétacé de Koum d'une longueur de 90 km dont les eaux souterraines sont drainées par le Mayo Rey et ses affluents. La décharge de la nappe des grès de la Bénoué s'effectue dans le lit des principaux mayos (Mbay, Rey, Godi et Bénoué) au sud de Lagdo. La nappe alluviale du confluent Kébi-Bénoué alimente les débits superficiels de la Bénoué à Garoua. Le toit de la nappe des grès de Garoua reste à ce niveau en dessous du lit de la Bénoué.

Ce tarissement peut être observé pendant 3 à 4 mois et même davantage.

A Riao, le coefficient de tarissement varie de 0,020 pour des années humides à 0,022 et 0,023 pour les années moyennes et sèches.

A Garoua, les coefficients de tarissement varient de manière beaucoup plus marquée, ce qui semble normal du fait des origines diverses de ses eaux. On a observé des valeurs comprises entre 0,033 et 0,024.

A Cossi par contre, le tarissement semble suivre la même loi chaque année. On a observé des valeurs de α comprises entre 0,028 et 0,030. Le lac de Léré est sans doute responsable de cette régularité en regroupant les eaux de tarissement des nappes du bassin amont.

Cette phase de tarissement principal se poursuit, lorsque la saison sèche se prolonge, par ce que nous avons appelé une troisième phase marquée par une brusque accélération de la décroissance des débits. Ce passage se fait très nettement à partir d'un débit déterminé pour les stations de Riao et de Cossi, d'un débit plus variable pour la Bénoué à Garoua faute de l'apparition simultanée de ces débits sur le Kébi et la Haute Bénoué.

(1) La signification des termes de la relation a été donnée dans des chapitres antérieurs.

La troisième phase du tarissement pourrait être appelée **phase d'épuisement** [1]. On ne l'observe donc que pour des saisons sèches commencées tôt ou qui se prolongent faute de l'arrivée des premières pluies. Elle conduit rapidement les débits de ces cours d'eau à quelques dizaines de litres par seconde ou carrément jusqu'au tarissement total.

A Riao, le débit initial de cette phase d'épuisement paraît bien être de l'ordre de 2 m³/s.

A Cossi, ce même débit est de 1,5 m³/s.

Pour Garoua, comme cela a été dit, le débit d'apparition de la phase d'épuisement (Q_3) correspond en gros à celui de Riao augmenté du débit de tarissement 2e phase de Cossi (Q_2) dont la phase d'épuisement n'apparaît que plus tard. Le décalage entre les deux stations est de l'ordre de 20 jours en moyenne, d'où :

$$Q_3 \text{ Garoua} = Q_3 \text{ Riao} + Q_2 \text{ Cossi}$$
$$= 2 + 1{,}5\ e^{0{,}029(20)}$$
$$= 4{,}7 \text{ m}^3/\text{s en moyenne.}$$

Mais chaque année constitue un cas d'espèce suivant que l'un des bassins a eu une hydraulicité plus forte ou plus faible que l'autre.

Sur le Faro, de la mi-novembre à la fin février, s'observe généralement le tarissement principal dont le coefficient varie de 0,017 à 0,023. En dessous de 15 à 20 m³/s, en mars et jusqu'à début avril, on observe une nouvelle loi de décroissance des débits à tarissement plus rapide, à coefficient compris entre 0,032 et 0,044. D'une manière générale, le tarissement du Faro paraît nettement plus lent que celui de la Bénoué à Riao, semblant indiquer que le bassin du Faro dispose d'aquifères plus importants par la taille que ceux de la Bénoué, sans doute dans les basaltes du haut-bassin.

A la station du Buffle Noir sur la Bénoué, le tarissement principal apparaît dès la mi-novembre. Les coefficients de tarissement sont de l'ordre de 0,023 à 0,029 et indiquent un tarissement relativement rapide caractéristique des terrains cristallins du haut-bassin de la Bénoué. En dessous de 1,5 à 3 m³/s suivant les années, on observe un tarissement plus rapide correspondant à l'épuisement des petites nappes de versant. Les coefficients de tarissement varient de 0,036 à 0,055.

3.1.2. Les étiages – Périodes d'étiages

3.1.2.1. Cas des trois stations principales

Nous avons souligné dans la présentation des données de base la difficulté qu'il y a à préciser la notion d'étiage absolu ou d'écoulement nul dans l'échantillon dont on dispose. S'il s'agit d'évaluer la sévérité d'une saison sèche en termes de fréquence de retour, on ne peut étudier un échantillon d'étiages absolus comportant des débits nuls qui ont pu être observés 1 jour ou 3 mois. D'autre part, il est plus que certain que de faibles écoulements ont été assimilés à des débits nuls. Retenir la période sans écoulement ne constitue donc pas un paramètre sûr pour le bassin de la Bénoué ; des débits de quelques litres/seconde peuvent passer en inféro-flux d'une année à l'autre par simple modification du lit et déplacement de bancs de sable ; certains débits d'étiage ne correspondent qu'à l'émergence provisoire sur un affleurement rocheux séparant deux « flats » de ressources qui n'ont pas grand rapport avec le bassin étudié.

De ce fait, le choix d'un paramètre est délicat. On a d'abord retenu ici comme « indicateur » la période pendant laquelle le débit est inférieur au débit initial de tarissement quand celui-ci a pu être déterminé, ou à un débit comparable.

Les échantillons de « saisons de basses-eaux à débit inférieur au débit choisi Q_0 » ont été étudiés statistiquement.

Le tableau 10.14 ci-après en indique les différents résultats.

Ce tableau montre que la période moyenne de basses-eaux pour laquelle le débit est inférieur au « débit initial d'épuisement » Q_0 est la même pour Riao et Cossi avec 57 jours. Elle est un peu supérieure pour Garoua (70 jours), mais le débit Q_0 choisi est une approximation arbitraire.

La durée de ces « périodes d'étiages sévères » pour la fréquence décennale sèche est de l'ordre de 3 mois ; pour la fréquence vicennale, il faut compter 3 mois et demi.

La probabilité de ne pas observer à Garoua de débits inférieurs à 4 m³/s dans l'année est très faible (1/200). Pour Riao par contre, la probabilité de saison sèche sans débit inférieur à 2 m³/s n'est que de 1/30. Elle est de 1/40 pour Cossi pour un débit de 1,5 m³/s.

Ces débits Q_0 marquant le début de la « période d'étiages » telle que nous l'avons définie, apparaissent en moyenne :

- le 6 mars pour la Bénoué à Riao,
- le 26 mars pour le Kébi à Cossi,
- le 3 mars pour la Bénoué à Garoua.

La fin d'une saison de basses-eaux moyenne se situerait donc

vers le 2 mai pour la Bénoué à Riao,
vers le 22 mai pour le Kébi à Cossi,
vers le 12 mai pour la Bénoué à Garoua.

Pour le Kébi à Cossi, la position plus septentrionale du bassin explique un retard dans l'apparition de la saison des pluies et donc des premières crues par rapport à Riao.

Nous avons renoncé à considérer comme crédible les débits nuls qui auraient été observés à Garoua. Pour Riao, leur observation est un fait établi mais reste

(1) C'est le terme employé par C. Rochette (1965) à propos du même type d'observations sur le fleuve Sénégal.

Tableau 10.14.

	Riao	Cossi	Garoua
Débit non dépassé (Q_o) m^3/s déterminant période d'étiage	2	1.5	4
Nb d'années observées	23	19	28
Plus longue période de basses-eaux en jours	104	110	121
Plus courte période de basses-eaux en jours	0	9	31
Durée Période moyenne (jours)	57	57	70
Ecart-type (jours)	30.6	27.7	25.9
Durée Période décennale sèche	94	93	102
Durée Période vicennale sèche	105	104	112
Période de retour d'une saison de basses-eaux à $Q > Q_o$ (en années)	30	40	200
Date moyenne de début de Période	6/3	26/3	3/3
Ecart-type sur la date (jours)	23	25	21
Limites Début Période à 60 %	14/2-25/3	5/3-16/4	13/2-21/3

relativement rare ; l'absence d'écoulements s'est cependant manifestée pendant 13 jours en 1970 et 19 jours en 1977.

Les écoulements nuls du Mayo Kébi sont par contre importants et 7 années seulement sur l'échantillon de 19 ans n'ont pas eu de tarissement complet. On a établi une relation entre la période d'écoulement nul et la « période d'étiages » définie plus haut. Le coefficient de corrélation n'est pas trop médiocre : r = 0,873. La relation s'écrit :

$$\text{Durée sans écoulement} = 0{,}79.\ \text{Période } (< Q_0) - 23.$$

Il n'y aurait pas d'écoulement nul lorsque la période d'étiage n'excède pas un mois.

L'étude fréquentielle des étiages absolus faite sur les débits non nuls mérite d'être indiquée même si sa signification reste relative. Pour la Bénoué à Riao, avec 16 valeurs, on a obtenu le meilleur ajustement aux distributions de Pearson III et Goodrich. Pour cette dernière loi, on a une valeur moyenne de 0,473 m³/s, la médiane n'est que de 0,335 m³/s et l'étiage décennal sec tombe à 57 l/s (débit spécifique médian : 0,0109 l/s.km²). Pour le Mayo Kébi, la moyenne de l'étiage absolu de 22 années dont 15 années à étiage nul est de 0,13 m³/s (ou 0,005 l/s.km²) ; une analyse fréquentielle n'est pas possible.

L'étude fréquentielle de 23 étiages absolus de la Bénoué à Garoua conduit à retenir un ajustement suivant une distribution de la loi des Fuites, la distribution normale ayant l'inconvénient d'aboutir à des étiages nuls dès la probabilité 1/25. L'étiage absolu moyen est de 0,794 m³/s ; l'étiage médian est de 0,716 m³/s (soit 0,0118 l/s.km²) ; l'étiage décennal sec serait de 0,225 m³/s et l'étiage vicennal, de 0,133 m³/s.

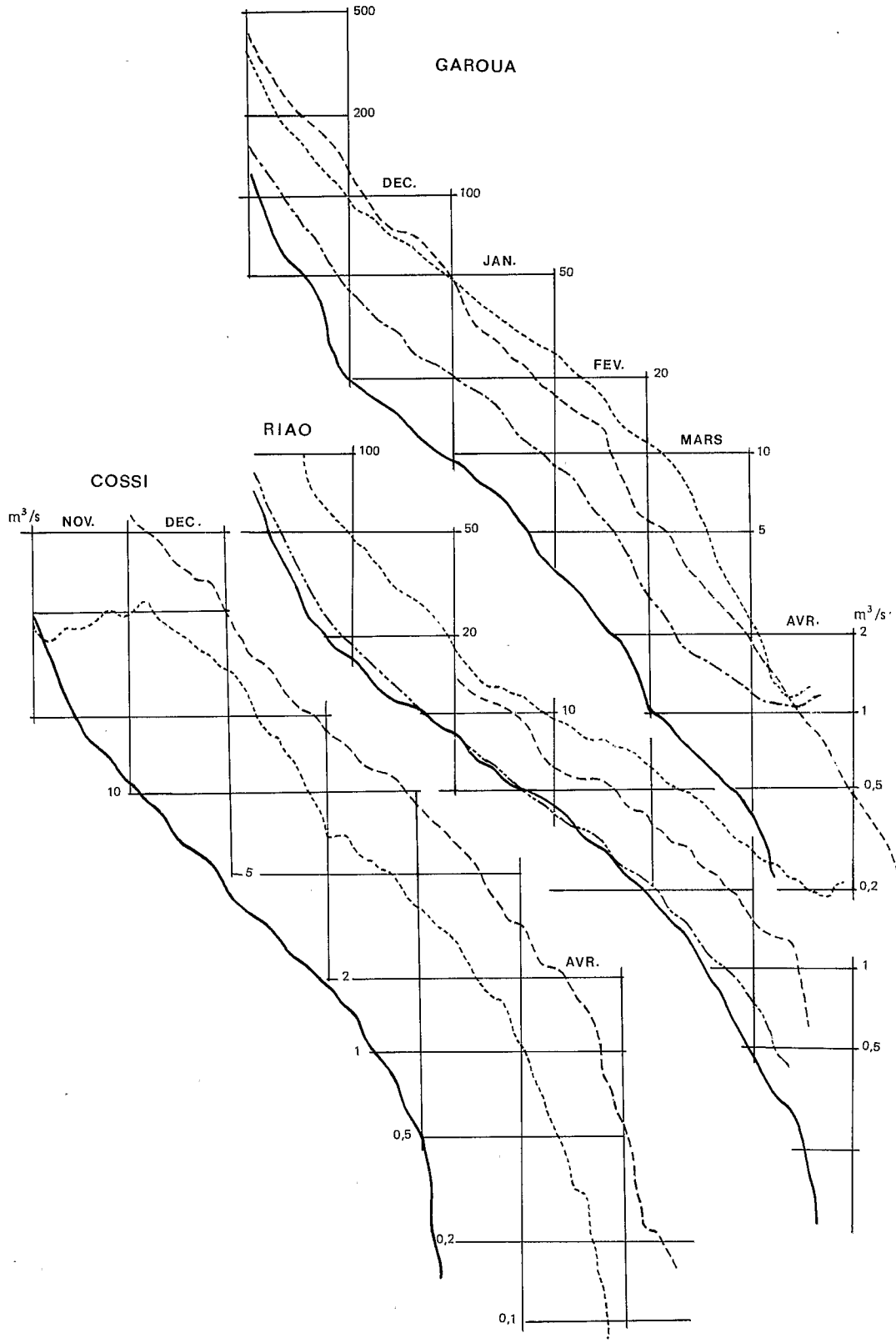


Fig. 10.9. – Courbes de tarissement.

Tableau 10.15. – Étiages absolus sur le bassin de la Bénoué.

Station	Etiage moyen		Etiage médian		Etiage décennal sec
	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s
Bénoué au Buffle Noir	0.178	0.056	0.178	0.056	0
Bénoué à Riao	0.473	0.0154	0.335	0.0109	0.057
Kébi à Cossi	0.130	0.005	0		0
Bénoué à Garoua	0.794	0.0131	0.716	0.0118	0.225
Faro à Safaïe	3.83	0.163	2.84	0.121	0.944
Mayo Rey à Tchollire	0		0		0
Mayo Oulo à Golombe	0		0		0
Mayo Louti à Figuil	## 0		0		0

3.1.2.2. Stations du Buffle Noir et du Faro

Sur 17 années d'étiages absolus observés au Buffle Noir, on a relevé deux débits nuls et deux débits de moins de 20 l/s. L'étiage absolu maximal aurait été de 0,457 m³/s en 1958. Le débit moyen est de 0,178 m³/s, soit un débit spécifique de 0,056 l/s.km², et l'écart-type est de 0,172 m³/s. La période de retour d'étiages nuls pourrait être de 7 à 8 ans. La date d'apparition de l'étiage absolu se situe en moyenne le 10 avril et à 60 % dans la période du 1er au 20 avril.

L'échantillon d'étiages absolus du Faro à Safaïe ne porte que sur 12 étiages absolus. La valeur moyenne est de 3,83 m³/s, soit 0,163 l/s.km², valeur trois fois plus élevée que le débit spécifique de la Bénoué au Buffle Noir et qui traduit une emprise plus grande du Faro sur les réserves du plateau de l'Adamaoua.

L'écart-type est de 2,35 m³/s. Suivant une distribution de Pearson, la médiane est de 2,84 m³/s. L'étiage décennal sec serait de 0,944 m³/s et l'étiage vicennal de 0,80 m³/s. La période de retour d'étiages nuls ne doit cependant pas dépasser 100 ans.

La date d'apparition de l'étiage absolu se situe en moyenne le 6 avril et à 60 % dans la période du 1er au 12 avril.

3.1.2.3. Conclusions

Les principaux résultats de l'étude des étiages absolus ont été regroupés dans le tableau 10.15 ci-dessus. Ils doivent être maniés avec prudence, mais, d'ailleurs – au moins pour Riao et Garoua –, le problème des étiages a été résolu par le barrage du Lagdo. L'intérêt de cette analyse aurait été de permettre un rattachement quantitatif aux étiages du Sud-Cameroun. Pour les raisons données plus haut, ces résultats ne nous paraissent pas entièrement significatifs.

(On relèvera à l'examen de ce tableau l'évolution des étiages absolus moyens. Du sud au nord pour les bassins dont ils sont issus (Faro, Buffle Noir, Riao, Cossi), ces étiages sont chaque fois divisés par 3.)

Un autre moyen de comparer les étiages à ceux du Sud-Cameroun est, dans le cas d'écoulements pérennes, de calculer les rapports entre l'étiage absolu et des débits caractéristiques d'étiage. Pour le bassin de la Bénoué, ces rapports ont été déterminés pour les stations suivantes :

	D_{MIN}/DCE	D_{MIN}/DC_1	D_{MIN}/DC_3
Buffle Noir	0.61	0.36	0.096
Riao	0.80	0.55	0.110
Garoua	0.85	0.50	0.085
Safaïe	0.71	0.44	0.160

3.2. Études des crues

3.2.1. Date d'apparition des maximums annuels de crue

L'étude fréquentielle effectuée sur les dates d'apparition du maximum annuel de crue a été résumée dans le tableau 10.16 ci-après, où l'on a précisé le nombre d'années de l'échantillon, la date moyenne du

Tableau 10.16.

Station	Nb. années	Date moyenne	ET jours	Limites Périodes à 60 %	Dates extrêmes
Buffle Noir	15	29/8	15	16/8 - 11/9	7/8 - 27/9
Riao	30	7/9	13	25/8 - 18/9	2/8 - 8/10
Cossi	22	31/8	13	20/8 - 11/9	11/8 - 24/9
Garoua	45	8/9	12	29/8 - 18/9	7/8 - 4/10
Faro	14	21/9	15	8/9 - 4/10	21/8 - 12/10
Mayo Louti	8	(fin août)	-	-	18/7 - 18/9

maximum, l'écart-type arrondi en jours entiers, les dates limites de la période d'observation du maximum avec une probabilité de 60 % ainsi que les dates extrêmes observées.
Les dates extrêmes d'apparition du maximum annuel de crue délimitent une période qui excède rarement deux mois. Cette période se réduit dans 60 % des cas de 20 à 26 jours.

A l'exception du Faro dont la date moyenne de crue du 21/9 correspond aux pluies soutenues que connaît encore l'Adamaoua à cette époque, les crues maximales sont observées aux autres stations sur des dates moyennes s'étalant sur 10 jours du 29/8 pour la Bénoué au Buffle Noir au 8/9 pour la Bénoué à Garoua.

La crue relativement précoce du Mayo Kébi, alors que ses débits restent très soutenus en octobre, est d'évidence d'origine aval du bassin. Les maximums annuels proviendront vraisemblablement le plus souvent de crues du Mayo Louti et du Mayo Binder.

3.2.2. Étude fréquentielle des maximums annuels de crue

Cette étude se rapporte aux débits maximums instantanés, c'est-à-dire des maximums relevés sur l'imnigrammes ou de la lecture maximale faite le jour de plus fort débit. La plupart des cours d'eau étudiés ici ont en effet des variations de débits très rapides.

La Bénoué au Buffle Noir sur 15 années d'observations montre le meilleur ajustement pour une distribution normale définie par une moyenne de 1 268 m³/s et un écart-type de 465 m³/s.

La crue médiane, avec donc 1 270 m³/s, a un débit spécifique de 394 l/s.km² pour un bassin de 3 220 km². La crue quinquennale atteindrait 1 660 m³/s, la crue décennale 1 865 m³/s (valeur dépassée en 1963). Les crues de fréquences cinquantennale et centennale sont respectivement estimées à 2 225 et 2 350 m³/s. La crue décennale sèche est de 670 m³/s seulement.

A Riao, l'échantillon de 30 valeurs montre une légère hypogaussicité. La valeur du test d'adéquation nous a fait préférer une distribution suivant une loi de Goodrich plutôt que normale. Les paramètres de cette distribution sont les suivants :

Paramètre d'échelle :	2 564 m³/s		
Paramètre de position :	0,0		
Paramètre de forme :	0,218	Coefficient variation :	0,248
Moyenne :	2 343 m³/s	Coefficient assymétrie :	— 0,192
Médiane :	2 367 m³/s	Coefficient aplatis. :	0,181.
Mode :	2 430 m³/s		

La crue médiane, avec 2 370 m³/s, a un débit spécifique de 77,3 l/s.km².
La crue décennale est de 3 075 m³/s.
La crue cinquantennale est de 3 455 m³/s, valeur pratiquement observée en 1966 (3 423 m³/s). La crue centennale atteindrait 3 580 m³/s, ce qui donne un faible rapport Max100/Max 10 = 1,16. En année sèche, la crue de fréquence 1/10 n'atteindrait que 1 570 m³/s.

La distribution la mieux adaptée à l'échantillon de débits du **Mayo Kébi à Cossi** est celle de la loi de Fuites, encore que la bonne qualité de l'échantillon montre une faible dispersion et des ajustements possibles suivant des lois de Goodrich, Pearson III et même de Gauss. Cela ne change d'ailleurs pas grand chose aux prédéterminations.

L'ajustement suivant une distribution de la loi des Fuites a les caractéristiques suivantes :

Paramètre d'échelle :	32,595		
Paramètre de position :	0,0		
Paramètre de forme :	30,572	Coefficient variation :	0,256
Moyenne :	996 m³/s	Coefficient assymétrie :	0,384
Médiane :	980 m³/s	Coefficient aplatis. :	0,196
Mode :	947 m³/s		

La crue médiane, avec 980 m³/s, a un débit spécifique de 39,2 l/s.km². La crue décennale atteint 1 330 m³/s ; la centennale n'est qu'à 1 660 m³/s. Le rapport des deux maximums est de 1,25. En année déficitaire, la crue décennale sèche n'atteint que 680 m³/s.

On dispose pour la **Bénoué à Garoua** d'un échantillon de 46 valeurs dont l'ajustement d'une loi de distribution ne doit pas cacher une assez forte dispersion des valeurs expérimentales.

La distribution retenues est celle de Gauss ; elle est définie par la moyenne : 3 123 m³/s et son écart-type : 1 003 m³/s.

La crue médiane, avec 3 120 m³/s, a un débit spécifique de 51,6 l/s.km².

Cette valeur est comprise dans l'intervalle de confiance à 80 % :

$$I_{C80} = \pm 192 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La crue décennale est de 4 410 m³/s (72,9 l/s.km²).

La crue centennale atteindrait 5 460 m³/s, encore bien en dessous du maximum de 1948 (F = 1/1 000 en loi normale). Le rapport $K_{C/D}$ est de 1,24.

En années de faible hydraulicité, le maximum de la crue décennale sèche serait de 1 835 m³/s et la très faible crue de 1972 (1 060 m³/s) aurait une période de retour de cinquante ans.

L'échantillon des crues du Faro à Safaïe comprend 14 valeurs pour lesquelles le meilleur ajustement correspond à une distribution de Goodrich dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	3 194,22		
Paramètre de position :	0		
Paramètre de forme :	0,150	Coefficient variation :	0,175
Moyenne :	2,980 m³/s	Coefficient assymétrie :	— 0,437
Médiane :	3 024 m³/s	Coefficient aplatis. :	0,140
Mode :	3 118 m³/s		

La distribution est nettement hypogaussique.

La crue médiane, avec 3 024 m³/s, a un débit spécifique de 129 l/s.km². La crue décennale atteint 3 620 m³/s et la crue centennale dépasserait 4 010 m³/s. Le rapport de ces deux maximums n'est que de 1,11.

En année sèche, la fréquence décennale donne une crue de 2 280 m³/s.

Les figures 10.10 et 10.11 résument l'analyse fréquentielle proposée ici.

3.2.3. Interprétation des résultats

Nous avons récapitulé dans le tableau 10.17 les principaux résultats obtenus dans l'analyse statistique des maximums de crue. Cette analyse et ses résultats appellent plusieurs remarques.

3.2.3.1. Forme des distributions

A l'exception de celle des maximums de crue du Kébi, les courbes de distribution sont normales (droite de Henry) ou hypogaussiques. L'hypergaussicité des distributions est pourtant la forme la plus souvent rencontrée dans les analyses d'échantillons de crues. C'est bien elle qui avait été retenue pour Garoua et Riao sur un échantillon plus court (1) puisqu'alors une loi de Galton avait été retenue pour les travaux de prévision du barrage de Lagdo. Cela allait bien sûr dans le sens de la sécurité mais ne s'appuyait en fait que sur la crue exceptionnelle de 1948. Comme on l'a vu, l'ajustement d'une distribution normale pour Garoua est, pour peu satisfaisant qu'il soit, bien meilleur que tous les autres.

L'hypogaussicité des maximums de crue est un phénomène que nous avons déjà expliqué (Chap. III — 3.2.3.2.) par l'absence de conjonction entre les crues maximums des différentes branches majeures du réseau. Cette explication est probablement valable pour la Benoué à Riao dont les branches, comme la Haute-Bénoué et le Mayo Godi, ont des hautes-eaux suffisamment décalées pour ne pas conjuguer leurs maximums de crue. Pour le Faro à Safaïe, l'explication est sensiblement identique sauf qu'il s'agit probalement ici, plus que d'un décalage dans le fonctionnement des bassins du Déo et du Haut-Faro, d'un plus rapide transfert à la station des crues du Déo, dont le réseau est plus court.

L'hypergaussicité des crues du Mayo Kébi confirme ce que nous remarquons pour les dates d'apparition plus précoces des maximums annuels. Ceux-ci proviennent de toute évidence des crues des mayos aval et principalement du Mayo Louti et se distribuent statistiquement suivant les lois hypernormales caractéristiques des bassins de moyennes dimensions à comportement torrentiel. La crue amont est amortie par le lac de Léré.

(1) Note sur la crue exceptionnelle de la Benoué à Lagdo (1972). Nous y reviendrons plus loin.

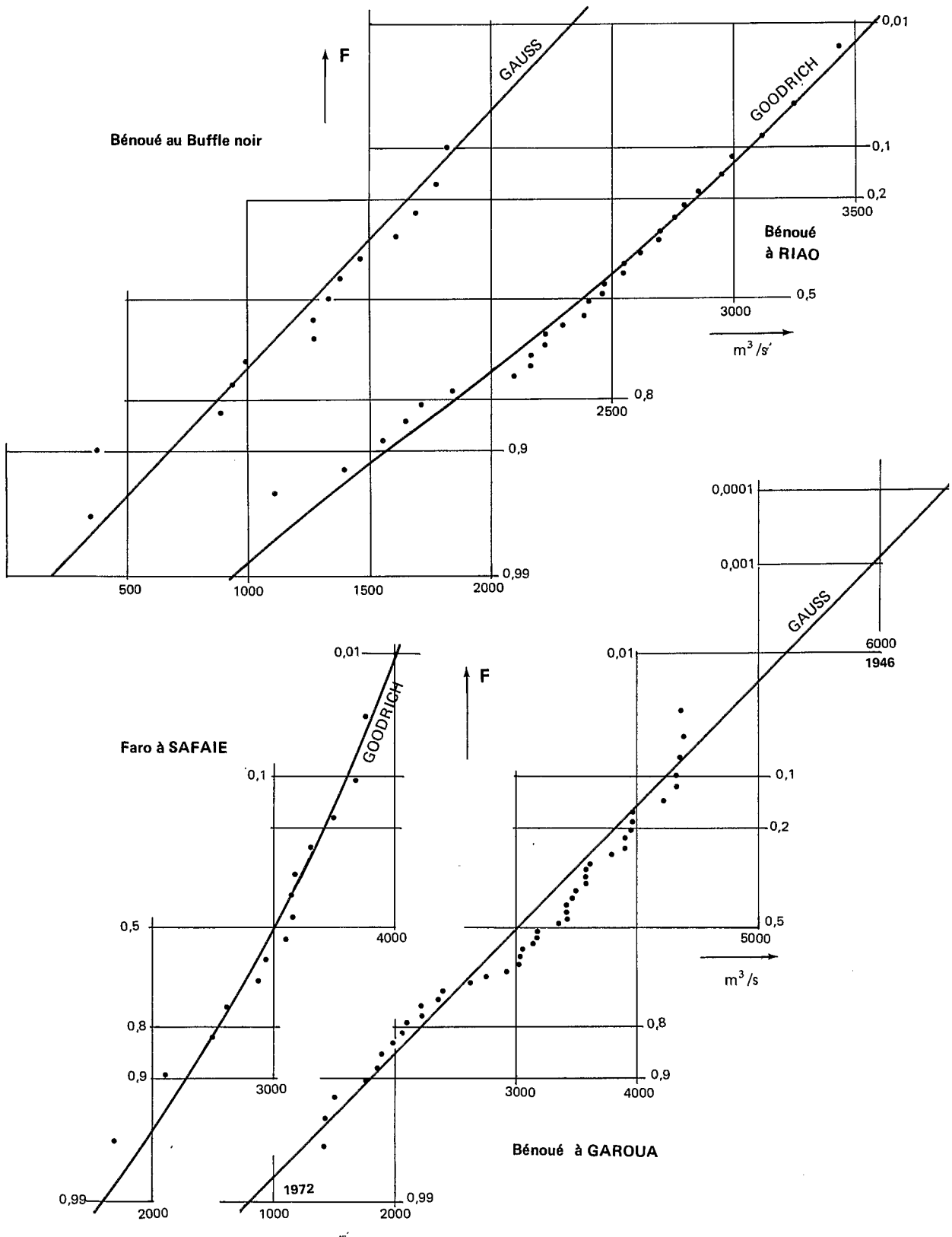


Fig. 10.10. – Analyse fréquentielle des Maximums de crue sur le bassin de la Bénoué.

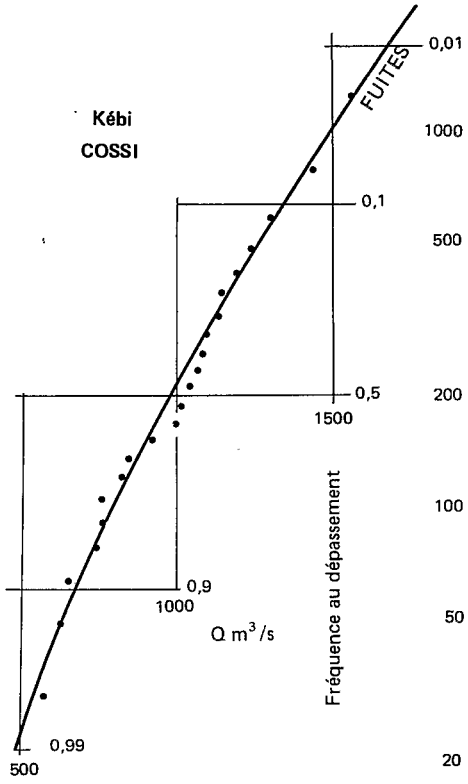


Fig. 10.11.
Analyse fréquentielle
Maximum de crues

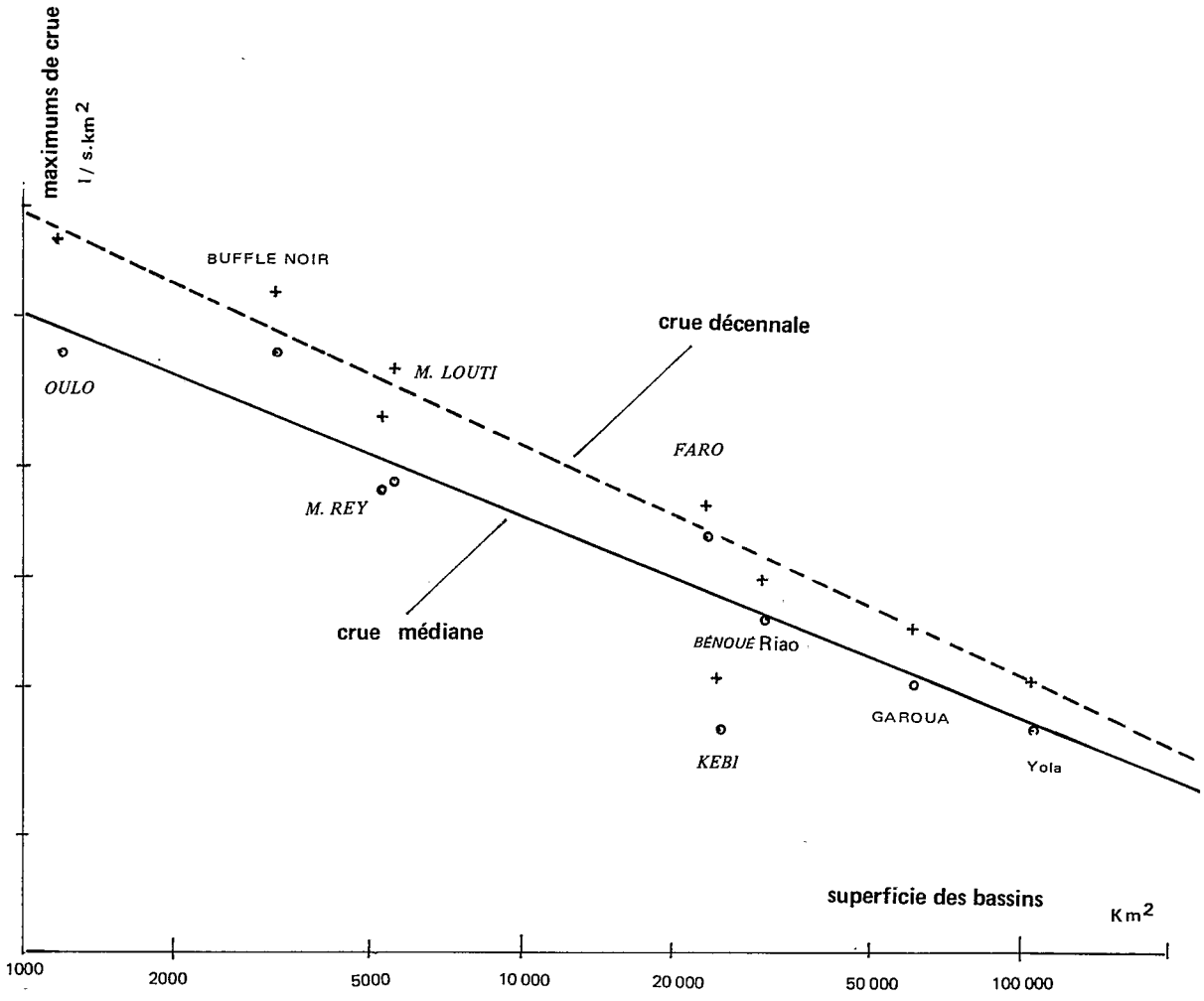


Fig. 10-12. – Maximums de crue sur le bassin de la Bénoué et superficie des bassins.

Tableau 10.17. – Récapitulation de l'étude fréquentielle des maximums de crue.

Station (nb. années observées)	S BV km²	Maximums observés					Prédétermination des Maximums Périodes de retour (années humides)							Kc/d
		Valeurs extrêmes m³/s		Moy	ET	C_V	Médiane (2) m³/s	l/s.km²	10 m³/s	l/s.km²	20 m³/s	50 m³/s	100 m³/s	
Bénoué au Buffle Noir (15)	3 220	352	1 880	1 268	465	0.367	1 270	394	1 865	579	2 030	2 225	2 350	1.26
Bénoué à Riao (30)	30 650	778	3 430	2 340	613	0.262	2 370	77.3	3 075	100	3 260	3 455	3 580	1.16
Mayo Kébi à Cossi (22)	25 000	571	1 550	996	254	0.255	980	39.2	1 330	53.2	1 440	1 570	1 660	1.25
Bénoué à Garoua (46)	60 500	1 060	5 970	3 123	1003	0.321	3 120	51.6	4 410	72.9	4 770	5 180	5 460	1.24
Faro à Safaïe (14)	23 500	1 690	3 770	2 973	560	0.188	3 025	129	3 620	154	3 915	3 765	4 015	1.11
Mayo Louti à Figuil	5 550	>2 000	680	–	–	(0.72)	(1 000)	(180)	(2 000)	(360)	–	–	–	–
Mayo Oulo à Golombe	1 160			–	–	(0.68)	(450-500)	(400)	(900)	(800)				
Mayo Rey à Tchollire	5 240	1 100	100	–	–	(0.43)	(900)	(170)	(1 400)	(270)				

3.2.3.2. Irrégularité interannuelle

Dans le tableau 10.17, deux valeurs ont été indiquées : le coefficient de variation (C_V) et le Rapport de la Crue centenale à la Crue decennale ($K_{C/D}$).

Pour le coefficient de variation, on ne s'étonnera pas des fortes valeurs générales que l'on a relevées par rapport à celles qui ont été indiquées précédemment. Ces valeurs indiquent une forte irrégularité, spécifique du régime tropical pur.

L'irrégularité est la plus forte à la station du Buffle Noir et à celle de Garoua avec des coefficients de variation voisins de plus de 0,3 et un rapport $K_{C/D}$ de 1,26 — 1,24. Des coefficients voisins dans les deux cas correspondent aux distributions normales. Pour la Bénoué à Riao et le Kébi à Cossi, C_V n'est plus que de l'ordre de 0,25, irrégularité un peu moindre, mais $K_{C/D}$ est de 1,16 pour Riao (hypogaussique) et de 1,25 pour Cossi (hypergaussique). Cette moins grande irrégularité du régime des crues maximales annuelles à Riao et à Cossi ne trouve pas d'explication aussi franche que celle du Faro pour laquelle on peut dire qu'elle correspond pratiquement à celle du climat tropical de transition de l'Adamaoua.

Pour les mayos Louti, Oulo et Rey, les valeurs de C_V ont été obtenues à partir des estimations des crues médianes et décennales. Le caractère tropical et torrentiel des crues observées sur ces mayos est à la source d'une très forte irrégularité interannuelle augmentée encore pour le Louti et le Oulo par la position septentrionale de leurs bassins dans la zone climatique.

3.2.3.3. Débits spécifiques de crue

A l'exception du Mayo Kébi à Cossi, les stations du bassin de la Bénoué ont des débits spécifiques de maximums de crue en rapport avec la superficie des bassins. Il est possible de déterminer des relations pour les débits spécifiques de crue médians et décennaux, lesquelles sont linéaires en diagramme logarithmique.

En considérant les résultats des études de crue de la Bénoué à Yola (Nigéria) dont le bassin est de 107 000 km² (Touchebeuf de Lussigny, 1958) (1), les relations sont obtenues dans la gamme de 10^3 à 10^5 km² à partir de huit valeurs. Ces relations ne doivent cependant pas masquer une certaine dispersion due à d'autres facteurs tels la pente ou l'allongement du bassin, ou encore la hauteur de précipitations (cas du Faro ou du Oulo...) (figure 10.12).

Dans le cas du Kébi, il est remarquable de souligner que si on ramène le débit spécifique de crue à la seule partie aval du lac de Léré, les nouvelles valeurs rentrent dans le cadre de l'échantillon général de la Bénoué. Ainsi, avec un maximum spécifique corrigé du Kébi aval de 89 l/s.km², la relation des maximums médians et des superficies admet un coefficient de corrélation de — 0,95.

(1) A Yola, le débit maximal de crue médian est de 4 200 m³/s, soit 39,3 l/s.km² ; le débit décennal est de 5 750 m³/s, soit 53,7 l/s.km²/.

Pour les maximums médians, on a établi la relation suivante sur (8 valeurs, hors Kébi) :

$$Q = 10^{-0,533 \log S + 4,302}$$

avec un coefficient de corrélation de : — 0,967
Q est exprimé en l/s.km²
S, en km².

On indique ci-dessous quelques valeurs caractéristiques obtenues à partir de cette relation pour les **maximums annuels de crue médians :**

	Débit spécifique médian (l/s.km²)	soit en m³/s
BV de 100 000 km²	43.4	4 340
BV de 10 000 km²	148	1 480
BV de 1 000 km²	505	505
et en extrapolant pour de petits bassins		
de 100 km²	1 723	170
de 10 km²	5 876	60

Pour les **débits spécifiques de crue décennaux,** la relation s'écrit :

$$Q_{10} = 10^{-0621 \log S + 4,841}$$

Le coefficient de corrélation est de — 0,988.

Pour un BV de 100 000 km², le débit spécifique est de 54,7 l/s.km² (5 470 m³/s)

Pour un BV de 10 000 km², le débit spécifique est de 228 l/s.km² (2 280 m³/s)

Pour un BV de 1 000 km², le débit spécifique est de 953 l/s.km² (950 m³/s)

et pour les petits bassins de 100 km², le débit spécifique est de 3 981 l/s.km² (400 m³/s)

et 10 km², le débit spécifique est de 16 620 l/s.km² (166 m³/s).

Bien évidemment, ces relations ne doivent pas être prises au pied de la lettre, en premier lieu parce qu'elles n'ont été obtenues qu'à partir d'un échantillon réduit et que « ça ne marche pas » pour des bassins à morphologie particulière tel le Mayo Kébi ; en second lieu parce que – cela a été dit – d'autres paramètres devraient être pris aussi en considération. Il va de soi également que les extrapolations faites pour des bassins de petite taille n'ont ici qu'un seul intérêt : celui de montrer un ordre de grandeur plausible des valeurs déterminées et non pas de proposer des débits utilisables par les projecteurs de petits aménagements ; l'étude des crues de petits bassins versants a largement montré la complexité des déterminations.

La comparaison des débits spécifiques de crue du bassin de la Bénoué montre, d'une manière générale, des crues à maximums nettement plus prononcés qu'au sud de l'Adamaoua ; c'est encore là une des caractéristiques du climat tropical pur.

Propagation de l'onde de crue

Sans entrer dans le détail d'études particulières du Service hydrologique de l'Orstom réalisées avec Électricité de France soit dans le cadre de la Mission Logone-Tchad, soit dans celui de la création d'un Service d'Annonces des Crues de la Bénoué, on peut citer quelques résultats obtenus par M. Aldégheri (1956) relatifs aux temps de propagation de l'onde de crue. L'amélioration de la navigation sur la Bénoué impliquait cette connaissance. La régularisation partielle de la Bénoué par Lagdo en réduit l'intérêt, la propagation des lâchures du barrage ayant fait l'objet d'études plus récentes.

Aldégheri relevait que le maximum de la crue passait aux stations limnimétriques du buffle Noir et du Campement Coron sur le Faro, une trentaine d'heures après la fin des pluies sur le bassin versant.

Entre le Buffle Noir et Riao, le transfert du début de la crue varie entre 18 et 40 heures sans qu'une relation n'apparaisse entre les temps les plus courts et les cotes les plus basses. Le début de l'onde de crue a donc une vitesse variant entre 10 et 4,5 km/h. Les maximums de crue se propagent entre 24 et 72 h, et d'autant plus vite (jusqu'à 7,5 km/h) que la différence de hauteurs relative entre les hauteurs de crue de Riao et du Buffle Noir est grande (particulièrement en début de saison de hautes-eaux : $\Delta H > 1,5$ m). Ces vitesses tombent à 2,5 km/h au moment de la grande crue à Riao.

Entre Riao et Garoua, les temps de propagation varient entre 12 et 34 heures pour les débuts de crue et entre 14 et 50 h pour les maximums, soit des vitesses de 3,9 à 1,1 km/h. Le cote de Riao est ici déterminante. Entre 1,50 et 3,50 m à Riao, le temps de propagation est compris entre 14 et 20 h ; entre 3,50 et 4,50 m, l'onde de crue met de 22 à 36 heures pour atteindre Garoua.

Entre Cossi et Garoua, les crues du Kébi, lorsqu'elles sont vraiment sensibles à Garoua – en début de saison – ont une vitesse de propagation de 4,5 à 2 km/h.

Entre Garoua et Ouro-Boki (Nigeria), les maximums de l'onde de crue se propagent avec des vitesses comprises entre 4,35 km/h et 1,3 km/h, soit des durées de 20 à 65 heures. Là aussi, les vitesses sont d'autant plus faibles que les hauteurs à l'échelle sont élevées.

Entre le Campement Coron et la station de Safaïe sur le Faro, les vitesses de propagation varient entre 12,5 et 6,3 km/h pour des durées de transfert du maximum de crue de 12 à 24 h.

Les vitesses se ralentissent entre Safaïe et Ouro Boki entre 3,7 et 1,8 km/h pour des durées de propagation de l'onde de 30 à 58 heures.

Le réseau d'Annonce des Crues de la Bénoué était et reste basé sur une prévision 24 h à l'avance :

– des hauteurs à Garoua en fonction de celles de Riao et Cossi,

– des hauteurs à Ouro Boki en fonction de celles de Garoua et de Safaïe.

Les variations d'amplitude du plan d'eau aux stations de la plaine alluviale sont en général assez lentes. Cependant, on assiste fréquemment à une ascension rapide des niveaux fin juillet-début août marquant le début de l'hydrogramme des hautes-eaux. Aldégheri a en particulier observé à partir du 26 juillet 1956, une crue simultanée à Riao et à Cossi, le Kébi montant de 1,34 m en 24 h, la Bénoué montant de 2,0 m en 26 heures. A Garoua, 12 h après Riao, la Bénoué a commencé à monter de 7,2 cm/h, passant en 28 h de la cote 250 à la cote 450 où elle a commencé à s'étaler dans des zones de débordement. Cette variation n'a en fait rien d'extraordinaire, sinon de modifier rapidement les conditions de navigation, puisque dans ce laps de temps le débit à Garoua n'a augmenté que de 500 m³/s.

3.3. Études des modules et du bilan hydrologique

3.3.1. Analyse fréquentielle des modules

Après ajustement à différentes lois de distribution et test de leur qualité suivant les méthodes déjà citées dans les chapitres précédents, on a retenu les meilleures adéquations. Les graphiques de la figure 10.13 illustrent cette analyse.

Les 18 modules de la **Bénoué au Campement du Buffle Noir** admettent un module interannuel de 46,9 m³/s et un écart-type de 8,9 m³/s. Le meilleur ajustement correspond à une loi de Goodrich ; il montre une nette hypogaussicité de la distribution. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	49,99	Coef. de variation :	0,189
Paramètre de position :	0	Coef. d'asymétrie :	— 0,390
Paramètre de forme :	0,162	Coef. d'aplatis. :	0,062

Le module médian a pour valeur 47,1 m³/s, soit 14,7 l/s.km².

En années sèches, le module décennal est de 34,7 m³/s, le module vicennal est de 30,9 m³/s et le module centennal, de 23,7 m³/s.

En années humides, le module décennal est de 57,2 m³/s, le module vicennal est de 59,7 m³/s et, centennal, de 64,0 m³/s.

Le rapport des modules décennaux, K_3, est de 1,65.

Sur les 22 modules disponibles pour la **station de la Bénoué à Riao,** le module moyen est de 240 m³/s ; rappelons qu'en 2.3.1 nous avions indiqué une valeur de 250 m³/s correspondant à la moyenne de débits mensuels couvrant une plus grande période en hautes-eaux : 1950, 51, 59, 60, 61, 62, 63, 79 et 80. C'est ce module de 250 m³/s qui correspond donc à la moyenne interannuelle portant sur la plus grande période d'observation. La distribution des 22 modules est gaussique ; sur cette base, il est donc possible d'effectuer les prédéterminations pour un module médian de 250 m³/s et un écart-type de 708 m³/s. Le module spécifique médian est de 8,16 l/s.km². Le coefficient de variation est de 0,283.

En années sèches, le module décennal serait de 160 m³/s, le module vicennal de 135 m³/s, et le module centennal de 88 m³/s.

En années humides, le module décennal serait de 340 m³/s, le module vicennal de 367 m³/s, et le module centennal de 415 m³/s.

Le rapport des modules décennaux, K_3, est de 2,12.

Pour le Mayo Kébi, l'échantillon de 21 modules entre 1955 et 1976 a une moyenne de 103 m³/s ; avec les trois années suivantes, le module tombe à 98,9 m³/s et on a vu qu'en utilisant les relevés d'années incomplètes, le module interannuel serait de 97 m³/s (3,88 l/s.km²).

L'étude fréquentielle montre une distribution hypergaussique des modules. On a retenu l'ajustement suivant une loi de Galton avec les caractéristiques suivantes :

Paramètre d'échelle :	99,510	Coef. de variation :	0,263
Paramètre de position :	0,0	Coef. d'asymétrie :	0,809
Paramètre de forme :	0,259	Coef. d'aplatis. :	1,185

Le module médian serait de 99,5 m³/s.

En années sèches, le module décennal aurait pour valeur 71,4 m³/s, le module vicennal 65,0 m³/s et le module centennal, 54,5 m³/s.

En années humides, le module décennal est de 139 m³/s, le module vicennal de 152 m³/s et le module centennal, de 182 m³/s.

Le rapport des modules décennaux, K_3, est de 1,95.

Le gain de 3 modules d'années sèches dans l'échantillon pourrait conduire à actualiser les résultats tout en gardant une distribution hypergaussique dans l'intervalle des fréquences décennales et nous retiendrons :

Module décennal sec	Module médian	Module décennal humide	K_3
70 m³/s	96 m³/s	138 m³/s	1,97

L'échantillon de modules observés et pris en compte dans l'étude de **la Bénoué à Garoua** comprend 27 valeurs. Le module moyen est de 360 m³/s, l'écart-type est de 93,9 m³/s et le coefficient de variation est de 0,261. Rappelons que la moyenne sur 49 ans a été estimée à 360 m³/s alors que celle des années 1950-80 est estimée à 350 m³/s.

Le meilleur ajustement de l'échantillon considéré porte sur une distribution de Pearson III dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	24,688	Coef. de variation :	0,262
Paramètre de position :	0	Coef. d'asymétrie :	0,524
Paramètre de forme :	14,594	Coef. d'aplatis. :	0,411

Le module médian est de 352 m³/s.

En années sèches, le module décennal est de 246 m³/s ; les modules vicennal et centennal ont pour valeurs respectives 220 et 178 m³/s (ce qui donne un module plus que centennal sec en 1972-73 – Olivry, 1974 e).

En années humides, le module décennal est de 485 m³/s ; les modules vicennal et centennal sont respectivement de 528 et 615 m³/s (en 1960-61, le module a atteint 638 m³/s).

Le rapport des modules décennaux, K_3, est de 1,97.

Pour **le Faro à Safaïe,** on ne dispose que de onze valeurs observées [1] ; c'est nettement insuffisant pour espérer une approche satisfaisante de la prédétermination des modules de ce cours d'eau. La moyenne des 11 modules est de 311 m³/s, l'écart-type de 80 m³/s et le coefficient de variation, de 0,257.

On a tracé dans la figure 10.13 E la droite de Henry (Gauss) et la courbe de Pearson III qui délimitent la zone des meilleurs ajustements des 11 modules. Théoriquement, la loi de Goodrich est pour l'échantillon donné la mieux adaptée.

Ses caractéristiques sont :

Paramètre d'échelle :	151,764	Coef. de variation :	0,263
Paramètre de position :	175,223	Coef. d'asymétrie :	0,858
Paramètre de forme :	0,586	Coef. d'aplatis. :	0,754

Le module médian serait de 398 m³/s.

En années sèches, le module décennal serait de 216 m³/s, les modules vicennal et centennal de 202 et 185 m³/s.

En années humides, le module décennal serait de 423 m³/s et de 464 et 546 m³/s pour les modules vicennal et centennal.

Le rapport K_3 serait de 1,96.

Pour les stations de courte durée sur le Mayo Rey à Tchollire, le Mayo Louti à Figuil et le Mayo Oulo à Golombe, on n'a évidemment pas fait l'analyse fréquentielle faute d'échantillons d'observations. On a seulement procédé à l'estimation du module moyen probable et de son coefficient de variation et déduit des valeurs décennales qui sont très approximatives. Elles sont données dans le tableau 10.18.

(1) Avec trois valeurs complémentaires, la moyenne passe à 310 m³/s et l'écart-type à 81,8 m³/s, donc peu de changement à la droite de Henry.

3.3.2. Signification des résultats

L'ensemble des résultats de l'analyse statistique des modules a été reporté dans le tableau 10.18.

3.3.2.1. Irrégularité interannuelle

Elle est traduite par le coefficient de variation et le rapport des modules décennaux K_3. Les valeurs les plus faibles sont relevées dans le sud du bassin de la Bénoué, en particulier à la station du Buffle Noir. L'irrégularité est importante pour la Bénoué à Riao en grande partie en fonction des apports du Mayo Mbay, dont les branches sont issues du nord-est du Massif de Poli, et des apports aussi très irréguliers du Mayo Godi, plus au nord et issu du Tchad. Compte tenu de la taille du bassin, on peut estimer que l'irrégularité interannuelle de la Bénoué est très importante. Des rapports K_3 de l'ordre de 2 traduisent également cette forte irrégularité, tant pour la branche Bénoué que pour les branches Kébi ou Faro.

A coefficient C_V ou K_3 comparables, l'irrégularité se traduit aussi par la forme des ajustements aux lois de distribution que nous venons de voir.

Ces ajustements ont montré que l'on passait de distributions hypogaussiques au Buffle Noir, c'est-à-dire d'irrégularité interannuelle moindre, à une distribution normale à Riao et hypergaussique à Cossi et Garoua, donc à irrégularité accentuée. L'ajustement est sans doute aussi hypergaussique pour le Faro sur la Bénoué ; l'irrégularité augmente donc de l'amont vers l'aval.

Plutôt que d'y voir un phénomène inverse à ce qui était observé sur les bassins de la Sanaga ou de la Sangha (et encore pas d'une manière générale), précisons que l'irrégularité interannuelle augmente du sud vers le nord lorsqu'on s'affranchit du climat tropical de transition de l'Adamaoua et que le climat tropical pur s'impose.

L'évolution des modules de la Bénoué à Garoua et de son hydraulicité est une autre approche intéressante de l'étude de l'irrégularité du cours d'eau puisqu'elle porte pratiquement sur cinq décennies. La figure 10.14 montre cette évolution à travers la courbe des modules et une courbe que nous avons appelée « courbe des moyennes mobiles pondérées » qui remplace la classique moyenne mobile arithmétique qui ne peut être utilisée si on prétend quantifier un quelconque effet de persistance dans l'évolution de la série climatique, qu'il se traduise par une tendance cyclique ou continue [1].

(1) Cette méthode a été mise au point dans l'étude de l'évolution de la Sécheresse en Sénégambie et aux îles du Cap-Vert ; Olivry (1983). On calcule les « moyennes mobiles pondérées » par la formule : $\ddot{x}_o = \frac{1}{2} \sum_{o}^{n} x_i \, e^{-0,7 \, (t_o - t_i)}$

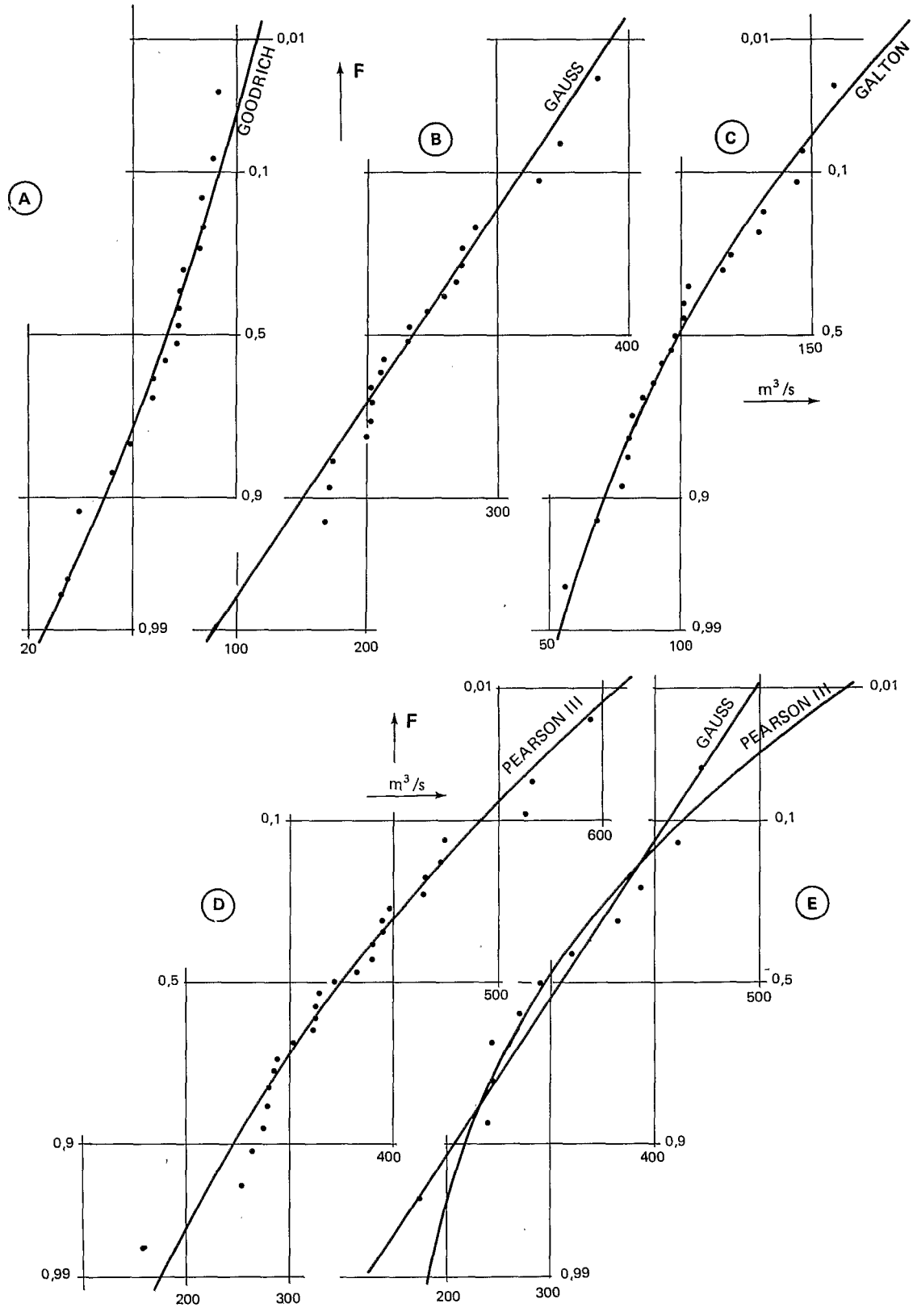


Fig. 10.13. – Analyse fréquentielle des modules sur le bassin de la Bénoué
(Bénoué au Buffle noir : A – à RIAO : B – à Garoua : D – M° Kébi à Cossi : C – Faro à Safaïe : E)

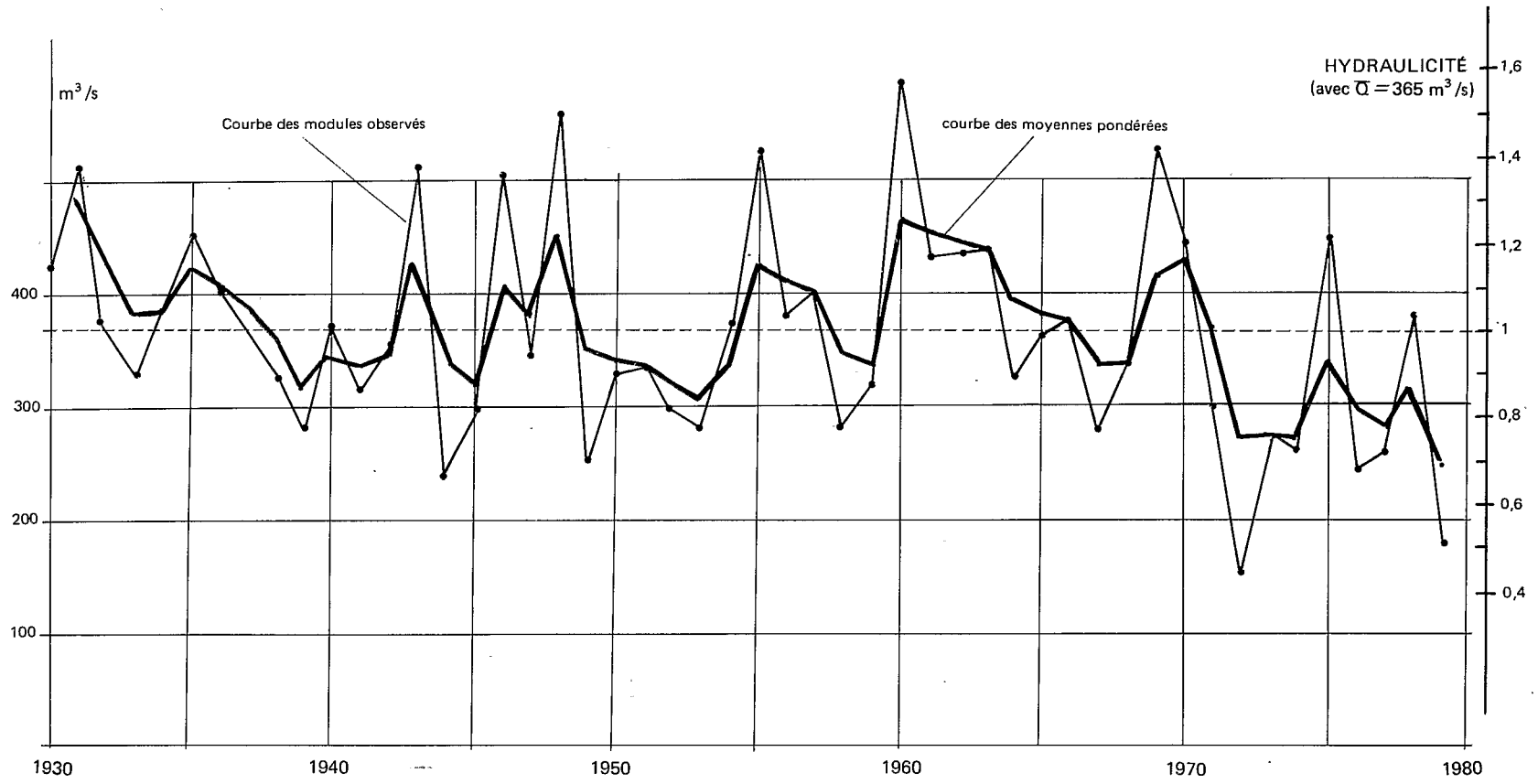


Fig. 10.14. – Évolution interannuelle des modules de la Bénoué à Garoua.

Tableau 10.18. – Tableau récapitulatif de l'étude fréquentielle des modules.

Station (n années)	S km²	Observations			Prédétermination des modules												K_3
					Modules d'années sèches					Médiane		Modules d'années humides					
		Moy	ET	C_V	1/100 m³/s	1/50 m³/s	1/20 m³/s	1/10 m³/s	1/10 l/s.km²	1/2 m³/s	1/2 l/s.km²	1/10 m³/s	1/10 l/s.km²	1/20 m³/s	1/50 m³/s	1/100 m³/s	
Buffle Noir (18)	3 200	46.9	8.9	0.189	23.7	26.6	30.9	34.7	10.8	47.1	14.7	57.2	17.9	59.7	62.4	64.0	1.65
Riao (22 +)	30 650	250	70.8	0.283	88	106	135	160	5.22	250	8.16	340	11.1	367	397	415	2.12
Kébi Cossi (24)	25 000	97	27.0	0.280	54.5	58.5	65	70	2.80	96.0	3.84	138	5.52	152	169	182	1.97
Bénoué Garoua (27)	60 500	360	93.9	0.261	178	194	220	246	4.07	352	5.82	485	8.02	528	579	615	1.97
Faro Safaïe (11 +)	23 500	310	82.8	0.263	*185*	*191*	*202*	*216*	*9.19*	298	12.7	*423*	*18.0*	*464*	*513*	*546*	*1.96*
Mayo Rey	5 240	*55*	*10*	*0.2*	–	–	–	*39*	*7.5*	*55*	*10.5*	*71*	*13.5*	–	–	–	*1.70*
Mayo Louti	5 550	*35*	*10*	*0.3*	–	–	–	*22*	*4.0*	*35*	*6.3*	*48*	*8.6*	–	–		*2.18*
Mayo Oulo	1 160	10	*3*	0.3	–	–	–	*6.5*	5.6	10	*8.6*	13.5	11.6	–		–	*2.08*

D'une manière générale, la série des modules de la Bénoué montre une tendance à la baisse malgré une période d'assez bonne hydraulicité jusque vers 1936, puis du milieu des années 50 à la fin des années 60. Cette tendance à la baisse se retrouve dans toute la zone géographique.

3.3.2.2. Les modules spécifiques

Ils varient considérablement d'un bassin à l'autre puisque l'on passe de 14,7 à 3,88 l/s.km² entre la station du Buffle Noir et celle du Kébi à Cossi.

Station	Q moy l/s.km²	P moy mm	$L_{R.Eq.}$ km
Bénoué Buffle noir	14,7	1 470	87
Bénoué Riao	8,16	1 285	256
Kébi Cossi	3,88	925	213
Bénoué Garoua	5,95	1 130	364
Faro Safaïe	13,2	1 545	259
Mayo Rey	(10,5)	1 420	115
Mayo Louti	6,3	990	126
Mayo Oulo	8,6	1 000	57

Il y a un rapport évident entre les modules spécifiques moyens et la hauteur de précipitation interannuelle reçue par les bassins versants. La relation se précise si l'on fait intervenir en facteur secondaire les dimensions des bassins, que ce soit la superficie ou la longueur du rectangle équivalent. La figure 10.15 indique ces relations. La qualité de la relation $q = f(P)$ serait bonne sans les estimations du Mayo Rey pour lequel l'écoulement a pu être largement sous-estimé. L'étude du bilan confirmera plus loin cette sous-estimation du module que l'on doit rétablir à 70 m³/s, soit 13,3 l/s.km².

La relation admet un coefficient de corrélation de 0,901 et s'écrit : $\bar{q} = 0{,}0149\ P - 8{,}92$ (1).

3.3.3. Relation entre les écoulements des stations de Riao-Cossi et de Garoua

Dès 1951, Bouchardeau (op. cit.) remarquait un décalage entre les débits composants de Riao et Cossi et celui résultant de Garoua et en proposait une explication au moins pour l'année 1951 qui venait d'être observée. Depuis, la question a de nouveau été abordée (Olivry 1979 a, Naah 1981) et le phénomène sera précisé ici sur l'ensemble de la période d'observations communes aux trois stations.

Au niveau des débits mensuels mais aussi des modules, la somme des débits de Riao et Cossi peut, suivant le cas être plus forte que le débit de Garoua ou au contraire nettement plus faible sans que l'apport du bassin intermédiaire puisse expliquer la différence. La superficie des bassins intermédiaires couvre :

$$60\,500 - 25\,000 - 30\,650 = 4\,850 \text{ km}^2$$

dont la majeure partie est tributaire du bas-Kébi.

Au niveau des modules, les résultats devraient indiquer un débit plus fort à Garoua, la différence correspondant aux apports du bassin intermédiaire depuis Cossi et Riao. Le tableau 10.10 résume la chronique des modules à ces trois stations.

(1) Avec les 3 postes de la Mbéré et de la Vina, la relation s'écrit : $q = 0{,}0164\ P - 10{,}6$ et $r = 0{,}913$.

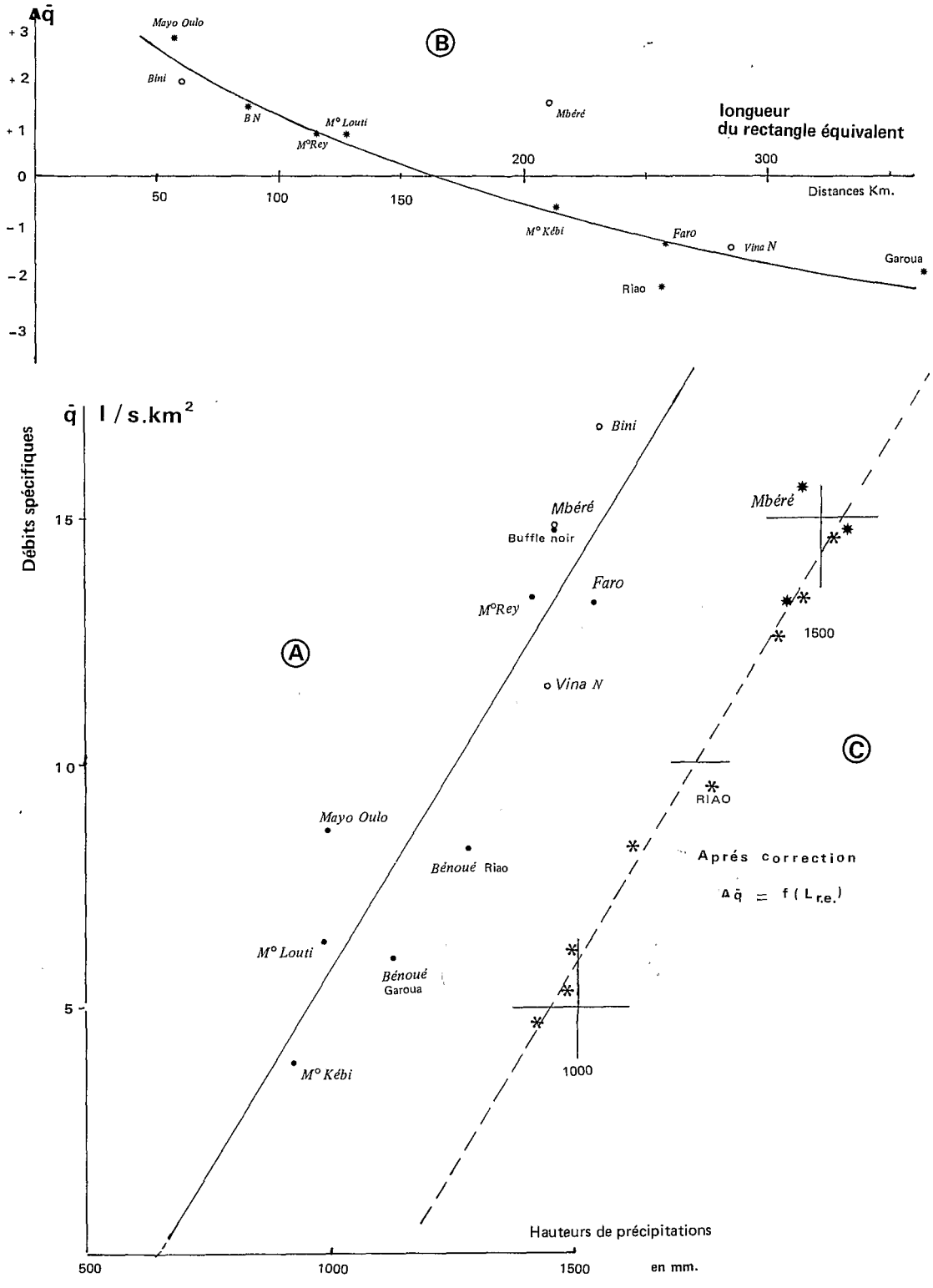


Fig. 10.15
(A) Modules spécifiques et hauteurs annuelles de précipitations ;
(B) Correction des écarts par la longueur du rectangle équivalent ;
(C) Courbe A après correction.

Tableau 10.19. – Comparaison des modules de Riao, Cossi et Garoua (m^3/s).

Année	Riao	Cossi	Somme	Garoua	Excédent	Déficit
1955 - 56	380	131	511	523	12	
56 - 57	294	98.6	392.6	382		10.6
57 - 58	273	102	375	392	17	
58 - 59	173	81.9	254.9	280	25.1	

-----						
63 - 64	275	130	405	356		49
64 - 65	250	68.7	318.7	328	9.3	
65 - 66	216	92.9	308.9	362	53.1	
66 - 67	268	85.9	353.9	392	28.1	
67 - 68	176	79.8	255.8	280	24.2	
68 - 69	234	78.4	312.4	344	31.6	
69 - 70	386	159	545	530		15
70 - 71	310	145	455	443		12
71 - 72	205	89.6	294.6	326	31.4	
72 - 73	99.4	80.4	179.8	158		21.8
73 - 74	173	96.2	269.2	272	2.8	
74 - 75	223	56.1	279.1	266		13.1
75 - 76	344	119	463	453		10
76 - 77	210	64.4	274.4	248		26.4
77 - 78	213	65.5	278.5	260		18.5
78 - 79	305	83.1	388.1	398	9.9	
Moyenne Période	249.7	95.0	344.7	345.6	0.9	

On a tenté d'expliquer au niveau des modules annuels les variations rencontrées année par année aboutissant à Garoua soit à des excédents, soit à des déficits. Si on exclut les faibles valeurs pouvant correspondre aux marges d'erreur des mesures limnimétriques et de l'étalonnage, on peut relever en années excédentaires pour Garoua : 1958, 1965, 1966, 1967, 1971 et, en années déficitaires : 1963, 1969, 1972, 1974, 1976, 1977. La première remarque est qu'il n'y a pas de rapport entre ces excédents ou déficits de Garoua et l'hydraulicité de la Bénoué. La seconde remarque, après examen des débits mensuels des mois d'août, septembre et octobre, tient au rôle joué par leur répartition dans la saison de hautes-eaux. On remarque en effet d'une manière générale que les modules excédentaires de Garoua correspondent à un mois de septembre nettement plus fort que le mois d'août et sans soutien en octobre (sauf pour 1965 où le fort mois d'août est dû à une forte crue du bassin intermédiaire), donc à un hydrogramme aigu. Pour les modules déficitaires, les mois d'août et septembre sont généralement comparables et (ou) le mois d'octobre est très soutenu ; l'hydrogramme est trapu et ceci est valable aussi bien en 1969 qu'en 1972.

L'explication est simple : les pertes par évaporation dans les zones de débordement quelle que soit leur importance relative seront d'autant plus importantes – et par suite le déficit du module de la Bénoué à Garoua – que l'inondation aura été précoce et reste soutenue en octobre. Par contre un hydrogramme aigu suppose une inondation tardive ou un drainage précoce et limite le temps d'évaporation des zones de débordement et par suite fournit à Garoua un module excédentaire.

L'analyse mensuelle interannuelle va permettre de préciser les mécanismes du fonctionnement de la plaine alluviale de la Bénoué.

La distribution mensuelle des débits est la suivante (tableau 10.20).

En mars, avril et mai, les débits de Garoua sont déficitaires par rapport à ceux de Riao et Cossi pour une part assez minime que l'on peut imputer à l'évaporation dans le lit mineur.

De juin à août, le déficit augmente et passe de 14 à 94 m³/s ; il est d'abord utilisé dans l'imbibition des importantes masses sableuses du lit, des berges puis va progressivement envahir et remplir les vastes zones d'inondation du lit majeur. Le niveau du cours d'eau ne monte plus que lentement et, généralement, a atteint son niveau maximum début septembre avec le maximum d'extension de l'inondation des « nadérés » (parfois sous 2 à 3 m d'eau).

En septembre-octobre, dès l'amorce de la décrue, la phase de restitution des zones d'inondation va commencer, d'où excédent à Garoua. Cette restitution est d'abord assez lente, le niveau de la Bénoué commandant l'importance du drainage ; en septembre les apports du bassin intermédiaire compensent une partie de cette restitution. La vidange des nadérés va s'accentuer après le 15 septembre et aussi en octobre ; elle sera encore importante en novembre bien qu'il n'y ait plus excédent. Cependant, pour certaines cuvettes en dépression, cette restitution n'aura pas lieu.

De novembre à janvier, on observe de nouveau un déficit dans les débits de Garoua, les pertes par évapotranspiration dépassant très vite les débits de restitution des nadérés. En décembre, ces pertes sont maximales. En janvier, elles se limitent au lit mineur et finissent par s'annuler en février où on observe encore quelques apports minimums d'affluents secondaires.

Donc on peut considérer que l'on a trois phases principales : – phase de déficit en début de saison des pluies par infiltration, saturation, puis remplissage des zones d'inondation ; – phase d'excédent en fin de

Tableau 10.20.

Station	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
Riao	1.30	5.31	33.0	221	865	1236	508	83.8	27.3	8.35	4.48	2.35	249.7
Cossi	1.62	5.90	44.8	135	320	332	161	71.9	40.5	17.1	6.47	2.62	95.0
Total	2.92	11.2	77.8	356	1185	1568	669	155.7	67.8	25.4	10.95	4.97	344.7
Garoua	2.53	10.6	63.9	304	1091	1695	736	150.2	53.3	23.7	11.22	4.53	345.6
Excédent						127	67				0.27		0.93
Déficit	0.39	0.61	14	52	94			5.5	14.5	1.7		0.44	

saison des pluies par vidange de ces mêmes zones ;
– nouvelle phase déficitaire en saison sèche due aux pertes par évapotranspiration.

Les phases déficitaires sont encore plus importantes qu'il ne paraît puisque les apports spécifiques aux bassins intermédiaires n'ont pas été pris en compte. La figure 10.16 propose pour les mois de hautes-eaux l'analyse de ces mécanismes (Naah, 1981).

L'excédent interannuel à Garoua n'est que de 0,93 m³/s sur 20 ans ; cette valeur, tout à fait fortuite, est évidemment sans rapport avec l'écoulement du bassin intermédiaire puisqu'elle ne représente que 0,2 l/s.km². Si on estime que l'écoulement des bassins intermédiaires doit être de l'ordre de 6 l/s.km² (cf. figure 10.15), ce serait donc en moyenne un volume de 0,9 10^9 m³ qui manquerait chaque année à l'exutoire du bassin à Garoua, volume qui serait consommé en plus du bilan normal des bassins par l'évaporation des zones de débordement et d'inondation de la vallée et de la plaine alluviale. On voit tout de suite que ces zones sont insuffisamment étendues pour fournir un tel volume d'évaporation pendant la période d'inondation. Un mètre d'évaporation sur 40 000 ha ne donne que 400 10^6 m³, soit moins de la moitié du volume manquant.

Cela signifie un déficit d'au moins 500 10^6 m³ pour un volume annuel mesuré de 11,4 10^9 m³, soit une sous-estimation de près de 5 % que ne laisse pas présager l'étalonnage obtenu dont la précision n'est pas mauvaise.

Il paraît plus raisonnable de reconsidérer l'importance des apports intermédiaires et en particulier le débit spécifique choisi. A Sanguéré, Casenave (1978) a établi le bilan moyen de l'écoulement d'un bassin de 86 km² sur les grès de Garoua ; le débit spécifique moyen est inférieur à 2 l/s.km². Ces grès ne constituent certes qu'une partie des bassins intermédiaires mais en tous cas leur partie aval, ce qui entraîne de larges possibilités d'infiltration d'apports amont dans la nappe des grès qui échappe au contrôle de Garoua. D'autre part, les bassins amont sur socle sont marqués par des reliefs peu accentués ne favorisant pas les écoulements ; les modules spécifiques y sont probablement de l'ordre de 4 l/s.km².

En conclusion, faibles écoulements spécifiques et infiltration d'une part, vastes zones soumises à l'évapotranspiration d'autre part expliquent que le gain de débit à Garoua par rapport aux débits de Riao et Cossi soit pratiquement nul.

3.3.4. Lames écoulées et bilan hydrologique

Les lames écoulées ont été calculées à partir des modules interannuels de chaque bassin. Elles ont été réunies dans le tableau 10.21 ci-après, avec les autres termes du bilan hydrologique et le coefficient d'écoulement.

Tableau 10.21.

Station	He	P	De	Ke %
Buffle Noir	464	1 470	1 006	31.6
Riao	257	1 285	1 028	20.0
Cossi	122.4	925	803	13.2
Garoua	188	1 130	942	16.6
Safaïe	416	1 545	1 129	26.9
Mayo Rey*	*331*	1 420	*1 089*	*23.3*
" Louti	199	990	791	20.1
" Oulo	271	1 000	729	27.1

* Valeurs douteuses comme indiqué dans le texte.

L'examen de ce tableau montre, comme en 3.3.2.2., une surestimation du déficit d'écoulement du Mayo Rey à Tcholliré ; cela signifie plus probablement une lame écoulée sous-estimée qu'une lame précipitée surestimée. Pour ramener le déficit d'écoulement à 1 000 mm, valeur régionale probable, la lame écoulée devrait être de 420 mm, le débit spécifique interannuel passant à 13,3 l/s.km² et le module à 70 m³/s (1). Le coefficient d'écoulement passerait à 29,6 %.

Dans le cas du Faro, le déficit peut paraître un peu excessif mais la demande en évapotranspiration est satisfaite plus longtemps dans l'année du fait de la position géographique du bassin par rapport à celle des autres bassins.

Le coefficient d'écoulement passe de 30 % à 13 %, depuis le sud du bassin de la Bénoué (Buffle Noir, Mayo Rey) jusqu'au bassin du Kébi. Le bassin de la Bénoué à Garoua a un coefficient voisin de 17 %. L'effet latitudinal croît très vite dans la baisse du coefficient d'écoulement avec la disparition progressive des petits et moyens cours d'eau pérennes.

3.3.5. L'aménagement de la Bénoué

L'amélioration de la navigabilité de la Bénoué a constitué dès 1950 une des tâches annexes de la Commission Scientifique du Logone et du Tchad. Des études ont été reprises en 1954 par l'ORSTOM et Électricité de France pour le compte du Service des Ports et Voies Navigables et ont débouché sur la création du Service d'Annonces des Crues de la Haute-Bénoué et un rapport complet sur les projets d'aménagements (1958, op. cit.).

(1) A noter qu'alors la relation établie en 3.3.2.2. est parfaite.

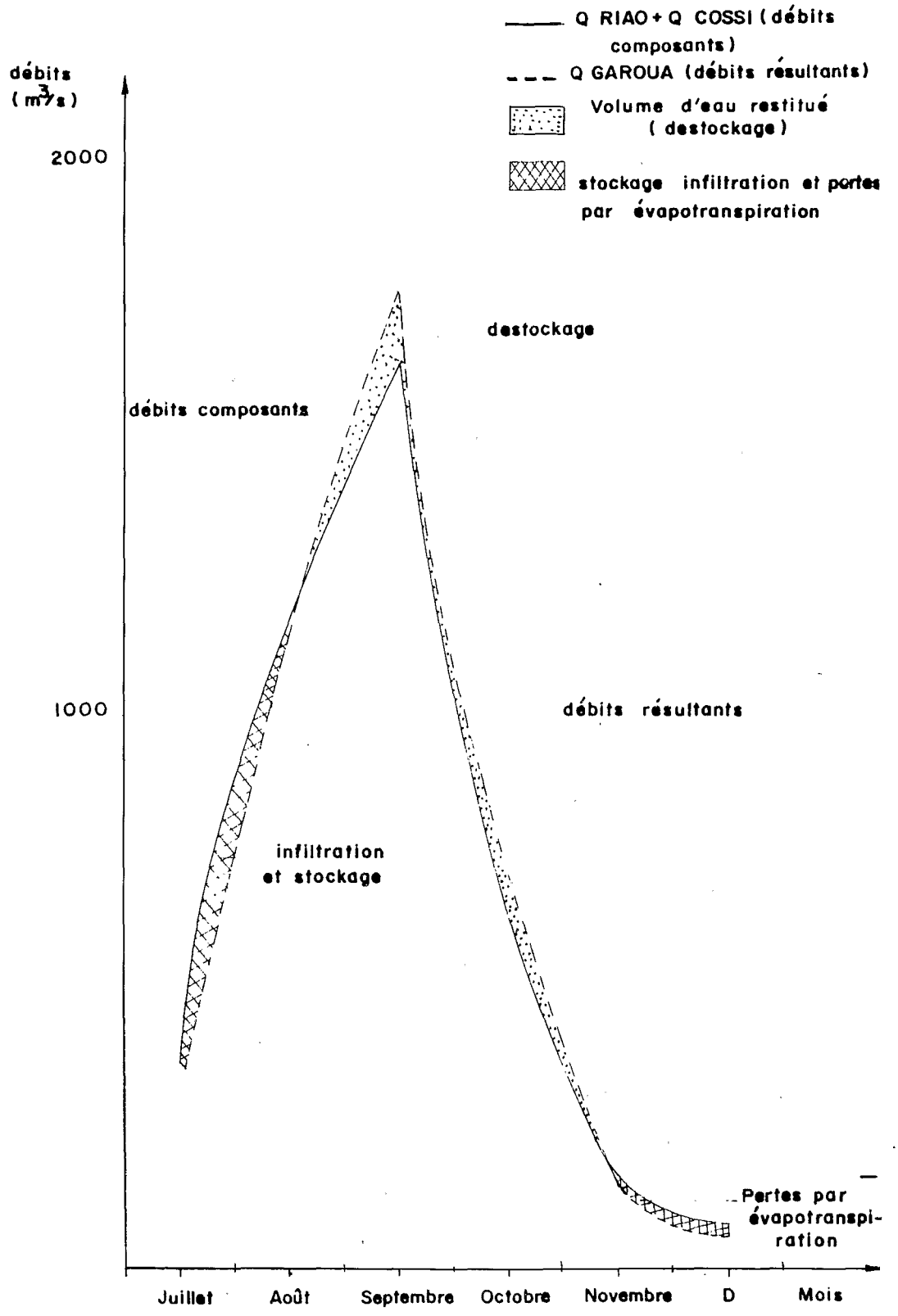


Figure 10.16. – Différences entre débits composants à Riao et Cossi et débits résultants à Garoua (valeur moyenne de la période 1955-1980) (d'après Naah, 1981).

Indépendamment de multiples problèmes complexes relatifs à la navigation sur la Bénoué, une des principales solutions d'amélioration consistait dans la régularisation du cours d'eau. Les sites intéressants sont peu nombreux puisqu'ils sont au nombre de deux :

- les sites de Kahalla ou Cossi sur le Mayo Kébi barrant le lac de Léré pour une réserve de 600 10^6 m^3 ;
- le site de Lagdo sur la Bénoué en amont de Riao, créant un réservoir destiné alors à 6 10^9 m^3.

Les études avaient alors montré que la navigation entre le confluent du Faro et Garoua était possible pour un tirant d'eau de 1,35 m ou un débit de 400 m^3/s, tandis que plus en aval, la navigation n'était possible au seuil d'Ouro-Boki (Nigeria) que pour un débit de 1 000 m^3/s. La régularisation par le barrage de Lagdo devait permettre de garantir la navigation pendant 140 jours.

Depuis, le développement des transports routiers et des infrastructures a fait sensiblement reculer la priorité d'une navigation régularisée sur la Bénoué. L'aménagement de la Bénoué est basé sur la préoccupation essentielle d'une mise en valeur agricole des terres alluviales de la vallée par la maîtrise de l'eau. Un développement agro-industriel est en particulier prévu.

De ce fait, le barrage de Lagdo se voyait affecté d'une triple vocation :

- agriculture,
- amélioration de la navigabilité,
- production électrique.

Un rapport EDC de 1973 reprenant les études IGECO (EDF) et ORSTOM (op. cit.) proposait plusieurs « pointures » du barrage de Lagdo pour des cotes maximales de la retenue entre 210 et 218 m.

En définitive, la coopération chinoise prenait à son compte, dès 1974, la réalisation de l'ouvrage et reprenait une partie des études effectuées (1). La SEDA indiquait que la cote retenue serait de 216 m, et ce Bureau-Conseil du Ministère recommandait un certain nombre de travaux à réaliser parallèlement à la construction du barrage.

Un schéma de la modification prévisible des crues de la Bénoué en aval de Lagdo avait été proposé en 1973. La figure 10.17 donne ce document tiré de travaux ORSTOM (1973) et repris par la SEDA (1976). Nous avons signalé dans l'étude des crues quelques modifications aux résultats antérieurs qui étaient basés sur des ajustements suivant des lois de Galton. Les modifications restent suffisamment minimes pour que le schéma soit toujours d'actualité. Celui-ci propose dans le même temps les cotes atteintes par ces crues aux échelles respectives de Riao et de Garoua.

Avec la mise en exploitation du barrage, on prévoit un débit turbiné moyen de 200 à 250 m^3/s selon la charge qu'il y aura sur les turbines :

- 200 m^3/s quand le barrage est plein,
- 250 m^3/s quand le barrage est en fin d'exploitation.

Le débit de lâchure comprend donc, ce débit turbiné plus ou moins modulé suivant les besoins immédiats en électricité, le débit nécessaire à l'irrigation des zones aménagées et celui nécessaire à la navigation dans la mesure où l'on se trouve dans la période prévue.

Sur ce schéma un peu simplifié, le débit en aval de Lagdo va varier entre les débits amortis de crue et un débit de lâchure de base de 250 m^3/s. C'est dans cette gamme de débits qu'il convenait de préciser l'évolution de la vallée en aval de Lagdo, en particulier pour la prévision de tous les ouvrages d'irrigation et de drainage des aménagements agricoles prévus.

Dans le cadre de nos travaux au sein de l'IRTISS (ONAREST) puis IRGM (DGRST), nous avons donc été amené à étudier en 1978 le profil de la Bénoué en aval de Lagdo (Olivry, 1979), relayé par E. Naah les années suivantes (1980, 1981).

La carte de la figure 10.19 indique les emplacements des échelles limnimétriques qui ont été installées pour nos études dans la vallée de la Bénoué et du bas-Kébi. Elle montre dans le même temps l'importance des zones d'inondation tant sur la Bénoué que sur le Faro ou le Kébi.

Les résultats principaux de l'étude ont été portés dans la figure 10.19. Les profils de la Bénoué entre Lagdo et la frontière nigeriane qui sont donnés correspondent pratiquement aux variations extrêmes des débits dans les conditions nouvelles de l'écoulement.

Celui-ci devra toutefois être précisé au fil des années de gestion du barrage.

3.3.6. Conclusions

La première phase d'aménagement du bassin de la Bénoué en modifiant l'écoulement en aval de Lagdo, en noyant les vallées jusqu'en amont des confluents avec les mayos Mbay, Godi et Rey, ne doit pas être le prétexte d'un abandon des mesures hydrologiques sur le bassin de la Bénoué.

A l'issue de nos travaux dans cette région, force est de dire qu'il subsiste pas mal d'inconnues sur le comportement hydrologique de mayos torrentueux comme le Louti ou le Tiel, des mayos des régions Est proches du Tchad (Godi) ou encore du Faro. De nouvelles observations doivent être recueillies, des mesures doivent être développées ; une comparaison avec les stations voisines du Nigeria serait profitable.

(1) A cette époque, j'ai participé activement avec les hydrologues de la Mission Chinoise à la mise à jour des études ; de longues journées ont été passées en explications sur l'ensemble des mesures et données de base recueillies par l'ORSTOM ; cette collaboration s'est faite dans le cadre de nos rapports avec le ministère des Mines et de l'Énergie.

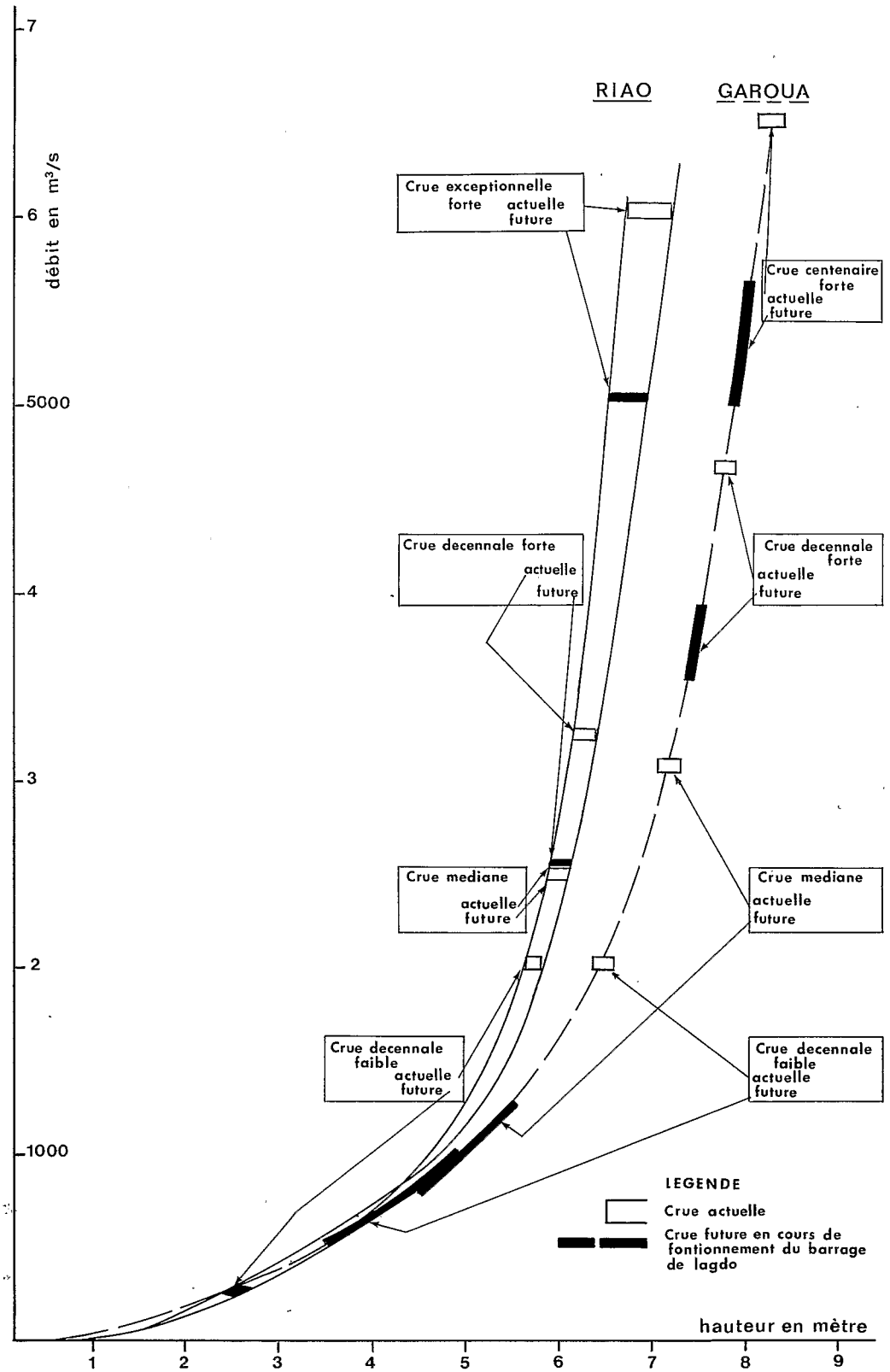


Fig. 10.17. – Modification prévisible des crues de la Bénoué en aval de Lagdo.

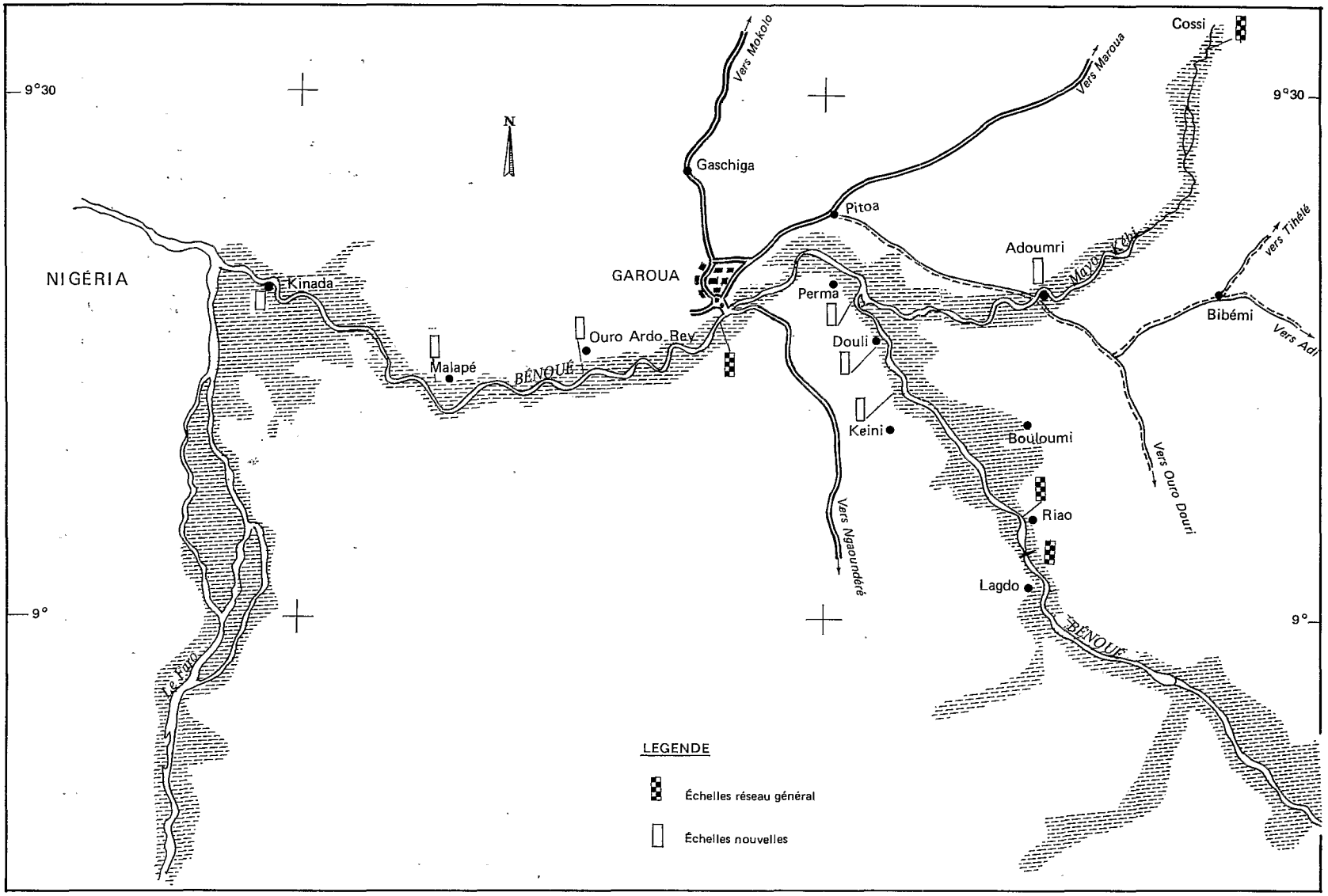


Fig. 10.18. – Carte de situation. Réseau de la Bénoué en aval de Lagdo.

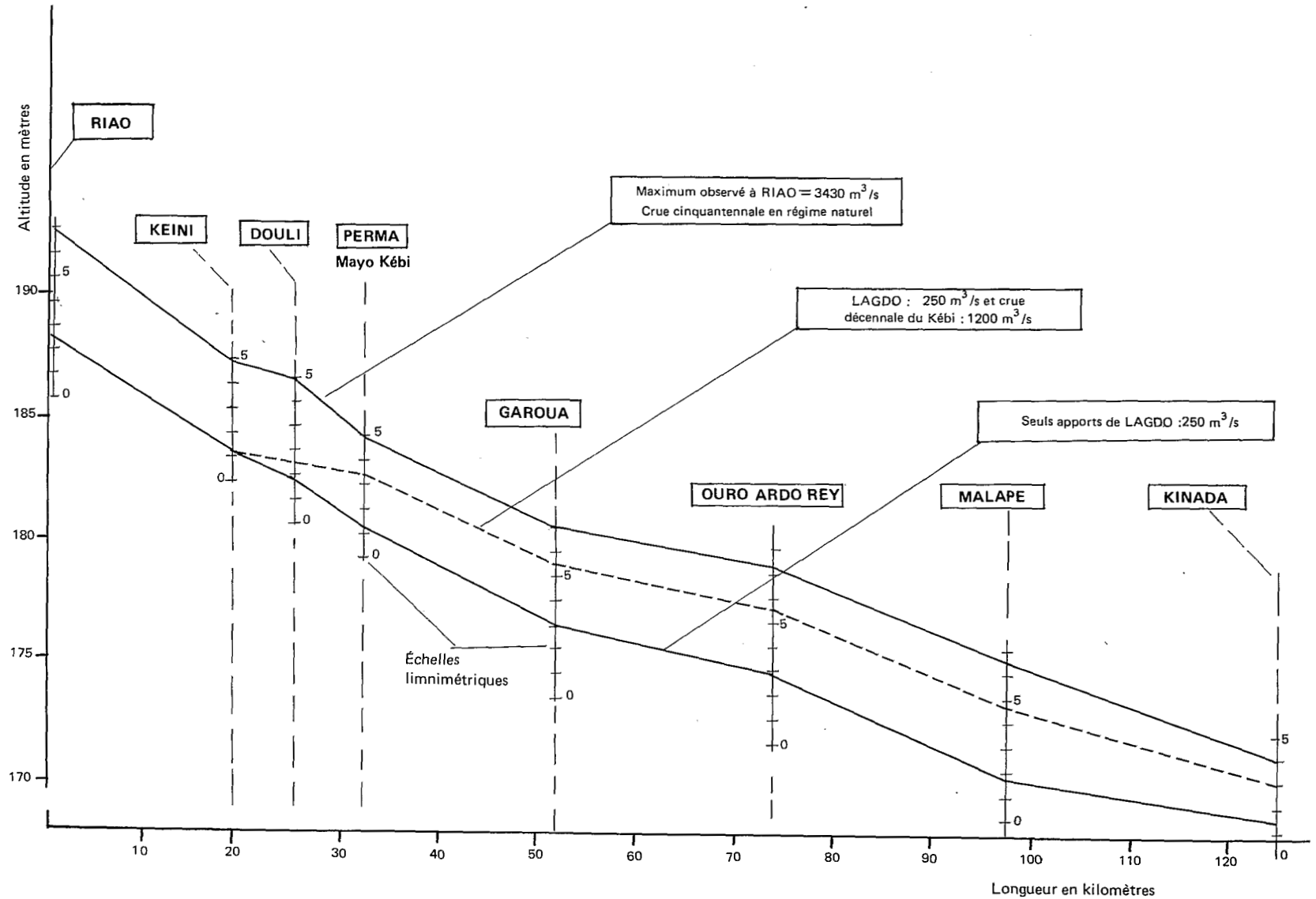


Fig. 10.19. – Profils de la Bénoué entre Lagdo et la frontière nigérianne pour des variations de débits extrêmes (débit minimal de Lagdo 250 m³/s et crue maximale à Riao).

Il n'est pas exclu qu'une analyse de fond des jaugeages effectués permette d'obtenir une meilleure précision des étalonnages.

A son entrée au Nigeria, la Bénoué draine un bassin de 95 000 km². Le bilan des apports en année moyenne peut être déterminé avec une assez bonne approximation. Il correspond au volume qui a transité à Garoua dont le module interannuel est de 360 m³/s, augmenté du volume mesuré à Safaïe correspondant à un module de 310 m³/s et des volumes provenant des bassins intermédiaires.

Les bassins intermédiaires totalisent 11 000 km² dont 2 600 km² pour le Mayo Tiel (6 l/s.km²), 7 800 km² sur d'autres bassins entièrement sur les grès de Garoua (2 l/s.km²) et 600 km² en zones d'inondation (évaporation). Ces apports complémentaires peuvent être estimés à 30 m³/s.

Le module de la Bénoué serait donc à sa sortie du Cameroun de 360 + 310 + 30 = 700 m³/s, soit 7,37 l/s.km².

Le volume annuel moyen serait de 22,1 milliards de m³.

CHAPITRE XI

Les tributaires camerounais du bassin du lac Tchad

Les tributaires camerounais du bassin du lac Tchad comprennent :
- d'une part, en tête de bassin les branches mères du Logone : la Mbéré et la Vina-Nord ;
- d'autre part, à l'extrême nord du pays l'ensemble des mayos dont l'écoulement concerne le Yaéré et le Logone, puis le delta du Logone-Chari et le lac.

Une monographie du Logone (1968) a fait largement le point des connaissances sur les régimes hydrologiques de cette région. La monographie hydrologique du lac Tchad (Touchebeuf de Lussigny, 1969), celle du Chari (1974) et les travaux de M.A. Roche complètent vers le Nord l'information intéressant le Cameroun. D'autres travaux plus récents (Chouret 1977 ; Gac 1979 ; Benech et al. 1982) seront aussi utilisés pour ce qui concerne le Cameroun.

Mais, en dehors de généralités sur le bassin du Logone ou celui du Tchad, nous n'aborderons ici que les données spécifiquement camerounaises renvoyant le lecteur aux ouvrages de référence pour un aperçu plus complet de l'ensemble de ces bassins hydrographiques.

1. ÉTUDE HYDROLOGIQUE DES BASSINS DE LA VINA-NORD ET DE LA MBERE : LE LOGONE SUPÉRIEUR

1.1. Généralités

Le Logone et le Chari sont les deux principaux tributaires du Lac Tchad. Le Logone supérieur drainant les zones arrosées de l'Adamaoua oriental au Cameroun offre des apports plus importants en valeur relative que ceux du Chari. Le rapport des débits est de 2 pour le Chari quand celui des superficies dépasse 5.

La branche majeure du Logone est constituée par la Vina du Nord qui prend le nom de Logone après son confluent avec la Mbéré. Le confluent de ces deux rivières est situé à la frontière tchado-camerounaise. Le bassin versant de ces deux cours d'eau est pratiquement exclusivement camerounais. De Baïbokoum, qui contrôle au Tchad les apports de ces deux bassins à Moundou, le Logone ne s'est enrichi que du Lim venu de Centrafrique [1] et de la Nya dont la tête de bassin de ses affluents se situe au Cameroun.

A Moundou, le Logone a déjà atteint la plaine tchadienne. Plus en aval, il reçoit la Pende [2], puissant affluent de rive droite qui draine la région de Bocaranga en Centrafrique et a un régime comparable au Logone. Les apports contrôlés à la station de Laï constituent l'essentiel des volumes du Logone. C'est d'ailleurs à cette station que les auteurs conviennent de limiter l'extension du bassin du Logone supérieur. On verra plus loin les différences fondamentales qui existent avec le bassin du Logone inférieur.

1.1.1. Réseau hydrographique de la Vina-Nord

La Vina-Nord a sur l'ensemble de son cours une direction générale W-E à WSW-ENE. Elle prend sa source dans le massif de l'Adamaoua au Ngaou Djam à 1 435 m d'altitude. Sur le plateau, elle porte le nom de Bini et son cours traverse plusieurs zones de marécages dont le Lac Bini et une vaste zone de prairies à plus de 1 000 m d'altitude. Sa pente (1 ‰) est faible pour une tête de bassin. Elle franchit après les sites hydrauliques de Warak, par une série de chutes et rapides (dénivelée de 180 m), le rebord abrupt du plateau (entre les km 68 et 74 depuis la source).

(1) Le Lim prend sa source au Mont Gaou (1 420 m) (dans le massif de Yade) lequel marque la limite entre les bassins du Tchad, de la Sanaga (Lom) et du Congo (Nana).

(2) On l'appelle parfois Logone oriental, Vina et Mbéré formant le Logone occidental.

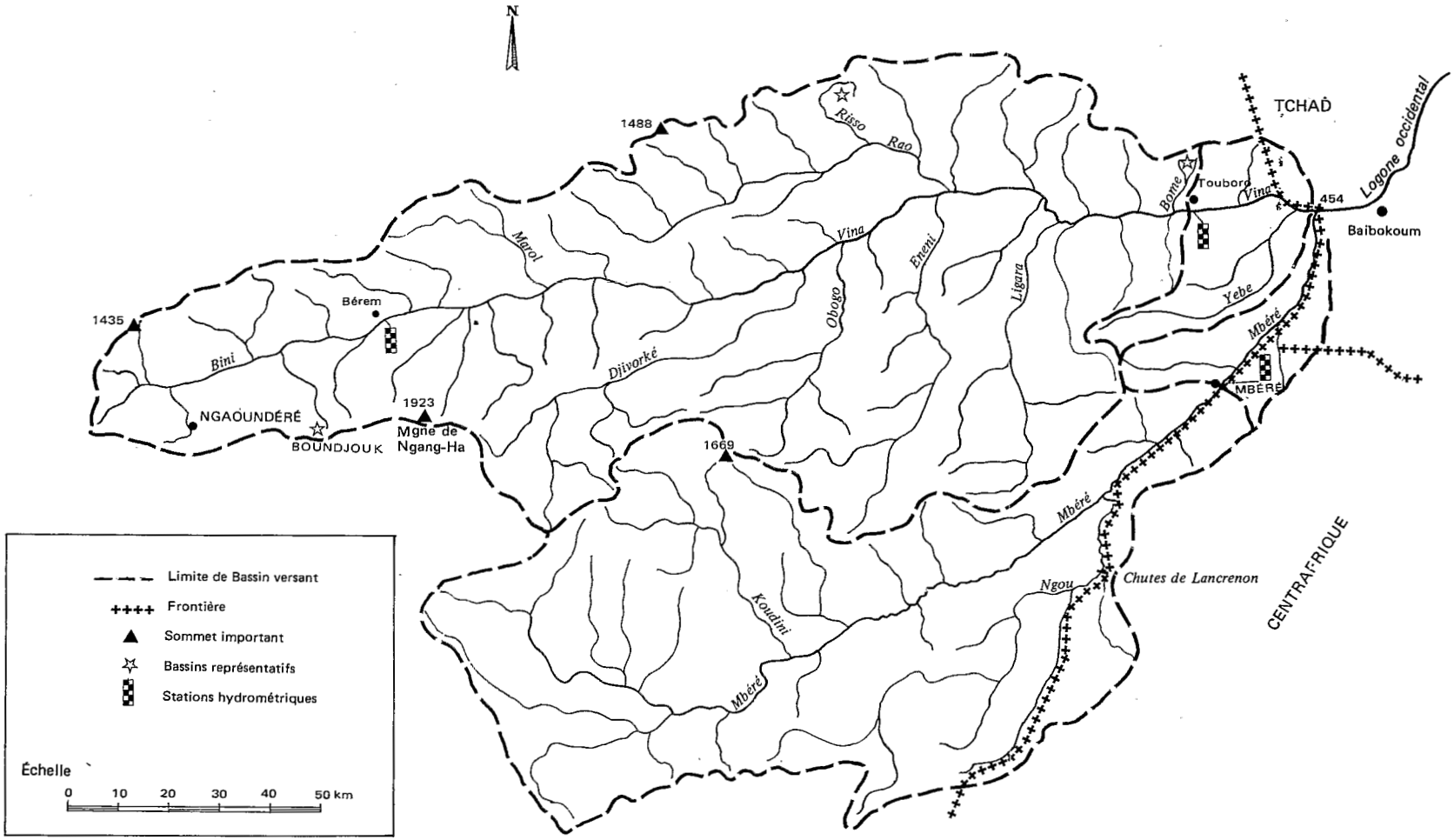


Fig. 11.1. – Hydrographie des bassins de la Vina du Nord et de la Mbéré.

Après la station de Berem, la Vina s'engage dans une large dépression entre 500 et 800 m d'altitude. Cette région, recouverte d'une savane boisée et inhabitée, est particulièrement difficile d'accès. A 180 kilomètres de sa source, la Vina sort de cette plaine en franchissant par les rapides de Saoumbaï le verrou montagneux des Ngaous Latoura et Ko (dénivelée de 90 m). Après avoir reçu les affluents Djivorke au km 181 et Obogo au km 191, la Vina s'enfonce dans les gorges profondes jusqu'à son confluent avec l'Eneni en rive droite (km 220) et avec le Rao (km 222), affluent de rive gauche qui draine avec le Risso la région de Ndok [1]. Le Rao a une longueur de 90 km. Il prend sa source à 1 360 m d'altitude et coule selon une direction générale W-E.

Sur tout son cours moyen, la Vina présente une pente assez forte de 2,5 ‰. En creusant son lit dans le plateau gréseux crétacé de Sora Mboum, la Vina décrit des méandres et sa pente tombe à 0,65 m/km en moyenne. Des bancs gréseux plus résistants créent de petits rapides.

A la sortie de ce plateau, la Vina traverse un défilé rocheux (Massif du Ngaou Koumban) constituant un site de barrage particulièrement intéressant [2].

Au km 254, la Vina a reçu en rive droite la Ligara ; la vallée recoupe les fractures du fossé de la Mbéré dans une zone de basses collines souvent latéritisées sur 40 km environ. Le lit mineur a dans cette section environ 80 m de largeur et des berges de 3 à 5 mètres de hauteur. La station de Touboro est atteinte à 282 km de la source de la Vina. Une dernière barre rocheuse avant le confluent avec la Mbéré donne au km 302 les rapides et chutes de Sahao.

Après son confluent avec la Mbéré, au km 314 depuis la source, le lit mineur du Logone s'élargit jusqu'à 200 et 300 m avec des zones de débordement et d'inondation qui étaient pratiquement inexistantes au Cameroun. La station de Baïbokoum est atteinte au km 324. Le Logone s'étale en même temps que la pente diminue. Le lit du Logone change d'aspect. A l'érosion active du haut-bassin succède un remblaiement qui va s'accentuer vers l'aval, surtout à partir de Laï. Entre Baïbokoum et Moundou, il y a formation progressive d'une plaine d'inondation continue de 9 à 5 km de large, le lit mineur du Logone s'élargissant jusqu'à 400 et 500 m avec des ilôts et bancs de sable.

1.1.2. Réseau hydrographique de la Mbéré

La Mbéré a une direction générale SW-NE et constitue le drain du « fossé tectonique de la Mbéré » orienté dans la même direction. Elle a une longueur totale de 250 km.

Elle prend sa source au nord de Meiganga à 1 080 m d'altitude. Alors que le bassin de la Vina s'épanouit largement vers l'aval, le bassin de la Mbéré se rétrécit au contraire après avoir reçu les affluents de rive gauche qui drainent la partie orientale du massif du Ngangha (1 669 m) pour s'allonger dans le couloir étroit formé par le fossé d'effondrement post-Crétacé. Le fond de la vallée se présente sous une forme dissymétrique ; la pente transversale est beaucoup plus forte en rive droite qu'en rive gauche. Ceci explique que les affluents de rive gauche soient nettement plus développés. Les plus importants sont de l'amont vers l'aval : la Mambaka, le Mandim, la Koudini et le Touldoro.

La pente moyenne des 80 premiers kilomètres est de 5 ‰ ; elle passe ensuite à 1 ‰ en moyenne jusqu'à son confluent avec la Vina.

A 150 km de sa source, la Mbéré reçoit en rive droite un affluent important, le Ngou, drainant la région nord-est de Meiganga, continuation orientale de l'Adamaoua qui se poursuit en Centrafrique. Le Ngou a un bassin de 1 690 km² et montre une véritable vallée perchée à faible pente longitudinale de direction SW-NE comme la Mbéré. Le Ngou prend sa source à 1 240 m d'altitude et a une longueur totale de 114 km.

A proximité du confluent, le Ngou s'oriente au nord et rejoint le fossé de la Mbéré par une série de chutes et de rapides dont les plus belles sont les Chutes Lancrenon. Avec 200 à 300 m de chutes, il y a là bien entendu un potentiel hydro-électrique intéressant d'autant que les aménagements ne semblent pas poser de grands problèmes de réalisation [1].

Le lit de la Mbéré s'élargit après le confluent du Ngou sans que la pente diminue sensiblement. La Mbéré franchit encore 2 séries de chutes, 5 et 10 km avant de rejoindre la Vina : les Chutes Karioka de 15 m de hauteur et celles de Ho (13 m).

1.1.3. Profils en long et hypsométrie des bassins

Les profils en long de la Vina-Nord sont indiqués dans la figure 11.2. Leurs principales caractéristiques ont été indiquées ci-après ainsi que la répartition hypsométrique des bassins.

Les distances kilométriques ont été prises en prenant pour origine la station de Moundou sur le Logone.

(1) Haut-lieu cynégétique du Cameroun.

(2) Le projet de Koumban a été retenu dans le cadre d'études sur la Régularisation du Logone par les Nations-Unies.

(1) Les faibles densités de population, le débit limité en étiage laissent cependant penser que ces eaux resteront encore longtemps sauvages pour le plaisir des yeux et de Simulium damnosum.

Vina-Nord – Logone

a) Profil en long

Km 410-404	52 ‰	
404-383	4 ‰	
383-342	0.92 ‰	
342-336	27 ‰	Passage de la falaise
336-330	5 ‰	Km 330 station de Berem
330-282	1,14 ‰	
282-260	1,8 ‰	
260-248	2,9 ‰	
248-246	20 ‰	
246-216	2,7 ‰	
216-212	10 ‰	
212-186	0,77 ‰	Km 186 confluent du Rao
186-175	0,45 ‰	Km 175 station de Sora Mboum
175-128	0,53 ‰	Km 128 station de Touboro
128-96	0,78 ‰	Km 96 confluent Mbéré-Vina : frontière
96-84	0,41 ‰	Km 84 station de Baïbokoum
84-58	0,73 ‰	Chutes Coquel
58-0	0,53 ‰	Km 32 confluent de la Nya – Km 0 Moundou.

b) Répartition par tranches d'altitude du bassin de la Vina à Touboro

Altitude	%	Altitude	%
1923-1800	0,12	1100-1000	11
1800-1700	0,18	1000-900	11,5
1700-1600	0,3	900-800	13,7
1600-1500	0,4	800-700	15,6
1500-1400	1,0	700-600	13,1
1400-1300	2,9	600-560	5,6
1300-1200	5,6	560-520	3,8
1200-1100	10,2	520-480	5,0

Altitude moyenne : 876 m Indice de Pente : 0,060

Mbéré et Ngou

a) Profil en long

Km 250-220	4 ‰	
220-210	8 ‰	
210-176	2 ‰	
176-148	6 ‰	
148-82	0,9 ‰	Km 82 confluent du Ngou
82-14	1 ‰	Km 48 station de Mbéré
14-0	3 ‰	Chutes de Karioka et d'Ho.

Pour le Ngou : km 114-88 : 3 ‰ ; km 88-70 : 2 ‰ ; km 70-58 : 1 ‰ ; km 58-36 : 5 ‰ ; km 36-26 : 1 ‰ ; km 26-17 : 7 ‰ ; km 17-10 : 39 ‰, 270 m de dénivelée ; km 16-5 : Chutes de Lancrenon ; km 10-0 : 7,5 ‰.

b) Répartition par tranche d'altitude de la Mbéré à Mbéré.

Altitude	%	Altitude	%
1770-1700	0,2	1100-1000	14,2
1700-1600	0,3	1000-900	9,7
1600-1500	2,5	900-800	8,1
1500-1400	4,5	800-700	7,5
1400-1300	7,0	700-600	6,2
1300-1200	20,5	600-560	1,5
1200-1100	17,3	560-547	0,5

Altitude moyenne : 1 078 m Indice de Pente : 0,069.

1.2. Caractéristiques des bassins et données de base

1.2.1. Caractéristiques des bassins contrôlés par des stations hydrologiques

Elles sont réunies dans le tableau 11.1

1.2.2. Les précipitations

Le réseau pluviométrique en place sur les bassins de la Vina et de Mbéré manque particulièrement de densité et pour les quelques postes existants, la durée d'observation est souvent très faible. C'est donc à partir de stations voisines des bassins comme Ngaoundéré et Meiganga au Cameroun, Bocaranga, Sarki et Ndim en Centrafrique, Baïbokoum, Pandzangue et de la seule station de Touboro qu'a été déterminé le dessin des isohyètes interannuelles en tenant compte des éventuels effets orographiques.

Des travaux d'homogénéisation des données (Bouchardeau et al., 1969) portaient alors sur 25 ans entre 1940 et 1964. La comparaison pour quelques stations des moyennes actuelles avec celles établies précédemment montre une relative stabilité des résultats qui s'explique en partie par le poids relativement plus important de la décennie déficitaire des années 40 sur un échantillon court par rapport au poids des années 70 dans un échantillon dont la taille a doublé.

Nous admettrons que les bassins étudiés reçoivent en année normale une hauteur de précipitations annuelle de :

1 560 mm pour la Bini à Berem
1 360 mm pour le Rao à Foumban
1 460 mm pour la Vina à Sora Mboum
1 440 mm pour la Vina à Touboro
1 370 mm pour le Ngou à Bouyan'Gou
1 470 mm pour la Mbéré à Mbéré
1 440 mm pour le Logone à Baïbokoum
1 380 mm pour le Logone à Moundou
1 360 mm pour le Logone à Laï.

1.2.3. Les débits

Les stations sur la Vina

A l'exception de la Bini à Berem, aucune autre station camerounaise n'a été suivie sur le bassin de la Vina sur une période assez longue pour permettre une étude de détail. Les observations coïncident alors avec la durée d'études particulières telles que celles de Touboro ou du Risso (Lefèbvre et al., 1966d ; Nouvelot, 1967b ; Naah, 1979).

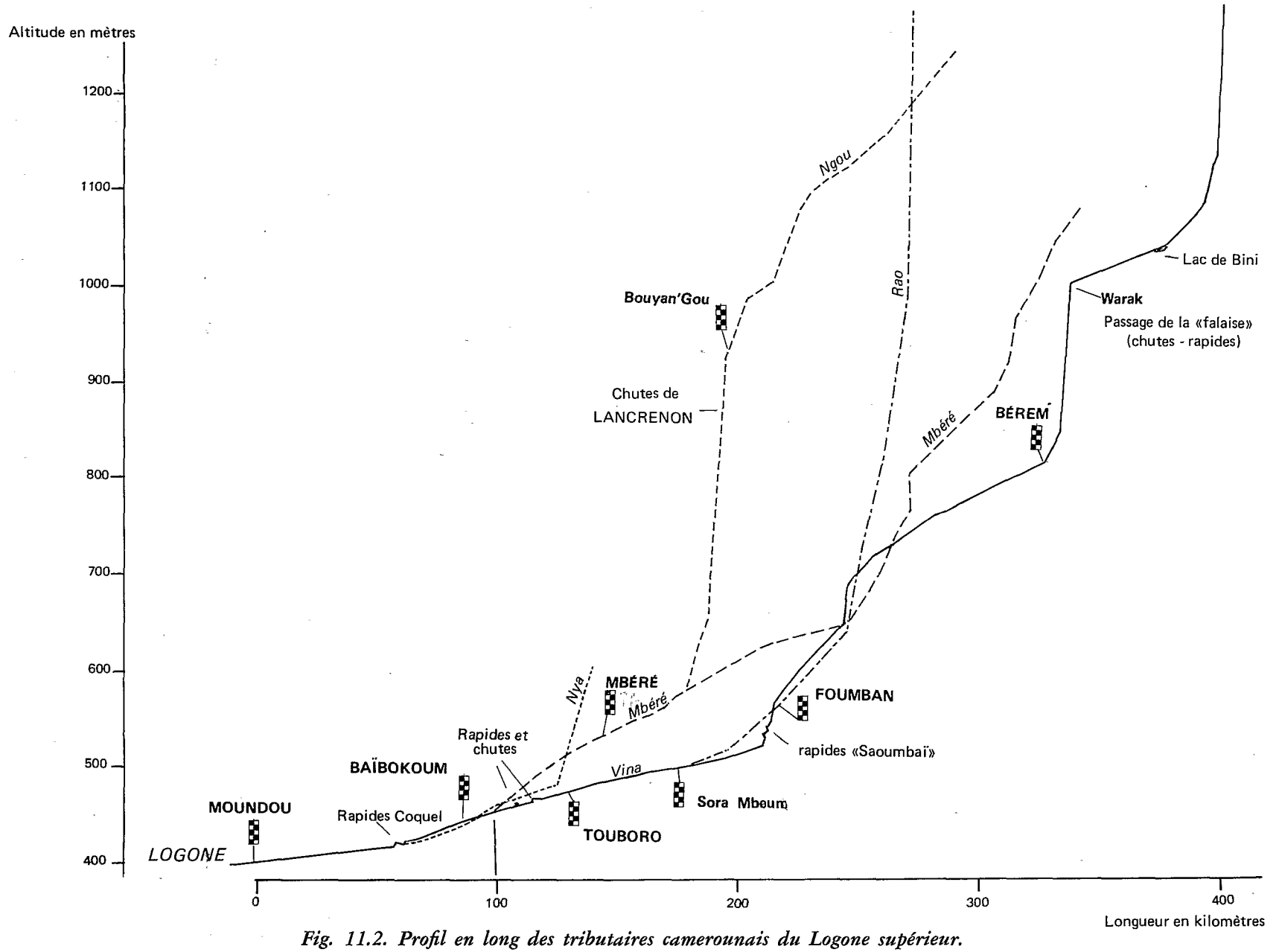


Fig. 11.2. Profil en long des tributaires camerounais du Logone supérieur.

Tableau 11.1

Station	Superficie	Périmètre	I_K	Rectangle équivalent		Altitude			Pente
				L	l	Max	moy	Min	
Bini à Berem	1 590	175	1.23	61	26	1449	1097	820	0.081
Rao à Foumban	1 340	198	1.51	84	15	1488	798	547	0.104
Vina à Sora Mboum	9 350	570	1.63	246	39	1923	925	502	0.065
Vina à Touboro	12 280	650	1.64	283	42	1923	876	480	0.060
Ngou à Bouyan'Gou	1 690	222	1.51	92	19	1410	1177	920	0.060
Mbéré à Mbéré	7 430	490	1.59	210	35	1770	1078	547	0.069
Logone à Baïbokoum	21 360	740	1.41	298	72	1923	922	440	0.060
Logone à Moundou	33 970	940	1.43	384	86	1923	807	390	0.054
Logone à Laï	56 700	1250	1.47	511	114	1923	708	355	0.044

Tableau 11.2.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
Rao													
1966										1.26	0.97	0.86	
1966-67	0.94	3.71	6.39	16.6	64.5	70.4	16.2	7.45	1.17	0.37	0.20	0.07	15.7
1967	0.02	0.01	0.45	2.97	16.1	39.1	16.5	1.45	0.11				*6.39*
1968			0.29	9.14	65.1	57.0	19.4	1.16					13.7
1970			6.53	17.9	108	63.6	22.4	3.27					18.7
Sora Mboum													
1966										20.7	14.1	5.1	
1966	15.8	35.5	77.3	126	369	542	270	13.1	45.6	*28.0*	*16.0*	*8.0*	139

On a ainsi quatre années (2 partielles), sur le Rao à Foumban et 1 année complète à Sora Mboum.
La moyenne des modules des 4 années sur le Rao est de 13,6 m³/s. On relèvera la valeur minimale de 6,39 m³/s en 1967 qui coïncide avec une des campagnes du Risso très déficitaire. Le débit spécifique moyen n'est que 10,2 l/s.km². A Sora Mboum l'année 1966, avec 139 m³/s, a un module spécifique de 14,9 l/s.km², valeur qui correspond à Touboro à une année forte.

Les débits moyens mensuels de la **Bini à Berem** sont indiqués dans le tableau 11.3. Le module interannuel est de 26,1 m³/s, soit 16,4 l/s.km². C'est une valeur forte mais qui correspond bien à ce que l'on connaît de l'Adamaoua (on avait plus de 20 l/s.km² sur la Vina-Sud). Les valeurs extrêmes sont de 20,5 m³/s et 32,0 m³/s (respectivement 12,9 et 20,1 l/s.km²). Le mois à plus fort débit est le mois de septembre suivi d'août puis octobre. Le maximum survient en septembre ; sa valeur médiane est de 136 m³/s, soit 85,1 l/s.km² et le maximum maximorum est de 226 m³/s (142 l/s.km²). Le minimum médian est de 3,65 m³/s, soit 2,3 l/s.km² et le minimum minimorum avec 1,96 m³/s est encore de 1,23 l/s.km². L'étiage est en mars. La répartition mensuelle montre un hydrogramme centré sur août-septembre et quatre mois à débit supérieur au module. La saison sèche est marquée par quatre mois inférieurs à la moitié du module (cf. tableaux 11.5 et 11.6).

Le Vina-Nord à Touboro – Critique des observations

La station de la Vina-Nord à Touboro a été assez irrégulièrement suivie. Des lacunes assez nombreuses n'ont pas permis de recueillir un nombre important d'années complètes. Ces difficultés subsistent dans les

Tableau 11.3. – Vina Nord au pont de Berem (Bini). Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1963-64		11.3	18.9	20.5	56.7	56.8	49.2	24.5	16.2	11.6	7.70	5.86	
64-65	9.22	20.7	25.0	33.4	56.3	74.3	54.3	30.4	19.1	13.4	9.55	6.85	29.5
65-66	8.89	13.0	23.2	46.5	70.1	75.9	47.2	23.7	16.2	11.7	7.63	5.04	29.2
66-67	8.99	19.0	34.1	33.8	46.2	79.4	56.9	29.6	19.1	13.9	9.80	7.05	29.9
67-68	6.22	10.7	16.9	36.9	53.3	48.1	30.4	16.1	10.4	7.78	5.16	3.39	20.5
68-69	8.89	13.6	22.2	42.5	63.8	50.4	31.2	18.1	11.8	7.79	5.59	5.84	23.6
69-70	9.75	11.3	25.1	38.4	55.1	91.3	61.0	43.0	18.5	12.9	10.2	6.96	32.0
70-71	7.57	11.8	21.2	39.6	54.5	69.3	26.2	23.7	13.4	9.38	5.57	5.68	24.1
71-72	6.59	7.03	18.2	59.2	60.3	72.1	46.7	22.3	11.6	8.65	6.63	5.36	27.1
72-73	6.13	22.8	19.6	22.3	44.8	35.1	57.7	19.8	11.5	8.71	5.89	3.32	21.6
73-74	4.03	16.5	18.4	42.4	36.8					5.55	3.98	2.72	
74-75	7.98	13.8	14.4	34.8	40.0	52.0	51.3	25.7	15.0	10.3	8.09	4.13	23.2
75-76	5.97	20.7	10.9	34.6	51.4	85.4	64.7	32.3	19.9	14.1	9.91	7.15	29.8
76-77	5.90	10.3	21.3	54.3	60.0	56.5	51.3	29.4	18.0	13.0	9.11	5.72	28.1
77-78	3.93	9.80	21.3	57.1	88.5	76.6	45.3	24.7	17.3	12.5	9.23	6.49	31.2
78-79	16.5	18.6	28.7	40.4	52.2	80.0	49.9	27.2	17.9	12.3	9.14	6.12	30.0
79-80	8.00	15.0	20.5	36.4	44.8	41.2	32.6	20.7	13.0	9.28	6.69	4.90	21.2
80-81	6.21	16.4	12.2	47.2	51.0	48.0	39.2	24.6	14.0				
MED.	7.57	13.7	20.9	39.0	53.9	69.3	49.2	24.6	16.2	11.6	7.70	5.72	
ET.	2.86	4.42	5.58	10.37	11.80	16.76	11.3	6.27	3.11	2.53	1.94	1.37	
MOYE.	7.69	14.6	20.7	40.0	54.8	64.3	46.8	25.6	15.5	10.8	7.64	5.45	26.1
Q1	8.94	18.6	23.2	46.5	60.0	78.0	55.6	29.5	18.3	12.9	9.39	6.67	
Q3	6.05	11.3	18.2	34.6	46.2	49.3	35.9	21.5	12.4	8.68	5.74	4.51	

années récentes et la station réouverte en 1976 est toujours négligée par les observateurs successifs. L'éloignement de la station ne facilite pas les contrôles. Ceci dit, l'échantillon de mesures effectuées jusqu'en 1973 donne 7 années complètes sur 9 à 10 années d'observation. Il aurait donc été intéressant d'étendre cette série aux stations longue durée du Tchad de Baïbokoum et de Mbéré. La Vina à Touboro et la Mbéré à Mbéré contrôlent 19 170 km² du bassin du Logone à Baïbokoum qui fait 21 360 km². Il y avait donc là une possibilité. Mais que l'on considère la somme des modules (Vina + Mbéré) par année, sur les 3 années communes ou sur les moyennes brutes des divers échantillons, il y a toujours un net excédent pour Baïbokoum. Son module spécifique de plus de 15 l/s.km² ne s'explique pas car celui de la Mbéré-Vina n'est que de 12,8 l/s.km². Il n'y a aucune raison de penser que le module spécifique augmente vers l'aval quand les précipitations diminuent. D'un autre côté, il est élevé sur la Mbéré et pourrait être sous-estimé sur la Vina-Nord et d'ailleurs à Berem ; le module spécifique est bien du même ordre de grandeur.

La comparaison avec les relevés de Moundou permet de trancher sur la validité des résultats entre Baïbokoum et Touboro. En effet, admettre un module spécifique de 15,3 à Baïbokoum quand on a seulement 10,9 l/s.km² à Moundou, c'est considérer que le bassin intermédiaire de 12 610 km², comprenant en particulier la Lim voisine de la Mbéré, n'aurait qu'un débit spécifique annuel de 3,5 l/s.km², ce qui est aberrant ici. On doit donc conclure au caractère erroné des mesures de Baïbokoum (qui pourrait

Tableau 11.4. – Vina Nord à Touboro.
Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1964-65	21.6	44.0	71.5	182	390	596	328	118	50.1	29.2	18.5	12.1	156
65-66	21.7	29.4	72.6	235	482	442	299	83.3	40.0	23.8	16.0	9.45	147
66-67	16.0	37.3	83.5	156	445	632	303	123	51.4	31.4	19.8	13.0	160
67-68	8.73	16.1	35.3	135	293	504	264	72.4	32.5	20.1	14.2	9.15	117
68-69	16.2	24.0	68.3	168	542	561	230	64.4	22.4	17.9	12.7	13.2	146
69-70	17.5	28.2	56.3	215	622	733	303	108	51.2	30.8	20.0	15.3	184
71-72	13.9	20.1	52.7	231	328	420	135	29.1	13.4	8.52	7.25	7.05	106
MED.	17.5	29.4	58.3	175	452	561	299	85.2	39.6	23.8	16.0	12.0	
ET.	4.08	9.77	15.7	45.8	137	119	65	31.1	14.1	8.19	4.93	3.24	
MOYE.	17.1	30.6	59.9	176	438	556	264	85.7	37.5	24.4	16.3	11.6	
Q1	20.6	40.4	72.1	215	542	667	311	113	50.7	31.1	19.9	14.3	
Q3	15.0	22.1	46.7	154	328	431	212	68.4	27.5	19.0	13.5	8.93	

Tableau 11.5. – Valeurs représentatives des débits caractéristiques.

	D_{MIN}	DCE	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCC	D_{MAX}
Bini Berem									
Moyenne	3.56	4.23	5.58	9.07	18.0	40.3	62.8	78.2	138
Maximum	5.42	6.13	7.10	12.4	23.4	51.6	86.3	104	226
Q1	4.49	5.42	6.52	10.6	21.6	46.9	71.8	89.2	154
Médiane	3.65	4.20	5.42	8.86	17.8	41.9	65.0	79.8	136
Q3	2.63	3.12	4.79	6.91	16.0	34.5	52.2	68.5	115
Minimum	1.96	2.40	4.20	6.13	12.0	27.2	41.7	51.6	71
Vina Nord à Touboro									
Moyenne	7.07	8.62	10.8	18.6	44.7	207	492	651	1056
Maximum	8.23	13.5	15.8	25.6	59.3	260	679	820	1450
Q1	7.71	10.3	12.5	24.2	57.4	249	541	741	1380
Médiane	7.20	7.45	10.3	18.4	51.5	183	479	650	937
Q3	6.23	6.95	8.50	15.4	32.5	170	389	543	821
Minimum	6.00	6.71	7.20	9.12	21.8	166	372	513	588

Tableau 11.6. – Débits extrêmes.

Année	BINI BEREM				VINA NORD A TOUBORO			
	Etiage absolu		Débit Maximum		Etiage absolu		Débit Maximum	
	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit	Date	Débit
1962-63	27/5	5.10						
63-64	29/4	4.49	18/8	125	13/3	7.97	03/9	794
64-65	13/4	3.92	18/9	133	09/4	7.20	19/9	928
65-66	24/3	4.20	03/9	259	31/3	7.20	05/9	821
66-67	20/4	4.49	19/9	186	20/4	6.95	06/9	1492
67-68	07/4	1.96	14/8	82.8	08/4	6.00	22/9	1028
68-69	25/2	4.79	11/8	126	02/4	7.71	06/9	1449
69-70	13/4	4.49	02/9	159	31/3	13.0	01/9	1344
70-71	25/4	3.92	15/9	123	30/4	7.71	12/9	1181
71-72	31/3	3.92	11/7	107	15/3	6.23	11/9	588
72-73	08/4	2.40	15/10	136				
73-74	16/3	2.40	23/7	100				
74-75	06/4	2.63	27/9	187				
75-76	30/4	4.20	08/9	210				
76-77	13/4	2.40	29/7	88.3				
77-78	29/3	4.79	26/8	156				
78-79	11/4	5.10	18/9	177				
79-80	07/4	2.40	03/8	99.5				
80-81			06/8	145				

Tableau 11.7. – Mbéré à Mbéré.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1951-52					227	178	218	104	52.2	34.9	27.2	16.9	
52-53	15.4	46.2	46.1	94.4	340	354	266	87.8	44.6	28.6	19.9	19.1	114
53-54	13.8	24.0	25.1	84.8	108	252	135	40.0	18.0	11.0	9.00	9.02	61.0
54-55	14.4	40.0	120	149	172	291	290	116	66.6	45.1	31.1	24.8	114
55-56	22.9	55.9	86.0	174	328	422	543	143	82.8	57.2	40.4	38.4	167
56-57	38.8	44.8	91.3	146	181	272	364	93.8	59.2	39.2	25.1	16.2	115
57-58	27.6	55.2	88.9	127	151	285	174	99.5	52.7	32.3	21.1	14.2	94.3
58-59	24.9	47.0	171	187	146	229	179	91.9	49.3	32.6	21.0	13.0	99.6
59-60	40.0	40.8	68.8	158	282	417	189	81.9	50.5	34.3	21.0	13.0	116
60-61	27.7	53.5		119	207	323		114	62.3	38.0	22.0	12.9	
61-62	9.36	20.8	79.0	153	175	321	249	76.0	46.4	30.6	19.2	12.0	99.7
62-63	38.7	45.0	87.5	115	166	495	221	79.4	53.0	37.0	21.0	13.0	114
63-64	40.0	51.3	38.4	124	842	417	382	98.7	55.8	36.1	20.0	14.8	178
64-65	30.6	69.4	93.1	173	209	588	190	89.9	49.7	32.8	16.3	9.48	129
65-66	24.8	41.8	119	275	264	213	210	60.3	34.1	20.3	14.3	10.6	108
66-67	25.9	51.9	66.3	144	356	356	244	112	55.3	35.1	20.3	12.8	124
67-68	14.3	30.6	82.0	219	311	372	256	91.9	48.5	33.1	21.1	19.6	125
68-69	43.3	62.0	115	153	345	293	196	64.2	37.1	24.7	16.0	47.4	117
69-70	28.5	62.8	115	212	482			113	62.7	43.5			
70-71	46.9	60.2	66.5	181	319	360	151	63.7	34.2	29.2	18.0	19.6	113
71-72	26.4	35.4	74.1	275	258	361	164	62.2	37.1	15.1	10.0	8.19	111
72-73	23.3	38.2	125	114	211	115	169	45.5	32.1	25.2	13.9	8.24	77.2
73-74	18.1	44.3	58.2	115	147	207	162	39.9	21.6	14.0	9.62	7.83	70.8
74-75	23.4	62.2	76.1	124	304	286	175	71.0	39.3	25.3	16.3	11.1	102
75-76	20.6	20.0	57.3	113	136	268	323	66.5	38.1	25.2	16.5	11.7	91.6
76-77	14.1	25.5	79.3	171	295	271	250	103	51.4	33.0	21.4	12.7	111
77-78	12.5	27.9	49.8	138	222	291	132	50.0	31.3	21.6	13.6	9.80	83.7
78-79	57.5	37.1		147	209	282	183	68.5	39.3				
MED.	24.9	44.8	79.3	147	225	291	203	84.9	48.9	32.6	19.9	12.9	112.1
ET.	11.9	13.7	31.9	47.5	142	99	91	26	13.9	9.9	6.7	9.09	25.3
MOYE.	26.8	44.2	83.2	155	264	316	231	83.1	46.6	30.9	19.4	15.6	110
Q1	38.7	55.2	104	174	315	361	256	101	54.2	36.1	21.1	16.9	
Q3	15.4	35.4	62.2	119	174	268	174	63.9	37.1	25.2	16.0	10.6	

provenir d'un étalonnage de hautes-eaux très surestimé). De ce fait les observations de la Vina du Nord à Touboro passent pour crédibles... mais nous devrons renoncer à toute extension de l'échantillon. Les valeurs moyennes n'ont pour une si courte durée qu'une simple valeur indicative. Le module de 143 m³/s (11,6 l/s.km²) traduit l'incidence plus septentrionale du bassin par rapport au bassin amont ; la vallée est en partie à l'abri de l'Adamaoua et la saison des pluies tarde à se manifester sur tout le bassin. Ceci entraîne une longue saison sèche typique du Nord-Cameroun ; de décembre à juin, les débits restent inférieurs au 1/2 module. L'étiage médian est de 7,2 m³/s, soit 0,59 l/s.km².

Le maximum médian est de 937 m³/s, soit 76,3 l/s.km² et la crue la plus forte observée est de 1 450 m³/s (118 l/s.km²) (cf. tableaux 11.4, 5 et 6).

La Mbéré à Mbéré (7 430 km²)

La station de Mbéré sur le Mbéré est située à la frontière Tchad-Cameroun. On dispose de 24 années complètes dont le module interannuel s'établit à

110 m³/s avec un écart-type de 25,3 m³/s. Le module spécifique est de 14,8 l/s.km². Les modules extrêmes vont de 61 à 178 m³/s, soit pratiquement de 1 à 3. Le débit mensuel le plus abondant est observé en septembre et atteint 316 m³/s. Le moins abondant est relevé en mars avec 15,6 m³/s.

L'étiage absolu médian est de 10,8 m³/s, soit 1,49 l/s.km². L'étiage le plus bas observé est de 5,3 m³/s, soit 0,71 l/s.km². Le maximum annuel de crue médian est de 835 m³/s, soit 112 l/s.km², et la crue la plus forte observée a atteint 1 970 m³/s, soit 265 l/s.km² (cf. tableaux 11.7 et 11.8).

Tableau 11.8. – Mbéré à Mbéré.

Année	Etiage absolu		Débit maximum	
	Date	Débit	Débit	Date
1951-52	30/4	13.7	691	08/08
52-53	18/4	10.2	1020	23/09
53-54	12/3	7	609	21/09
54-55	29/4	16.6	835	10/10
55-56	15/5	22.5	1130	09/10
56-57	29/3	13.3	1090	04/10
57-58	26/3	11.7	663	15/09
58-59	31/1	27.3	609	07/07
59-60	28/3	11.2	1020	13/09
60-61	24/5	7.5	640	22/08
61-62	28/2	14.8	835	09/10
62-63	04/5	13.7	1020	27/09
63-64	25/3	12.4	1880	16/08
64-65	15/4	5.3	1800	03/09
65-66	29/3	9.3	449	13/07
66-67	22/4	9.3	1610	06/09
67-68	11/4	10.8	736	13/09
68-69	25/2	13.3	932	24/08
69-70	08/4	24.3	1430	19/08
70-71	22/3	12.2	850	20/08
71-72	30/3	6.9	914	06/09
72-73	15/3	6.7	517	12/10
73-74	02/4	5.9	625	11/09
74-75	03/4	9.3	593	08/09
75-76	30/3	8.8	1970	04/10
76-77	08/4	8.7	797	17/08
77-78	06/4	7.5	518	14/09
MED.		10.8	835	
ET.				
Q1		13.7	1090	
Q3		7.5	625	

Comme on le voit, la Mbéré est loin d'être une rivière négligeable ; ouverte vers le Tchad et engoncée dans son fossé tectonique ce cours d'eau reste cependant marginal et ceci explique peut-être qu'il ne soit pas encore pris en compte dans le réseau hydrométrique national.

Les maigres renseignements que nous avons obtenus sur le Ngou à Bouyan'gou n'ont pas été exploités ici.

1.3. Interprétation des données

1.3.1. Les basses-eaux

1.3.1.1. Le tarissement

La période de basses-eaux s'étend du mois de décembre au mois de mai. Dès le mois de novembre pour la Mbéré et la Bini, décembre pour la Vina, la phase de décrue est remplacée par une phase de tarissement pur qui dure de quatre à cinq mois. La saison sèche est suffisamment bien marquée pour que le tarissemnt ne soit pas affecté, pendant cette période, de crues parasites. D'une manière générale, on observe aux trois stations une **phase unique de tarissement.** Le coefficient de tarissement varie de :
- 0,0128 à 0,0118 pour la Bini à Berem,
- 0,0158 à 0,0149 pour la Vina Nord à Touboro,
- 0,0149 à 0,0122 pour la Mbéré à Mbéré.

Ces valeurs indiquent en particulier pour la Bini et la Mbéré des tarissements nettement plus lents que sur le bassin de la Bénoué ; ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celle de la Vina du Sud au Lahore (cf. chap. VI, 2113). Ce tarissement lent est probablement dû aux aquifères importants sur matériau basaltique de la région de Ngaoundéré et Nganha.

1.3.1.2. Les étiages absolus

Les dates d'apparition des étiages absolus se situent généralement en mars ou avril, exceptionnellement en mai ou février.

Leur étude fréquentielle est résumée ci-après (tableau 11.9).

Tableau 11.9.

Stations	Date moyenne	ET jours	Période d'apparition des étiages à 60 %	Dates extrêmes observées
Bini à Berem (18 ans)	10 Avril	19.5	25/3 - 27/4	25/2 - 27/5
Vina Nord à Touboro (9 ans)	4 Avril	15.5	23/3 - 18/4	13/3 - 30/4
Mbéré à Mbéré (27 ans)	6 Avril	20	17/3 - 23/4	25/2 - 24/5

Les résultats ne sont pas vraiment comparables du fait du petit échantillon de la Vina-Nord, mais la date moyenne de l'étiage absolu est sensiblement identique

pour ces 3 stations et relativement précoce ; cela indique que les bassins, plus méridionaux, sont déjà nettement plus sensibles aux premières manifestations pluvieuses de la saison que le haut-bassin de la Bénoué.

L'étude fréquentielle des **étiages absolus** a été effectuée pour la Bini à Berem et la Mbéré à Mbéré.

Pour la Bini à Berem, l'analyse statistique a montré un certain nombre d'ajustements de qualité comparable ; nous avons retenu de ce fait la loi la plus simple, la loi normale, plutôt que celle de Goodrich. Cela va de plus dans le sens de la sécurité pour les fréquences rares. L'étiage moyen est de 3,75 m³/s, soit 2,36 l/s.km². L'écart-type est de 1,07 m³/s et le coefficient de variation de 0,287. L'étiage décennal sec est de 2,4 m³/s, soit 1,51 l/s.km². L'étiage centennal serait encore de 1,3 m³/s.

La moyenne des 23 étiages absolus observés sur la Mbéré est de 10,4 m³/s ; l'écart-type est de 3,89 m³/s ; le coefficient de variation est : Cv = 0,374. On a procédé à l'ajustement graphique d'une distribution hypergaussique.

L'étiage médian est de 9,8 m³/s, soit 1,32 l/s.km². L'étiage décennal sec est de 6,6 m³/s, soit 0,89 l/s.km².
Les étiages vicennal et centennal sont respectivement de 5,9 et 4,8 m³/s. L'étiage minimal observé serait cinquantennal. En année humide, l'étiage décennal serait de 15 m³/s et l'étiage cinquantennal atteindrait 21 m³/s.

La figure 11.3 illustre, plus loin, ces deux analyses fréquentielles.

Pour la Vina-Nord à Touboro, la moyenne des neuf valeurs est de 7,77 m³/s, soit 0,63 l/s.km² ; avec un écart-type de 2,1, le débit d'étiage décennal serait encore de 5 m³/s ; cette valeur doit être prise avec réserves, le coefficient de variation augmentant d'une part, le débit spécifique diminuant d'autre part, très rapidement avec l'apparition d'un régime tropical plus sec.

C'est bien d'ailleurs ce que l'on constate entre la Bini et la Mbéré, la première ayant un bassin plus arrosé que la seconde (1 560 mm contre 1 470 mm).

L'étiage moyen de la Bini est particulièrement élevé ; les aquifères basaltiques y sont relativement plus importants que sur le bassin de la Mbéré.

Ces étiages rattachent les hauts-bassins de la Vina ou de la Mbéré au régime humide de l'Adamaoua.

Les rapports entre les valeurs médianes des Débits Caractéristiques d'étiage et l'étiage absolu sont assez peu différents de ceux observés dans le Sud-Cameroun et en particulier le bassin de la Sanaga.

Pour la Bini : $D_{MIN}/DCE = 0,89$;
$D_{MIN}/DC_1 = 0,67$; $D_{MIN}/DC_3 = 0,41$.

Pour la Mbéré : $D_{MIN}/DCE = 0,86$;
$D_{MIN}/DC_1 = 0,67$; $D_{MIN}/DC_3 = 0,39$.

En conclusion, les bassins étudiés ici sont caractérisés par des étiages soutenus dus principalement à leurs réserves importantes dans les aquifères basaltiques importants de l'Adamaoua.

1.3.2. Étude des maximums annuels de crue

Pendant toute la période des pluies importantes, de juillet à octobre, on peut voir apparaître le maximum annuel de crue ; l'hydrogramme annuel n'est que la juxtaposition, en particulier pour la Bini, d'événements de crue pratiquement indépendants. Ceci dit, et compte tenu de l'importance des débits de base pour les plus grands bassins, la probabilité est plus grande de voir apparaître le maximum de crue en août et septembre. On a résumé ci-après (tableau 11.10) les fréquences de dates du maximum sur la Bini et la Mbéré.

Tableau 11.10.

Station	Date moyenne	ET (jours)	Période du maximum à 60 %	Dates extrêmes observées
Bini (18 ans)	27 Août	26	6/8 - 18/9	11/7 - 15/10
Mbéré (27 ans)	7 Septembre	25	17/8 - 29/9	7/7 - 12/10

A Touboro, sur 9 ans le maximum de la Vina a été observé entre le 1er et le 22 septembre (date moyenne 9/9).

L'étude fréquentielle des débits maximums annuels a été faite pour les 3 stations de Berem, Touboro et Mbéré.

Pour la Bini à Berem, pour 17 valeurs comprises entre 82,8 et 259 m³/s, le maximum moyen est de 147 m³/s (92,4 l/s.km²) et l'écart-type de 44,7 m³/s ; le coefficient de variation est de 0,304. La meilleure adéquation de l'échantillon est obtenue avec une distribution de Gumbel dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	35,776	Coef. de variation :	0,312
Paramètre de position :	126,311	Coef. d'asymétrie :	1,139
		Coef. d'aplatis. :	2,400

Le maximum de crue médian est de 139 m³/s, soit 87,4 l/s.km².
La crue décennale atteint 207 m³/s, soit 130 l/s.km².
La crue centennale serait de 291 m³/s.

En année décennale sèche, le maximum ne serait que de 96 m³/s.

A Touboro, avec seulement 9 valeurs, il serait vain de rechercher une grande précision dans l'analyse statistique. Celle-ci montre cependant que la loi normale paraît adaptée au régime des crues de la Vina.

La moyenne est de 1 069 m³/s, soit 87,1 l/s.km². L'écart-type est de 298 m³/s et le coefficient de variation est de 0,279.
La crue décennale pourrait être de 1 451 m³/s, soit 118 l/s.km².
Les crues cinquantennale et centennale atteindraient respectivement 1 681 et 1 762 m³/s, si l'échantillon était représentatif. En année sèche, le maximum décennal serait inférieur à 690 m³/s.

Pour la Mbéré à Mbéré, une forte dissymétrie positive s'impose au seul examen de l'échantillon des crues maximums. Sur 27 valeurs, les extrêmes varient de 460 à 1 970 m³/s et la moyenne est de 1 024 m³/s avec un écart-type de 457 m³/s ; le coefficicent de variation est de 0,446.

Le meilleur ajustement, encore qu'assez lâche, est obtenu suivant une distribution de Galton dont les caractéristiques sont :

Paramètre d'échelle :	535,5	Coef. de variation :	0,407
Paramètre de position :	350	Coef. d'asymétrie :	1,139
Paramètre de forme :	0,697		
Coef. d'aplatis. :	2,400		

La crue médiane atteint un débit de 855 m³/s, soit 119 l/s.km², valeur qui ramenée au maximum moyen permet de juger de la forte hypergaussicité du régime des crues de la Mbéré.

La crue décennale est de 1 658 m³/s, soit 229 l/s.km².
Les crues cinquantennale et centennale seraient respectivement de 2 590 et 3 060 m³/s. En année sèche, le maximum décennal ne serait que de 569 m³/s.

La comparaison du rapport $K_{C/D}$, qui vaut ici 1,85, avec ceux des autres bassins étudiés incline à penser que l'ajustement de Galton surestime largement la crue centennale. Nous retiendrons donc les prédéterminations obtenues par un ajustement de Pearson III ramenant ces valeurs à :

1 980 m³/s pour la crue vicennale, 2 380 m³/s pour la crue cinquantennale,

et

2 690 m³/s pour la crue centennale qui donne encore un rapport $K_{C/D}$ très fort de 1,62.

A l'examen des résultats, on ne peut qu'être surpris devant les très faibles débits spécifiques de crue de la Bini par rapport à la Vina ou à la Mbéré.

La Bini à Berem a le même débit spécifique de crue médian que la Vina à Touboro dont le bassin est pourtant 8 fois plus grand. Le débit spécifique de crue médian de la Mbéré dont le bassin est presque 5 fois supérieur est de 1/3 supérieur à celui de la Bini. Ici, nulle explication comme sur le Nyong de précipitations plus abondantes sur le bassin aval, ce serait plutôt le contraire. Sur la Vina-Sud, ce même débit de crue est de 70 l/s.km² au Lahore où le bassin (1 680 km²) est comparable à celui de la Bini à ceci près que le relief de plateau et de zones marécageuses dans le lit de la rivière est généralisé alors qu'il ne concerne que la partie amont sur la Bini. On retrouve aussi ce même ordre de grandeur pour les bassins de la Mifi-Sud (Olivry, 1975d). Un autre point commun est dans le substratum basaltique de ces bassins ; on notera d'ailleurs que seule la partie amont du bassin de la Mbéré est vraiment touchée par les recouvrements basaltiques, lesquels n'ont plus beaucoup d'importance sur le bassin de la Vina-Nord drainant essentiellement le socle cristallin.

Ceci dit, les valeurs de la Vina Nord et de la Mbéré ne constituent que des valeurs intermédiaires entre celles du bassin de la Haute Sanaga plus faibles et celles de la Bénoué aux crues nettement plus puissantes. L'allongement des bassins de la Mbéré et de la Vina est aussi une cause d'étalement de la pointe de crue.

L'irrégularité des crues annuelles traduites par le rapport $K_{C/D}$ des crues centennale et décennale est particulièrement forte. Elle dépasse pour des bassins de taille comparable ce que l'on connaît au Sud-Cameroun mais aussi l'irrégularité qui a été relevée pour le bassin de la Bénoué. Pour la Vina à Touboro, $K_{C/D} = 1,21$; pour la Bini, $K_{C/D} = 1,41$, soit une valeur un peu plus forte que celle relevée sur la Vina-Sud (1,29 cf. Ch. VI, 242). Pour la Mbéré, la valeur de 1,62 est exceptionnellement forte. Elle peut s'expliquer pour ce cours d'eau allongé dans son fossé tectonique par la conjonction exceptionnelle à l'exutoire de tous les apports de crue des petits affluents.

Le simple coefficient de variation de la Mbéré montrait d'ailleurs une plus forte valeur que celui de la Bini.

Il est caractéristique de souligner pour la Mbéré que si la puissance des crues annuelles médianes est inférieure à celle relevée sur le bassin de la Bénoué, la puissance des crues exceptionnelles de fréquence rare lui est largement supérieure (362 l/s.km² pour la crue centennale).

1.3.3. Étude des modules et du bilan hydrologique

1.3.3.1. Étude fréquentielle des modules

Sur 15 années complètes, la moyenne des modules de la Bini à Berem est de 26,7 m³/s, soit 16,8 l/s.km² ; l'écart-type est de 3,82 et le coefficient de variation de 0,143.

L'ajustement retenu correspond à une distribuiton de Goodrich dont les caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	28,372	Coef. de variation :	0,138
Paramètre de position :	0	Coef. d'asymétrie :	— 0,572
Paramètre de forme :	— 0,144	Coef. d'aplatis. :	0,411

La distribution est nettement hypogaussique.
Le module médian est de 27,2 m³/s (17,1 l/s.km²).
En années sèches, les modules décennal et centennal sont respectivement de 21,0 et 16,7 m³/s. Les valeurs centennales ne constituent ici qu'une vague estimation.
En années humides, pour les fréquences décennale et centennale les modules atteignent 31,2 et 33,9 m³/s, valeurs qui traduisent bien la faible irrégularité du régime et dans ce cas les potentialités de mise en réserve d'excédents pluviométriques. Le rapport K_3 des modules décennaux vaut 1,42 et est tout à fait comparable à celui de la Vina-Sud au Labore (1,40 d'après Chap. VI, 243).

Pour Touboro, le module moyen (7 valeurs) est de 143 m³/s, soit 11,6 l/s.km². Les analyses statistiques n'ont pas de signification.

Dans le cas de la Mbéré, l'étude des modules porte sur 24 valeurs. Le module moyen est de 110 m³/s, l'écart-type de 23,3 m³/s et le coefficient de variation vaut 0,231. La qualité de l'ajustement n'est pas très bonne ; la distribution suivant une loi de Pearson III paraît la moins mal adaptée.
Ses caractéristiques sont les suivantes :

Paramètre d'échelle :	5,740	Coef. de variation :	0,229
Paramètre de position :	0,060	Coef. d'asymétrie :	0,457
Paramètre de forme :	19,132	Coef. d'aplatis. :	0,314

Le module médian est de 108 m³/s, soit 14,5 l/s.km².
En années sèches, les modules décennal et centennal tombent respectivement à 79,2 et 60 m³/s.
En années humides, pour les mêmes fréquences de retour, on a respectivement 143 et 177 m³/s.
Le rapport K_3 est de 1,81.

L'ensemble de l'analyse fréquentielle sur les étiages, crues et modules est donné sous forme graphique dans la figure 11.3 pour la Bini et la Mbéré.

1.3.3.2. Lames écoulées et bilan hydrologique

Les lames écoulées en années moyennes sont de :
530 mm pour la Bini à Berem,
353 mm pour la Vina à Touboro,
467 mm pour la Mbéré à Mbéré.

Le bilan hydrologique est résumé ci-dessous (tableau 11.11).

Tableau 11.11.

Station	Alt. moy.	P mm	He mm	De mm	Ke %
Bini	1097	1560	530	1030	34
Vina Nord	876	1440	353	1087	24.5
Mbéré	1078	1470	467	1003	31.8

Des déficits d'écoulement de l'ordre de 1 000 mm pour des bassins d'altitude moyenne de 1 000 à 1 100 m sont en accord avec ce qui est observé sur le versant sud du plateau de l'Adamaoua que ce soit sur le Meng à Tibati ou la Vina au Lahore.

Les plus fortes valeurs d'évapotranspiration réelle de la Vina à Touboro correspondent à des précipitations encore abondantes et à une plus forte demande en ETP du fait de l'altitude moindre et, aussi, du gain en latitude qui nous rapproche des conditions du climat tropical pur.

Les coefficients d'écoulement, forts sur le plateau même et en rapport avec ceux observés sur le bassin de la Sanaga, tombent plus au nord et sont intermédiaires entre les précédents et ceux observés sur la haute Bénoué.

1.3.4. Conclusions

L'ensemble des résultats caractéristiques acquis sur le bassin de la Vina Nord et de la Mbéré au cours de cette étude a été rassemblé dans le tableau 11.12.

L'impression générale qui se dégage de l'examen rapide des régimes de ces cours d'eau est celle d'une transition entre le Cameroun humide auquel ils appartiennent encore par bien des traits et le Cameroun sec dont ils sont tributaires.

Ces paramètres de transition entre Sud et Nord-Cameroun traduisent éventuellement certaines particularités propres aux bassins étudiés. Ce sont :
- le substratum basaltique pour le Bini et la Haute Mbéré,
- la forme très allongée et le réseau en arête de poisson du bassin de la Mbéré du à son fossé tectonique.

Les apports du Cameroun au Logone Occidental (Tchad) concernent 8 milliards de m³ en année moyenne.

Nous savons que la Bénoué, toujours en année moyenne, en récupère environ 300 millions ; nous verrons aussi plus loin que ces apports représentent à peine moins de la moitié du volume qui transite à Bongor lorsque le Logone a rejoint plus au nord le Cameroun, alors que le bassin camerounais du Logone Supérieur ne représente que 26 % du bassin du Logone à Bongor.

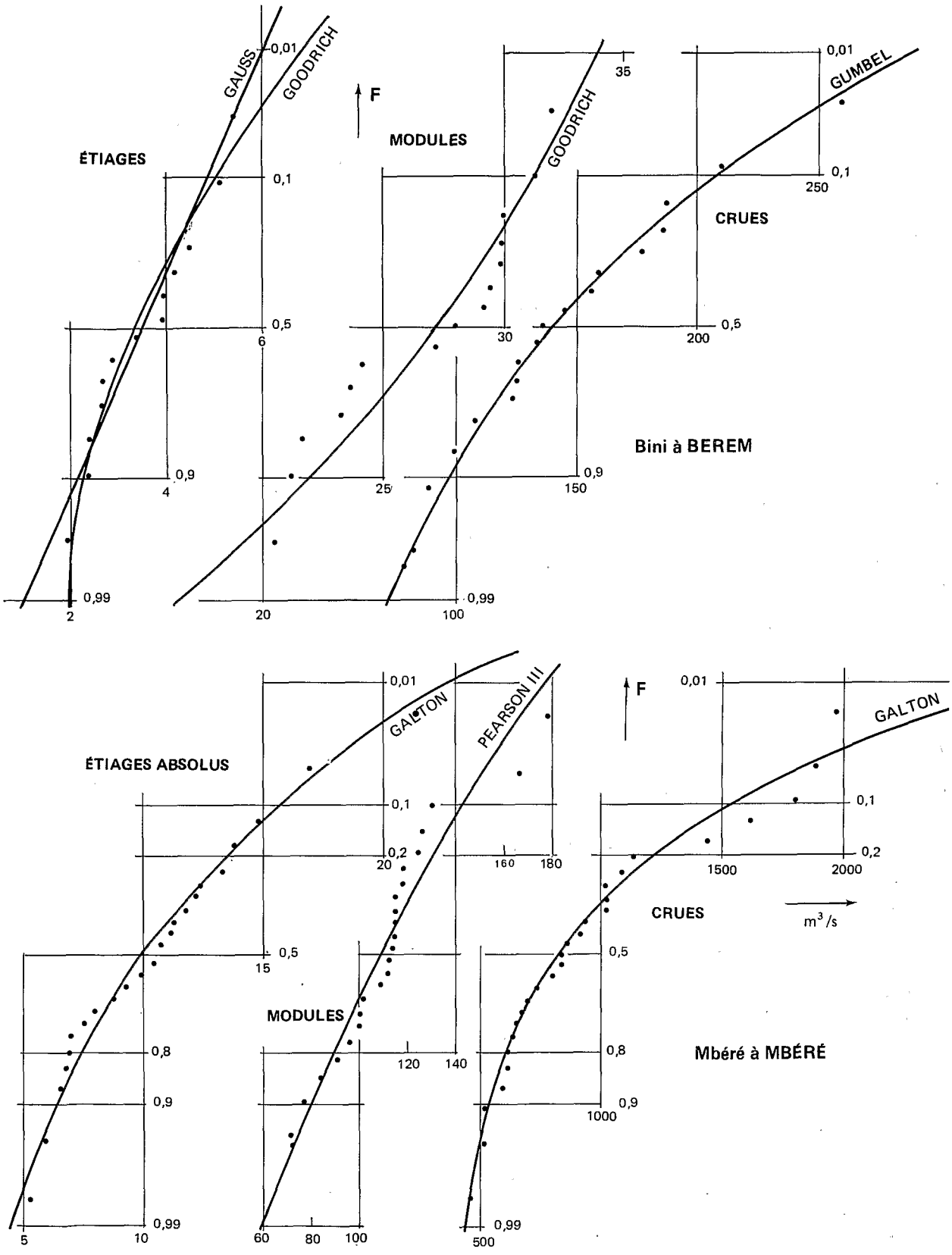


Fig. 11.3. – Étude fréquentielle des débits de la Bini et de la Mbéré.

Tableau 11.12. – Caractéristiques des régimes hydrologiques de la Bini, de la Vina-Nord et de la Mbéré.

Station (nb. années)	Echantillon observé					Prédétermination (Périodes de retour en années)							
	Valeurs extrêmes		Moy.	ET	C_V	Médiane (2)		10		20	50	100	
						m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$				
Etiages absolus :	1							en années sèches					
Bini Berem (18)	1.96	5.10	3.75	1.07	0.287	3.75	2.36	2.4	1.51	2.1	1.6	1.3	
Vina-N. Touboro (9)	6.0	13.0	*7.77*	*2.1*		*7.8*	*0.63*	*5*	*0.4*	–	–	–	
Mbéré à Mbéré (23)	5.3	22.5	10.4	3.89	0.374	9.8	1.32	6.6	0.89	5.9	5.2	4.8	
Maximums de crue :						en années humides							K C/D
Bini Berem (17)	82.8	259	147	44.7	0.304	139	87.4	207	130	233	266	291	1.41
Vina-N. Touboro (9)	588	1492	1069	298	0.279	*1069*	*87.1*	*1451*	*118*	*1560*	*1680*	*1760*	1.21
Mbéré à Mbéré (27)	460	970	1024	457	446	885	119	1658	229	1980	2380	2690	1.62

Modules	Moy	ET	C_V	Périodes de retour années sèches					Médiane		Périodes de retour années humides					K_3
				100	50	20	10				10		20	50	100	
				m^3/s				$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s			
Bini Berem (15)	26.7	3.82	0.143	16.7	18.1	20.1	21.9	13.8	27.2	17.1	31.2	19.6	32.2	33.2	33.9	1.42
Vina-N. Touboro (7)	143	–	–	–	–	–	–	–	*143*	*11.6*	–	–	–	–	–	–
Mbéré à Mbéré (24)	110	23.3	0.231	60	64.6	72.1	79.2	10.7	108	14.5	143	19.2	154	167	177	1.81

2. LES APPORTS AU YAÉRÉ ET AU LAC TCHAD

L'extrême nord du Cameroun est largement occupé par une vaste plaine d'inondation de 8 000 km², appelée le Grand Yaéré. Celui-ci s'étend à l'ouest du bourrelet de berge du Logone ; il est contenu à l'ouest avant la frontière du Nigéria par la route sur digue Mora-Waza-Tilde et s'étend au sud, de Yagoua à l'est, à Bogo au centre et au nord de Mora à l'ouest.

Côté sud-ouest du Yaéré, les apports proviennent essentiellement des Monts Mandara.

Côté est, le Yaéré est alimenté par les déversements du Logone Inférieur.

Côté nord, des drains comme la Kalia et l'El Beid transfèrent une partie des volumes stockés dans le Yaéré jusqu'au Lac Tchad.

L'alimentation du Lac Tchad provient pour l'essentiel des apports du Fleuve Chari qui s'est enrichi du Logone à Kousseri et se jette par un delta à Djimtillo. Peu en aval de Kousseri, un effluent du Chari traverse l'extrême nord du pays avant de rejoindre le Lac Tchad.

2.1. Hydrologie des Mayos affluents du Yaéré *(le Mayo Tsanaga, exemple type)*

Descendus des Monts Mandara, de grands mayos viennent se jeter dans le Yaéré. Faute d'énergie, après le passage de la grande dune qui témoigne de l'avancée au Sud de la mer paléotchadienne, ils ne rejoignent jamais le Logone et se perdent dans le Yaéré par des deltas où ils ont abandonné toute leur charge solide. Du Sud au Nord, ce sont principalement :

- le Mayo Boula,
- le Mayo Tsanaga,
- le Mayo Motorsolo,
- le Mayo Ranéo.

De tous, le Mayo Tsanaga a été le mieux étudié ; on peut en particulier citer les travaux de Nouvelot (1972d), Lefèvre (1971), nos travaux plus récents (Olivry *et al.* 1974h, 1976a, 1977c) ou ceux de Naah (1978).

2.1.1. Caractéristiques du bassin du Mayo Tsanaga

A la station de Bogo, peu avant la dégradation complète du mayo dans le Yaéré, le bassin du Mayo Tsanaga a une forme allongée en croissant, Mokolo

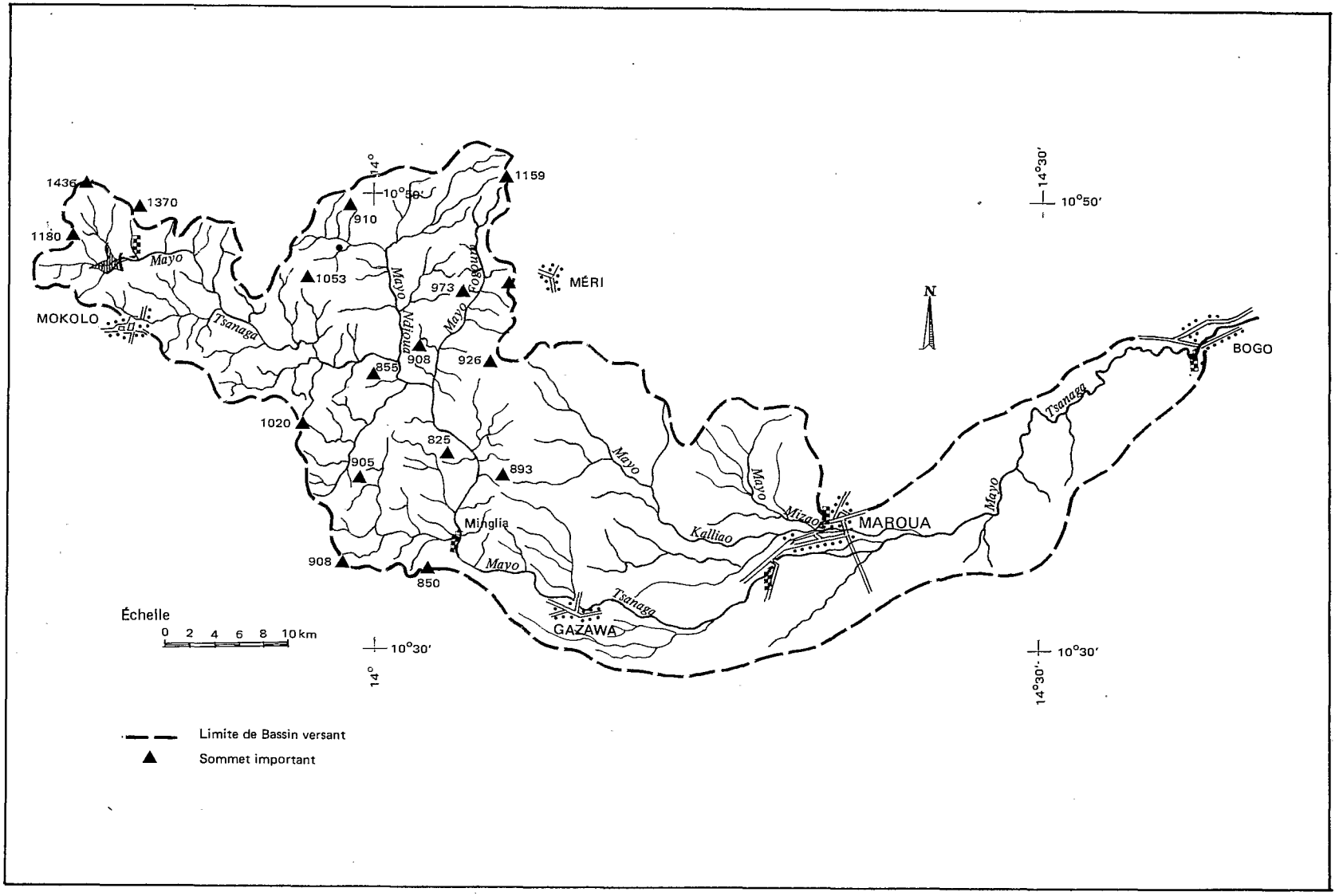


Fig. 11.4. – Tsanaga à Bogo (1 535 km²).

Tableau 11.13. – Caractéristiques géométriques des bassins.

Station	Superf. km2	P km	I	Rectangle équivalent		Altitude			I Pente m/km
				L	l	max	moy.	min	
Tsanaga à Maroua	845	171	1.65	74	11	1436	650	407	5.56
Kalliao à Maroua	355	88	1.32	34	10.5	910	470	392	6.93
Tsanaga à Bogo	1535	246	1.76	108	14	1436	545	337	3.91

étant à la pointe amont et Maroua se situant au niveau du tiers aval (fig. 11.4).

Compris entre 10° 30 et 10° 53 de latitude Nord, 13° 42′ et 14° 36′ de longitude Est, le bassin comprend d'une part les versants orientaux des Monts Mandara et en particulier l'essentiel des Monts Matakam vers Mokolo et, d'autre part à l'est une large plaine alluviale de Gazawa à Bogo.

Le massif montagneux à l'ouest de la longitude de Meri comprend d'abord un relief de forme tabulaire avec des pics épars et des vallées encaissées avec le paysage classique des blocs de granite sombres, empilés, et des cultures sur petites terrasses aménagées avec des murettes de pierre sèche. Plus en amont, les montagnes s'élèvent, deviennent plus abruptes. Le bassin culmine à l'Hossere Ziver à 1 436 m au nord de Mokolo.

Le Mayo Tsanaga débouche dans la plaine de Gazawa à Minglia ; la plaine reste relativement étroite jusqu'à Maroua ; sa pente est modérée et elle est parsemée de quelques reliefs isolés ; elle est régulièrement inondée. La dernière barre rocheuse importante à l'Est est formée des Hossere Maroua, Makabaï et du Mont Bouloré sur roches vertes d'un volcanisme ancien. En aval de Maroua, la plaine s'élargit et, monotone, se rattache au Yaéré.

La Tsanaga supérieure est formée au défilé de Douvar de la réunion d'une branche Nord issue de l'Hossere Ziver et augmentée du Madabron (Magoumaz) et d'une branche ouest née vers 950 m d'altitude et augmentée du Mododrof. Le défilé de Douvar est aujourd'hui fermé par un barrage réservoir destiné à l'alimentation en eau de Mokolo et de sa région (Olivry *et al.* 1974g, 1976a). La pente des branches supérieures est comprise entre 10 et 40/1 000.

La Tsanaga reçoit en rive droite des affluents courts comme les mayos Idamsay, issu de Mokolo, ou Zakaya issu de Mireo. En rive gauche, les mayos Ndjoua et Fogoum sont de puissants affluents issus du massif ouest de Meri. A l'aval de Fogoum, la pente de la Tsanaga se stabilise à 3/1 000 ; le lit s'élargit et est encombré de dépôts sableux importants. A Minglia, la Tsanaga est à 55 km de sa source à environ 550 m d'altitude. Une étude a été effectuée à ce site (Olivry, Naah, *op. cit.*) pour un projet de barrage à Holum et l'aménagement de la plaine de Gazawa. La pente va rester constante jusqu'à Maroua où la Tsanaga n'est plus qu'à 407 m d'altitude. Des seuils rocheux modifient secondairement l'allure du profil et en limitant les inféroflux permettent un stockage d'eau dans les sables épais du lit mineur.

A Maroua, la Tsanaga reçoit à 95 km de sa source, en rive gauche, le Kalliao son principal affluent. Le Kalliao est un affluent d'une quarantaine de kilomètres issu du sud du massif de Meri dont la pente particulièrement forte sur son haut-bassin est à l'origine de fortes crues ; il a reçu en rive droite le Mayo Mizao.

Entre Maroua et Bogo (337 m), la pente moyenne est de 1,5 m/km sur 50 kilomètres de longueur. A l'aval de Bogo, le lit de la Tsanaga se dégrade très vite et disparaît dans le Yaéré. La reconnaissance sur photos aériennes d'un delta fossile dans le Yaéré semble indiquer que la dégradation du lit de la Tsanaga progresse vers l'amont ; elle est déjà sensible deux à trois kilomètres à l'aval de Bogo.

Ajoutons que la station de Minglia contrôlait un bassin de 575 km².

2.1.2. Les données hydrologiques et leur interprétation

2.1.2.1. Données de base

La hauteur de précipitations interannuelle reçue en moyenne sur les bassins est estimée à :
- 930 mm pour la Tsanaga à Maroua,
- 810 mm pour le Kalliao à Maroua,
- 855 mm pour la Tsanaga à Bogo.

Pour les débits, le tableau 11.16 résume la chronique des débits mensuels connus de la **Tsanaga à Bogo** ainsi que les modules de 10 années complètes. Le module le plus élevé observé est de 13,3 m³/s ; le module moyen est de 7,77, soit 5,02 l/s.km² ; le module le plus faible observé est de 4,84 m³/s. On relève de 7 à 8 mois sans écoulement.

La station du **Kalliao à Maroua** a donné les résultats suivants (tableau 11.14) :

Tableau 11.14.

	J	Jt	A	S	O	N	Module
1966	0	3.8	7.1	4.1	0.1	0	1.30
1967	0.09	5.05	13.7	8.0	0.57	0	2.3
1968	0.30	4.9	7.0	3.45	0.11	0	1.33
1969	2.21	3.1	7.4	6.6	0.22	0.01	1.63
1970	0.03	3.4	11.9	4.9	0.20	0	1.79
Moyenne	0.53	4.0	9.4	5.4	0.24	0	1.67

La station de la Tsanaga à Maroua a été suivie en 1954 et 1955, de 1966 à 1970 et réouverte en 1977 (tableau 11.15).

Tableau 11.15.

	J	Jt	A	S	O	N	Module
1954	6.40	20.9	30.9	22.3	7.17	0	7.31
1955	0	9.0	36.1	-	4.7	0	-
1966	0	8.2	23.7	26.0	3.9	0	5.3
1967	0	23.6	38.5	25.9	1.69	0	7.55
1968	4.98	19.4	34.5	17.3	2.21	0	6.6
1969	1.99	11.6	35.1	18.0	2.95	0.04	5.9
1970	0	3.2	34.6	25.0	2.34	0	5.5
1977	0	4.76	47.7	27.0	1.68	0.07	6.82
Moyenne	1.68	12.6	35.8	23.1	3.33	0	6.38

La station de Minglia a donné les débits suivants en 1977 : 0 en juin, 5,15 en juillet, 39,6 en août, 19,2 en septembre, 1,2 en octobre pour un module de 5,43 m^3/s, soit 9,44 $l/s.km^2$.

Le mois le plus abondant est, sans conteste, le mois d'août ; les masses humides sont déjà en repli très net au mois de septembre. L'écoulement débute généralement en juin par de petites crues qui n'entraînent pas pour autant d'écoulement permanent intermédiaire. Les premières crues peuvent n'être observées qu'en juillet. Seuls août et septembre paraissent assurés d'un écoulement permanent. A signaler aussi de rares écoulements en mai.

Sur la période commune des 5 années (1966-1970), les modules spécifiques sont respectivement de :
- 7,3 $l/s.km^2$ pour la Tsanaga à Maroua,
- 4,7 $l/s.km^2$ pour le Kalliao à Maroua,
- 5,6 $l/s.km^2$ pour la Tsanaga à Bogo.

2.1.2.2. La saison sèche et l'écoulement des Mayos

Dès la fin des pluies et des crues consécutives, le Mayo Tsanaga tarit très rapidement. Une première phase de tarissement de quelques jours précède généralement une phase d'épuisement très courte à l'issue de laquelle l'écoulement peut être considéré comme nul n'étant plus qu'un inféro-flux.

Sur la Tsanaga à Maroua, le premier tarissement admet des coefficients assez constants de l'ordre de 0,190, pour lesquels le débit est divisé par 10 au bout de 12 jours. Le second coefficient de tarissement peut varier de 1,60 à 0,35, soit un débit divisé par 10 de 1 jour 1/2 à 6 jours. Il apparaît entre les débits de 400 et 200 l/s.

Sur le Kalliao, le tarissement est de la même famille, mais un peu plus lent. Le premier admet pour coefficient des valeurs de 0,117 à 0,148, soit une durée de tarissement de 20 à 15 jours pour perdre 90 % de son débit. Le second tarissement qui semble apparaître pour des débits inférieurs à 100 l/s est de l'ordre de 0,3, soit une durée de 7 à 8 jours pour perdre les 9/10 du débit résiduel.

A Bogo, le tarissement admet en première phase un coefficient de 0,24 à 0,34 (soit 10 à 7 jours pour diviser par dix le débit). Un second tarissement avec un coefficient de 0,8 à 0,9 apparaît pour des débits inférieurs à 300 l/s. La Tsanaga perd alors 90 % de son débit en trois jours.

La durée de la période sans écoulement sera d'autant plus longue que la saison sèche sera précoce et la saison des pluies suivante tardive. Le tarissement rapide met un terme rapide à l'écoulement qui suit les dernières pluies d'octobre ; les pluies d'avril, mai et même juin (20 % de la hauteur de précipitation annuelle) ne participent pas ou très peu à l'écoulement, absorbées rapidement par un sol complètement desséché par 6 à 7 mois d'aridité complète. L'échantillon de données reste insuffisant pour une étude statistique de la durée de cette période. On peut seulement dire qu'à Bogo l'écoulement devient nul dans la dernière décade d'octobre ou les premiers jours de novembre. La Tsanaga voit un écoulement permanent apparaître seulement en juillet ; en moyenne c'est le 11 juillet (et avec une probabilité de 60 % entre le 4 et le 18 juillet) ; les dates extrêmes sur 14 années sont le 26 juin et le 27 juillet).

Si on retient pour date moyenne du début de la période sans écoulement le 1er novembre, on peut estimer à 8 mois et 10 jours ou 250 jours la période sèche moyenne (où l'on note quand même quelques épisodes de crue en juin).

Lefèvre (1971) a montré qu'à Maroua subsistait un écoulement d'inféro-flux pendant la saison sèche.

Ces nappes d'inféro-flux utilisant les dépôts de sable du lit comme aquifère sont bien connues sur tous ces mayos et constituent souvent la seule ressource en eau des populations riveraines pendant la saison sèche.

A Maroua, la nappe d'inféro-flux est alimentée par le drainage de la nappe phréatique de la plaine de Gazawa. Lefèvre (op. cit.) a mesuré la vitesse du flux par injection de sel et mesure en aval de la résistivité. Le 1er novembre 1968, le débit d'inféro-flux était de 14,4 m^3/h, soit 4 l/s sur une section mouillée de 300 m^2 ; le 1er mars 1969, le débit était encore de 9,3 m^3/h, soit 2,6 l/s sur une section de 190 m^2/s.

Tableau 11.16. – Tsanaga à Bogo.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s.

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1954-55					59.5	24.2	0.50						
55-56						50.2	14.2						

66-67	0	0	0	12.1	30.8	29.0	1.84	0	0				6.14
67-68	0	0	0	23.1	56.9	42.3	1.89	0	0				10.3
68-69	0	0	3.40	23.4	46.2	28.9	1.30	0	0				8.60
69-70	0	0	3.35	15.0	54.0	30.7	2.85	0	0				8.83
70-71	0		0	7.13	63.9	34.4	1.89	0	0				8.94
71-72	0	0	0	4.42	28.5	21.1	0.72	0	0				4.56
72-73	0	0	20.1	12.8	22.0	–	–	–	0				
73-74	0	0	0	7.93	39.7	14.9	0.94	0	0				5.29
74-75	0	0.10	0	11.5	45.6	16.4	2.94	0	0				6.38
75-76	0	0	0	27.3	80.0	48.6	3.10	0	0				13.3
76-77	0	0	2.08	18.2	41.3	21.5	18.6	–	0				
77-78	0	0	0	8.81	56.2	4.8	–	–	0				
78-79	0	0	0	15.8	43.2	12.0	–	–	0				
79-80	0	0	1.85	12.3	19.4	19.4	5.13	0	0				4.84
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
MED.													
ET.													
MOYE.	0	0	2.20	14.3	45.8	26.6	4.30	0	0	0	0	0	7.77
Q1													
Q3													

Tableau 11.17.

Station	1966		1967		1968		1969		1970	
	m^3/s	date	m^3/s	date	m^3/s	date	m^3/s	date	m^3/s	date
Tsanaga à Maroua	198	4/9	340	28/8	245	23/8	235	26/8	227	18/9
Kalliao à Maroua	182	10/8	227	31/8	252	29/8	330	3/8	389	27/8
Tsanaga à Bogo	123	1/8	270	1/9	225	23/8	208	3/8	258	27/8

Tableau 11.18.

Station	Crue médiane		Crue quinquennale		Crue décennale	
	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$	m^3/s	$l/s.km^2$
Tsanaga à Maroua (845 km2)	240	284	300	355	400	470
Kalliao à Maroua (355 km2)	260	732	380	1070	450-500	1340
Tsanaga à Bogo, (1535 km2)	230	150	280	182	350	228

Le volume d'eau qui s'écoulerait en inféro-flux serait en année moyenne de 100 000 m³, soit 1/2 000 de l'écoulement aérien.

2.1.2.3. Les crues du Mayo Tsanaga

Sur les cinq années d'études, on a observé les débits maximaux suivants (tableau 11.17).

Les débits spécifiques de crue varient de 234 à 402 l/s.km² pour la Tsanaga à Maroua, de 513 à 1 096 l/s.km² pour le Kalliao et de 80 à 176 l/s.km² pour la Tsanaga à Bogo.

Nouvelot (op. cit.) a proposé les estimations suivantes (tableau 11-18).

Ces résultats montrent un amortissement considérable des pointes de crue à l'arrivée des mayos dans la plaine. La différence est d'autant plus marquée que le bassin supérieur a des pentes plus fortes.

A Minglia en 1977, année pourtant déficitaire, on a observé 7 épisodes de crue dont les maximums ont dépassé 300 m³/s : 501 m³/s le 5 juillet, 768 m³/s le 13 août, 376 m³/s le 20 août, 501 m³/s le 22 août, 300 m³/s le 25 août, 376 m³/s le 31 août, 534 m³/s le 8 septembre. La corrélation de ces maximums et de ceux plus modestes observés cette année là à Minglia, avec les maximums correspondants de la Tsanaga à Maroua (Naah, op. cit.) admet l'équation :

$$Q_{Minglia} = 1{,}45\ Q_{Maroua} + 13$$

avec un coefficient de corrélation de 0,92.

On a observé à Maroua un maximum le 13 août 1977 de 604 m³/s très au-dessus de la crue décennale estimée et de fréquence probablement exceptionnelle, une partie de Maroua ayant été inondée. La pluie maximale mesurée sur le bassin équipé de 17 postes pluviométriques a été ce jour-là de 147,9 mm, la pluie moyenne étant de 83 mm sur un bassin de 575 km². Onze millions de m³ ont été évacués en 22 h à la station de Minglia (Kr = 22 %). Une fréquence trentennale a été attribuée à cette crue dont le débit spécifique est de 1 335 l/s.km².

A Minglia, la crue de fréquence médiane serait de 360 m³/s (625 l/s.km²) et la crue décennale de 590 m³/s (1 025 l/s.km²) (1).

On a observé en moyenne 8 heures de décalage entre les maximums de crue de Minglia et ceux de Maroua. Entre Maroua et Bogo, le **temps de propagation de l'onde de crue** varie du simple au double suivant l'importance de la crue : jusqu'à 20 h pour des crues inférieures à 20 m³/s et moins de 10 heures au-delà de 150 m³/s à Bogo.

L'amortissement des crues entre Minglia et Maroua est défini par le rapport des débits maximaux qui vaut 0,7 en moyenne.

Entre Maroua et Bogo, l'amortissement des crues se fait suivant des lois relativement complexes. Le coefficient d'amortissement varie suivant que le maximum de crue vient du Kalliao à Maroua ou de la Tsanaga (C_{am} = 0,78 pour la Tsanaga, = 0,92 pour le Kalliao), et suivant la saison et la puissance de la crue. Suivant le débit maximum calculé au confluent des deux mayos (Q_{C1} = Qmax Tsanaga + $Q_{Kalliao}$ 1 heure après, ou Q_{C2} = Qmax Kalliao + Q Tsanaga 1 heure avant). Nouvelot (1972d) a montré que le laminage est maximal pour les crues supérieures à 250 m³/s et des débits de base très faibles à Bogo (en début de saison, inférieurs à 9 m³/s). Il propose deux demi-droites d'équation :

pour $Q_C < 250$ m³/s : Q_{Max} Bogo = 0,64 Q_C + 9
pour $Q_C > 250$ m³/s : Q_{Max} Bogo = 0,20 Q_C + 123

dont le changement de pente se situe entre 160 et 180 m³/s à Bogo. La dispersion suivant le débit de base n'excède pas ± 10 % dans les 2/3 des cas.

Ainsi une crue de 400 m³/s au confluent de Maroua survenant en juillet ne donnera qu'un débit de pointe de 180 m³/s à Bogo, survenant en septembre un débit maximum de 240 m³/s ; le coefficient d'amortissement passe de 0,45 à 0,60.

Cet examen rapide du régime des crues a mis en évidence deux aspects caractéristiques de la région :
- de forts coefficients de ruissellement, des temps de concentration courts aboutissant à des maximums de crue élevés tant en valeur réelle qu'en débits

(1) A titre indicatif, la crue millénale du projet de Minglia a été estimée à 1 730 m³/s et le volume écoulé à 34.10^6 m³.

Tableau 11.19.

	Années sèches			Moyenne	Années humides			K_3
	50	20	10		10	20	50	
Tsanaga à Bogo en m^3/s	2.9	4.0	5.0	8.6	12.1	13.1	14.2	2.42
en $l/s.km^2$	1.89	2.61	3.26	5.6	7.88	8.53	9.25	

spécifiques (valeurs du même ordre que le Mayo Oulo, etc.) pour tous les mayos issus des Monts Mandara ;
- un amortissement considérable en plaine, ramenant les crues violentes du débouché des montagnes à des crues dont les maximums spécifiques sont très en deçà de ce que l'on connaît plus au sud.

Cette importance des crues dans la région des Mts Mandara est soulignée à travers les études réalisées sur bassins représentatifs. C'est là que l'on a déterminé les crues décennales aux débits spécifiques les plus forts (atteignant 15 000 l/s.km² pour des bassins de 5 km² et les coefficients de ruissellement parmi les plus élevés (de 50 à 65 %)... et cela que l'on soit sur le Motorsolo (Cadier, 1971), la haute Tsanaga à Mokolo-Douwar (Olivry et al., 1976) sur substratum cristallin du socle ou sur le Boulore à substratum de roches vertes (Dubreuil, 1955).

2.1.2.4. Modules, lames écoulées et bilan hydrologique

Faute d'un échantillon de valeurs suffisamment grand, l'étude statistique des modules de la Tsanaga à Bogo ne peut être qu'une approximation dont les résultats devront être pris avec d'autant plus de réserves que le poids relatif des années de sécheresse se fait davantage sentir. Sur 10 modules, la moyenne est de 7,72 m³/s, l'écart-type est de 2,78, et le coefficient de variation est de 0,361. L'échantillon suggère une distribution hypergaussique avec un module décennal sec de 4,6 m³/s (au lieu de 4,2) et un module décennal humide de 12 m³/s (au lieu de 11,3). Le K_3 serait de 2,6, valeur correspondant à la forte irrégularité interannuelle du régime tropical pur déjà soumis aux nuances sahéliennes.

Mais ces résultats, au moins pour ce qui est du module moyen, nous paraissent trop affectés par les années sèches de la décennie 70.

L'étude des précipitations dans la région traduit bien ce déficit pour les stations longue-durée. La période 1966-70, par contre, traduit une période de précipitations moyennes : la moyenne sur 5 ans des sept postes existant sur le bassin est identique (rigoureusement !) avec les postes de Maroua Agriculture et Salak, Guetale, Douvangar, Godola, Papata, Zougoya).

Il paraît donc logique de retenir pour module moyen la valeur moyenne calculée sur cette période et par suite, en conservant le coefficient de variation déjà déterminé et en admettant une loi de distribution normale, les modules de différentes fréquences.

Ces estimations conduisent aux résultats suivants (tableau 11.19).

Le module moyen du Kalliao à Maroua serait de 1,67 m³/s, soit 4,7 l/s.km².

Celui de la Tsanaga à Maroua serait de 6,2 m³/s, soit 7,3 l/s.km².

Les trois modules spécifiques sont en rapport avec la hauteur de précipitations interannuelle ; l'écoulement correspond *grosso modo* à ce qu'il aurait été suivant la relation établie lors de l'étude de la Bénoué (cf. figure 10.15), après correction de longueur du rectangle équivalent.

On notera aussi le faible débit complémentaire collecté par le bassin aval entre Maroua et Bogo : 0,73 m³/s, soit 2,18 l/s.km² ; (la hauteur de pluie étant de 720 mm, la relation évoquée plus haut est toujours acceptable).

Le calcul des lames écoulées permet celui du bilan hydrologique. Les valeurs moyennes sont indiquées dans le tableau 11.20 ci-après. On peut considérer les écoulements occultes comme négligeables et le Déficit d'écoulement peut être ici aussi assimilé à l'évapotranspiration réelle.

L'évapotranspiration réelle doit être en moyenne de l'ordre de 680 mm pour l'ensemble de la région étudiée. C'est un paramètre qui varie relativement peu d'une année à l'autre (au moins par rapport à P et He) et que l'on doit rapprocher de la valeur de l'évapotranspiration potentielle de la région de l'ordre de 1 900-2 000 mm.

Tableau 11.20.

	Volume écoulé 10^6 m^3	Pmm	He mm	De mm	Ke %
Tsanaga à Maroua (1 845 km2)	194	925	229	696	25
Kalliao à Maroua (355 km2)	52.4	812	148	664	19
Tsanaga à Bogo (1 535 km2)	272	853	177	676	21

Le coefficient d'écoulement varie de 20 à 29 % sur la Tsanaga à Maroua, de 14 à 28 % sur le Kalliao, de 17 à 25 % à Bogo.

Sur le mayo Tsanaga à Mokolo (Douvar), on a aussi mesuré 23 et 46 % sur un bassin de 48,9 km².

A Minglia, sur le Mayo Tsanaga (575 km²), l'écoulement a été en 1977 de 40 %. A noter que pour le bassin intermédiaire de Maroua à Bogo avec une lame écoulée de 70 mm, le coefficient d'écoulement n'est que de 9,6 %. On retiendra des valeurs moyennes de 10 % pour la plaine en amont du Yaéré et 25 % pour la montagne Kirdi.

Le bilan mensuel de la Tsanaga à Bogo est le suivant (tableau 11-21).

Les valeurs de l'ETP ont été calculées à partir de valeurs moyennes de l'évaporation mesurées sur bac Colorado dans la région et affectées d'un coefficient 0,7 d'avril à janvier et 0,8 pour les mois les plus secs. La détermination de E_R correspond à ETP lorsque P est excédentaire et inclut partie ou totalité de De. Les valeurs de Stock ou Restitution équilibrent le bilan mensuel ; elles traduisent les mécanismes hydrologiques du bassin mais sont purement indicatives. Une phase de stockage en juillet et août suivie de la restitution dès septembre explique que ce dernier mois ait un écoulement particulièrement abondant par rapport à juillet pourtant nettement plus arrosé.

Nouvelot (op. cit.) a proposé, suite à l'étude de **corrélations hydropluviométriques,** un certain nombre de relations qui dans le cas de Bogo n'ont ni été infirmées, ni améliorées quant à leur qualité avec les informations complémentaires acquises.

A partir des précipitations annuelles, la lame écoulée serait :

à Bogo : He = 0,25 (P — 150) dans l'interv. ± 20 %.

pour la Tsanaga à Maroua : He = 0,32 (P — 210) dans l'interv. ± 20 %.

pour le Kalliao à Maroua : He = 0,22 (P — 130) dans l'interv. ± 35 %.

A partir des précipitations mensuelles (l'initiale du mois étant en indice de P), on a obtenu les relations suivantes :

à Bogo $He = 0{,}01\ P_{AMJ} + 0{,}13\ P_J + 0{,}32\ P_A + 0{,}40\ P_S + 0{,}11\ P_O$

dans un intervalle à 80 % compris entre + et — 10 %.

Les pluies d'avril, mai, juin ne participent pour ainsi dire pas à l'écoulement et sont reprises dans le bilan au niveau de l'évaporation. Ceci explique que dans la relation annuelle une bonne part d'avril, mai, juin (150 mm pour 192 mm) vienne, dans l'ajustement effectué, en déduction du total pluviométrique annuel.

2.2. Le Logone inférieur et l'alimentation du Yaere

2.2.1. Le Logone à Laï, Bongor et Logone-Birni

2.2.1.1. Généralités et données de base

A Laï, au Tchad, le Logone est formé de ses deux branches majeures : occidentale venue du Cameroun, orientale issue de la Pende. Son bassin couvre alors

Tableau 11.21

	A M J	Jt	A	S	O	N	D	J F M	Année
Pmm	192	228	270	139	24	0	0	0	853
He	2.2	30.0	86.6	55	3.2	0	0	0	177
De	189.8	198	183.4	84	20.8	0	0	0	676
ETP	570	98	82	97	134	170	179	645	1975
E_R	*189.8*	98	82	*97*	*99.2*	*70*	*40*	*0*	676
Stock	0	100	101.4	-	-	-	-	-	201.4
Restitution	-	-	-	13	78.4	70	40	0	201.4

56 700 km² et son module calculé sur la période 1948-1973 – c'est-à-dire incluant les années déficitaires de 1972 et 1973 – est de 512 m³/s. La répartition mensuelle des débits est donnée dans le tableau 11.22.

Tableau 11.22.

	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m³/s	58.4	92.1	163	502	1100	1900	1400	467	184	113	79.4	57.9	512

La crue maximale a atteint 3 730 m³/s en 1955 et l'étiage minimal était de 20 m³/s en 1974.

La pluviométrie moyenne interannuelle probable est de 1 370 mm et la lame écoulée est de 285 mm, soit un déficit d'écoulement de 1 085 mm et un coefficient d'écoulement de 20,8 %.

A Bongor, le Logone a rejoint depuis le « bec de Canard » la frontière du Cameroun. La superficie de son bassin versant est alors de 73 700 km². Le gain en superficie provient essentiellement de son affluent de rive gauche, la Tandjile. Depuis Laï, le Logone a pénétré dans une large plaine sédimentaire où la largeur moyenne de son lit varie de 3 à 9 km, montrant une dégradation du réseau hydrographique importante. En rive droite, des déversements sont notables dès avant Eré ; ils seront drainés par le Ba-Illi qui rejoint le Logone à Logone-Gana. En rive gauche, nous avons déjà évoqué les pertes des seuils d'Eré et de Dana qui alimentent le Mayo Kébi. Ces déversements sont dus à l'absence de bourrelets de berges continus.

L'affluent d'Eré est de loin le plus important ; les déversements s'effectuent sur une largeur de 4 km et sous une lame d'eau de 0 à 0,9 m suivant l'importance de la crue qui peut atteindre 230 m³/s en année forte. Le volume annuel de déversement peut être nul et atteindre 1.10^9 m³ en année très humide. En moyenne, il porterait sur 300.10^6 m³.

Les pertes du seuil de Dana sont beaucoup plus modestes du fait d'une pente extrêmement faible entre Bongor et le lac de Fianga. Elles varieraient assez peu d'une année à l'autre, l'amplitude des maximums de crue à Bongor étant réduite ; elles seraient de l'ordre de 10.10^6 m³.

Ces pertes expliquent sans doute le faible gain en débit du Logone depuis Laï. A Bongor, sur la période 1948-1973, le module est de 534 m³/s soit un débit spécifique de 7,25 l/s.km². Le volume interannuel transitant à Bongor serait de $16,8.10^9$ m³.

La distribution mensuelle des débits est donnée dans le tableau 11.23.

Tableau 11.23.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m³/s	55.3	84.8	137	462	1110	1750	1660	647	215	128	83.3	54.4	534

Tableau 11.24. – Logone à Bongor. Débits extrêmes.

Année	Etiage absolu		Débit maximum	
	Date	Débit	Débit	Date
1948-49			2140	18/09
49-50			1900	25/09
50-51			2020	29/09
51-52			1610	13/10
52-53			1900	18/09
53-54	21/4	*49*	1760	01/10
54-55	11/5	*80*	2040	26/09
55-56	14/4	*73*	2630	21/10
56-57	31/3	*49*	2110	23/10
57-58	08/4	*44*	1740	21/09
58-59	08/4	*51*	1860	13/10
59-60	11/4	*51*	2230	27/09
60-61	08/4	*57*	2020	29/09
61-62	28/4	*87*	2140	01/10
62-63	22/4	*47*	2370	13/10
63-64	31/3	*53*	2140	09/09
64-65	23/5	*70*	1940	08/10
65-66	10/3	49.7		
66-67	10/5	50	2140	22/09
67-68	21/4	*32.5*	2060	07/10
68-69	21/4	*54*	2020	15/09
69-70	13/4	70.3	2400	04/10
70-71	14/5	30.5	2740	28/09
71-72	15/4	21.9	2140	30/09
72-73	11/4	25.5	1210	31/08
73-74	09/4	20.5	1500	26/09
74-75	31/3	31.5	1680	22/09
75-76	18/5	29.1	2070	06/10
76-77	05/5	42	1990	27/09
77-78		41.6	1740	18/09
MED.		49.5	2020	
ET.				
Q1		55.5	2140	
Q3		37	1810	

Par rapport à Laï, on notera que le mois le plus fort (septembre) est plus faible à Bongor tandis qu'août et octobre y sont plus élevés, ce qui montre l'étalement de l'hydrogramme de crue (encore plus manifeste si on compare les maximums). Le mois le plus faible (mars) est inférieur à Bongor, ce qui traduit les pertes par évaporation en saison sèche.

Ces résultats peuvent être comparés à la chronique des débits donnée pour la période 1948-1978 dans le tableau 11.25. Les débits mensuels y sont inférieurs et le module obtenu n'est que de 524 m³/s. Le poids de la décennie sèche a été mis en évidence en comparant les résultats d'analyses fréquentielles effectuées sur la période sèche ou la période intégrale (Étude des potentialités du bassin conventionnel du Lac Tchad, 1979). On passe de 41 m³/s à 33 m³/s

Tableau 11.25. – Logone à Bongor.
Débits moyens mensuels et annuels en m³/s

Année	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Module
1948-49				600	1230	1840	1680	528					
49-50					1180	1690	1760	681	226	134			
50-51				303	1100	1830	1800	529	213				
51-52			90.0	210	875	1490	1520	779	212				
52-53			107	249	1010	1800				147	83.0	60.0	
53-54		61.0	96.0	314	932		1490	469	192	116	79.0	55.0	
54-55	50.0	61.0	223	638	1010	1790	1880	1070	333	190	124		
55-56		130	149	509	1220	1750	2310	1330	350	190			
56-57			136	459	1150	1770	1960	687	215	127	92.0	58.0	
57-58	58.0	97.0	248	513	1100	1630	1430	568	218	107	71.0	52.0	510
58-59	46.0	58.0	211	746	913	1620	1600	619	204	129	92.0	64.0	528
59-60	65.0	89.0	117	323	1030	1840	1760	504	183	123	92.0	68.0	517
60-61	62.0	117	115	526	1290	1820	1970	1210	312	160	106		649
61-62	62.5	74.0	129	789	1270		1960		242	138	100		
62-63	99.0	107	132	404	751	1610	2120	771	285	133	91.0	69.0	550
63-64	60.0	131	111	492	1490	2020	1670	669	211	129	81.0	62.0	595
64-65			125	407	1040	1700	1570	613	203	128	90.0		
65-66			131							95.4	60.2	51.4	
66-67	55.4	86.4	137	356	881	1880	1500	766	263	177			
67-68	51.3	52.3	94.1	442	1300	1780	1780	464	163	113	78.1	51.4	533
68-69	39.1	96.1	200	713	1290	1860	1230	402	153				
69-70	64.1	99.9	169	660	1480	2140	1890	719	264	165	125	93.5	659
70-71	85.7	116	143	533	1330	2420	1850	599	264	87.8	62.5	40.4	630
71-72	39.8	38.2	67.1	541	1300	1810	1300	359	120	80.0	55.3	32.2	480
72-73	33.6	54.8	131	178	718	879	802	287	102	82.1	61.6	39.8	282
73-74	27.4	58.6	84.9	177	746	1190	986	257	94.7	59.8	38.1	26.4	314
74-75	23.8	68.1	109	328	1080	1580	1210	435	156	84.9	54.5	37.3	432
75-76	32.5	48.6	80.3	314	901	1750	1970	693	216	102	65.4	43.6	519
76-77	31.7	36.9	97.9	527	1330	1940	1480	701	259	141	92.7	67.0	561
77-78	47.6	51.8	104	420	1040	1590	951	287	135	82.4	54.0	32.5	401
MED.	50.6	71.1	125	450	1100	1780	1675	613	213	128	81	54	523
ET.	19.0	29.4	44.8	168	211	279	362	259	65.3	34.6	22.2	16.4	105
MOYE.	51.7	78.8	131	453	1100	1740	1620	629	214	124	80.5	53.7	524
Q1	62.3	99.9	143	537	1290	1840	1885	719	263	141	92	65.5	
Q3	36.4	54.8	98	319	923	1620	1455	464	163	95.4	61.6	40.1	

(10 années récentes) pour les étiages absolus médians ; pour le maximum médian on passe seulement de 2 005 à 1 955 m³/s.

Les débits extrêmes de l'ensemble de la période d'observation ont été indiqués dans le tableau 11.24. Nous proposons ci-après quelques valeurs-types des débits caractéristiques (tableau 11.26).

Tableau 11-26.

	DA 1N	DCE	DC_1	DC_3	DC_6	DC_9	DC 11	DCC	D MAX
Moyenne	42	45.7	54.1	80.3	165	880	1840	2000	2020
Médiane	47	49	52.3	81	161	866	1810	1990	2040
Q_1	51	54	68	93.5	192	997	1930	2090	2140
Q_3	30.3	31	39.5	60.4	130	687	1570	1735	1750

La pluviométrie moyenne interannuelle probable reçue par le bassin du Logone à Bongor est de 1 280 mm. Si l'on s'en tient au module 1948-1973, la lame écoulée serait de 228 mm, soit un coefficient d'écoulement de 17,8 % et un déficit d'écoulement de 1 052 mm.

Entre Bongor et Logone-Birni, les berges du Logone sont de moins en moins marquées ; elles ont pratiquement disparu entre Katoa et Logone Gana, et la plaine d'inondation fait jusqu'à 70 km de large.

En rive droite, les déversements inondent une bande de 25 km de largeur entre Logone et Chari ; ces eaux sont drainées par la N'gourkoula qui rejoint le Logone à Logone-Gana.

En rive gauche, les déversements inondent le Grand Yaéré d'abord par des effluents comme le Guerléou et le Logomatia, ensuite par simple débordement continu sur des berges inexistantes. Une grande partie de ces eaux échappe définitivement au Logone et la mesure des débits à Logone-Birni permet de faire le bilan des pertes du cours d'eau depuis Bongor. Le module interannuel est de 380 m³/s à Logone-Birni ; le Logone a perdu environ 154 m³/s. Le volume écoulé à Logone-Birni est de 12.10^9 m³.

La distribution mensuelle est la suivante (tableau 11.27).

Tableau 11.27.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m³/s	66	90	168	358	560	710	810	820	538	229	127	84	380

A ces pertes s'ajoute un étalement de l'onde de crue très important. Le coefficient d'amortissement est pratiquement de 2 depuis Bongor. Le temps de propagation est particulièrement lent puisque le débit mensuel le plus fort est en novembre. La figure 11.5 donne les hydrogrammes de l'année 1953 à Laï, Bongor, Katoa (Pouss) et Logone Birni.

2.2.1.2. Étude fréquentielle des débits du Logone à Bongor

Les étiages absolus surviennent généralement en avril : la date moyenne est le 20 avril et l'écart-type de 18 jours ; il y a une probabilité à 60 % de voir apparaître l'étiage absolu entre le 5 avril et le 5 mai.

L'étude fréquentielle des 24 étiages a conduit à retenir une distribution suivant une loi normale. La valeur moyenne est de 42,4 m³/s, soit 0,58 l/s.km² ; l'écart-type est de 13,9 m³/s et le coefficient de variation est de 0,329.

L'étiage décennal sec est de 24,5 m³/s, soit 0,33 l/s.km². L'étiage vicennal serait de 19,4 m³/s, l'étiage minimal ayant été de 20,5 m³/s en 1974. L'échantillon de basses-eaux souvent incomplet implique une certaine réserve pour ces résultats.

Les maximums de crue sont généralement observés en septembre ou octobre même si un long palier dans les débits entraîne le plus fort débit mensuel en novembre. La date moyenne du maximum de crue est le 29 septembre, l'écart-type de 12 jours. Le maximum de crue a 60 % de probabilité d'apparaître entre le 19 septembre et le 10 octobre.

L'étude statistique des débits conduit à adopter un ajustement de l'échantillon à une loi normale. Le maximum de crue moyen est de 2 017 m³/s, soit 27,4 l/s.km² et l'écart-type de 321 m³/s. Le coefficient de variation n'est que 0,159, ce qui pour la région traduit bien l'amortissement systématique des crues dans la plaine. La crue décennale est de 2 430 m³/s (33 l/s.km²) ; la crue vicennale serait de 2 545 m³/s et la crue centennale de 2 765 m³/s... ce qui donne un coefficient $K_{C/D}$ de 1,14 très faible qui nous ramène à l'amortissement considérable des crues du Logone. En années sèches, le maximum de crue n'atteint que 1 605 m³/s en fréquence décennale, 1 490 m³/s en fréquence vicennale. On verra plus loin que ce débit de 1 500 m³/s a son importance.

Les modules n'ont été traités que sur 16 valeurs observées, ce qui nous ramène à un échantillon tronqué. Le meilleur ajustement est obtenu suivant une distribution de Goodrich dont les caractéristiques sont :

Paramètre d'échelle :	551,177	Coef. de variation :	0,193
Paramètre de position :	0,0	Coef. d'asymétrie :	— 0,376
Paramètre de forme :	0,166	Coef. d'aplatis. :	0,039

Le module médian est de 519 m³/s, soit 7,04 l/s.km². En années sèches, le module décennal est de 380 m³/s ; en année vicennale, de 337 m³/s, et en année centennale, de 257 m³/s. (L'année 1972 aurait été cinquantennale.)

En années humides, le module décennal est de 633 m³/s ; les modules vicennal et centennal sont respectivement de 661 et 710 m³/s.

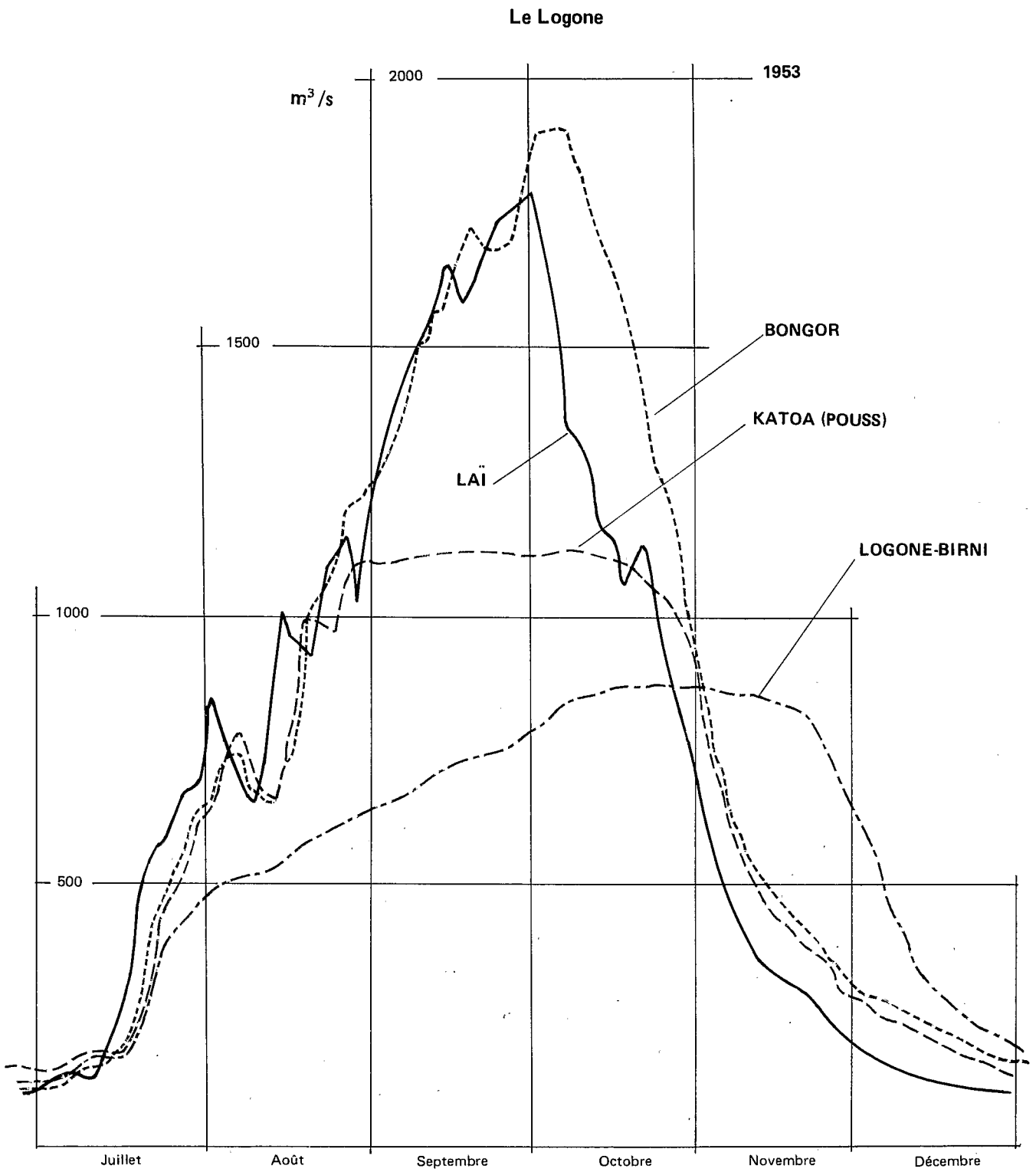


Fig. 11.5. – Évolution comparée des débits du Logone en 1953 de Laï à Logone Birni montrant l'importance des déversements dans le Yaéré à l'aval de Bongor.

Le rapport des modules décennaux K_3 est de 1,67. L'hypogaussicité de la courbe de distribution est bien entendu en rapport avec le rôle des plaines d'inondation.

Le phénomène s'accentue vers l'aval et à Logone-Birni. La courbe de distribution tend même vers une asymptote qui se situerait à 460 m³/s (Rodier, 1975). A cette station, les modules décennaux sont respectivement de 435 et 280 m³/s, soit un K_3 de 1,55.

2.2.2. Les mécanismes de l'alimentation du Yaéré par le Logone

2.2.2.1. Généralités

Les apports du Logone s'effectuent principalement par le Guerleou et le Logomatia. La dynamique de ces déversements a été étudiée par Bouchardeau (1968), Billon, Carré, Roche et Chouret (*op. cit.*). Gac (1979) en a proposé un bilan sur la période 1956-1974. Plus récemment, l'imagerie satellite Landsat a permis à Benech *et al.* (1982) de préciser ces mécanismes. Le comportement naturel n'est plus observé pour le Guerléou du fait des aménagements de la Semry II [1] près de Pouss sur lesquels nous reviendrons.

Du sud au nord à partir de Yagoua (km 0) entre les km 9 et 17, la rive gauche du Logone est très basse et marécageuse ; c'est là que le Mayo Danaï rejoint le Logone mais c'est aussi à l'origine du Mayo Guerléou. Du km 17 au km 75 à Pouss, les berges sont en principe endiguées mais de fréquentes ruptures entraînaient la formation de gros effluents. Les aménagements de la Semry I se situent immédiatement au nord de Yagoua et concernent 5 500 hectares.

Le Mayo Guerléou (que l'on appelle aussi – et déjà – le Logomatia) suit un cours parallèle au Logone jusqu'à Pouss. Il alimente aujourd'hui avec en partie le Mayo Tsanaga et le Logone un vaste lac de 35 000 ha retenu par une digue en argile compactée de 27 km de longueur et de 2 à 7 m de hauteur entre Pouss et Guirvidig. Des ouvrages de prise ou de vidange permettent de maîtriser le niveau de la retenue. Six mille cinq cents hectares de casiers rizicoles au nord de la digue sont exploités en double culture avec maîtrise complète de l'eau par gravité. Cette réalisation de la Semry II a prévu en outre l'aménagement de 5 000 ha de cultures traditionnelles, une opération de reforestation et la valorisation des ressources piscicoles du lac dont la cote maximale est à 312,75 m (Audibert, 1983).

Après Pouss, au km 93, une vaste zone d'épandage est marquée au voisinage de Tekele par les premiers effluents (Arenaba) qui vont donner naissance au Logomatia au droit de Gamseye. Immédiatement en aval, le Logone se partage en deux bras (km 95) ; le bras occidental ou Logone Mazra présente une berge camerounaise basse encombrée d'herbes mais dépourvue d'arbres ; les déversements s'effectuent en nappe. Le Logomatia suit un cours parallèle au Logone.

Au km 155, le Logomatia rejoint le Logone par un coude brusque de Ngodeni à Ivie.

En aval du km 160, la rive gauche du Logone est de plus en plus solide, sa hauteur augmente et à partir de Logone Birni, il n'y a plus trace d'effluents jusqu'au Chari.

Les effluents et drains constituent un réseau hydrographique mal organisé du fait des pentes extrêmement faibles. On observe de nombreux petits bras sinueux mal calibrés et disparaissant sans avoir rejoint un affluent plus important, mais aussi des biefs profonds aux berges abruptes – à l'origine de la réalimentation des nappes – sans grand rapport avec les vitesses de circulation des débits.

En dehors de ces traces d'un réseau hydrographique, l'écoulement se fait à travers les vastes marécages du Yaéré. Le Yaéré a une végétation très dense uniquement constituée de graminées dont les tiges atteignent 2 à 4 m de hauteur suivant la profondeur des eaux en période d'inondation. L'existence de cette strate herbacée est due à la durée de l'inondation qui varie de six mois à l'année entière et aux sols argileux retenant bien l'humidité sous une croûte dure qui fait obstacle à l'évaporation, ce qui permet un redémarrage rapide de la végétation aux premières pluies dans les régions qui ont été exondées en saison sèche.

Bien entendu, cette végétation d'herbes entraîne de très faibles vitesses d'écoulement qui expliquent en particulier l'importante décantation dans le Yaéré des suspensions venues du Logone ou des mayos camerounais. Gac (1979) estime qu'en année moyenne 97 % de la charge solide initiale des apports du Logone (870 000 tonnes) se déposent dans le Yaéré.

2.2.2.2. Dynamique de l'hydrologie du Yaéré

Les travaux de Benech, Quensière et Vidy (*op. cit.*) ont abouti à une synthèse de la dynamique des déversements du Logone dont nous reprenons ici l'essentiel.

Lorsque les premières pluies ont été absorbées par les argiles gonflantes du Yaéré, les pluies suivantes entraînent une première inondation de la plaine qui dans sa partie nord-est sera évacuée à Tilde par l'El Beid ; il en va de même pour certains gros apports des mayos camerounais par la Kalia plus à l'ouest.

En juin, les précipitations ont aussi grossi le chapelet de mares résiduelles du Logomatia, sans aboutir cependant à une mise en eau complète. Celle-ci

(1) Semry : Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture à Yagoua.

survient assez régulièrement dans la seconde semaine de juillet lorsque les débits du Logone ont atteint 400 m³/s à Bongor ; elle s'efectue simultanément par ses deux extrêmités (Arenaba et coude de Ngodeni). Les deux courants se rencontrent à Zina (station hydrologique située à 60 % vers l'aval du cheminement du Logomatia) dans les derniers jours de juillet. On a remarqué que l'arrivée du courant à Zina coïncidait avec une cassure dans la courbe de crue à Logone-Gana. Cette cassure signifie des pertes importantes du Logone dont le débit à Bongor est de l'ordre de 700 m³/s en moyenne.

Une fois la jonction faite à Zina, le courant du Logomatia s'oriente sud-nord sauf près d'Ivie où le Logone continue à se déverser dans le Logomatia.

Toute l'eau pénétrant alors dans le Logomatia est évacuée dans le Yaéré. Pour des débits maximums de 1 100 m³/s à Bongor, l'extension de l'inondation se limite à un large drain au nord en continuité du Logomatia et a des débordements limités côté occidental du Logomatia.

Jusqu'à 1 200 m³/s à Bongor, les eaux de crue envahissent la totalité du lit du Logomatia, les dépressions et les drains artificiels creusés par les pêcheurs. Au-dessus de 1 200 m³/s, le flot de crue inonde la plaine mais l'onde de crue ne parviendra à l'El Beïd que si le Logone dépasse 1 500 m³/s à Bongor. Ce débit n'était pas atteint en 1972 et 1973 et l'El Beïd n'a pas coulé ; il correspond à la cote 280 cm à l'échelle de Zina.

Benech *et al.* distinguent donc deux zones de pénétration des eaux du Logone dans le Yaéré :

- la première correspond au drain situé en aval du Logomatia à Ngodeni par lequel l'inondation progresse selon un axe dépressionnaire orienté SSE-NNW à partir d'un débit à Bongor de 700 m³/s ;
- la seconde se situe au-dessus d'un débit de 1 200 m³/s sur un axe dépressionnaire parallèle au premier et séparé de lui par une zone étroite pouvant rester exondée centrée sur Hinalé et caractérisée par la seule savane arborée du Yaéré. Cette seconde voie, de loin la plus large et la plus importante est empruntée par les eaux du Logomatia amont, jadis du Guerléou.

A moins de crue faible qui favorise l'inondation par la zone nord de pénétration du Yaéré, on relève que l'épaisseur de la couche d'eau qui se déverse dans le Yaéré au maximum de la crue paraît indépendante de celle-ci. L'hydrogramme de Zina atteint le même maximum en 1977 et 1978, la seconde crue étant pourtant nettement supérieure à Bongor. La constance du niveau d'étale à 305 cm, échelle de Zina, montre que la crue est écrêtée d'amont en aval à des niveaux fixes réalisant ainsi une régularisation progressive du débit. L'importance du volume d'inondation tient donc davantage à la durée de l'inondation maximale.

A la décrue, on observe d'abord une baisse lente dans le cours médian du Logomatia à Zina dès la mi-octobre alors que les déversements se poursuivent au nord par Ivie bien que la décrue soit déjà amorcée. On note même sur cet axe des apports supérieurs à ceux du Logone du fait d'apports complémentaires provenant de la Logomatia amont.

Ces déversements entre Ngodéni et Ivie ne cessent que pour un débit de 500 m³/s environ à Bongor qui marque un renversement du courant au niveau d'Ivie et un retour rapide des eaux vers le Logone. Les courbes de vidange des hydrogrammes de Zina très semblables suggèrent une surface drainée constante.

On note également deux phases dans la décrue correspondant aux différences de niveau des seuils des deux voies de pénétration décrites à la crue.

Les eaux retournant au Logone par le Logomatia paraissent concerner un volume relativement constant d'une année à l'autre.

La partie la plus importante des eaux du Yaéré est cependant drainée par l'El Beïd (pour autant que la crue du Logone ait dépassé 1 500 m³/s). C'est la seule qui interviendra dans le bilan, les eaux du Logomatia retournant au Logone et étant comptabilisées à Logone-Birni.

2.3. Le drainage du Yaéré : hydrologie de l'El Beïd

2.3.1. Généralités

L'El Beïd et ses deux principaux affluents, la Kalia côté frontière du Nigeria et la Forunduma au Nigeria, drainent à Gambarou-Fotokol, peu avant de se jeter dans le Lac Tchad, un ensemble de régions très plates comprenant le Yaéré au sud-est et les plaines d'inondation de la région de Maiduguri à l'ouest, plus les apports de quelques mayos du versant nord des Monts Mandara.

Il est pratiquement impossible de déterminer la superficie du bassin versant du fait des déversements amont du Logone. On peut seulement parler d'aire d'influence qui est de l'ordre de 12 500 km².

Le cours proprement dit de l'El Beïd ne devient visible dans le Yaéré que quelques kilomètres en amont de Tilde où une station hydrologique est installée sur la route reliant Maiduguri et Maroua à N'Djamena, à 25 km environ du Chari.

Il reçoit en rive gauche, après un parcours d'environ quinze kilomètres, la Kalia long affluent mais sans grand écoulement (surtout depuis la construction de la route sur digue) et formé de deux branches amont issues du nord du Parc National de Waza.

L'El Beïd prend une direction NW sur 50 kilomètres, puis plein W sur 45 kilomètres. A Gambarou Fotokol, après avoir reçu la Forunduma, il rejoint le Lac Tchad au bout de 25 kilomètres, plein nord.

Seule la station de Fotokol est étudiée ici. On peut citer aussi les stations de Soueram (ou Meinari) et de Daga où des relevés de hauteurs d'eau ont été effectués, et celle plus récente de Tilde.

La station de Fotokol a été étudiée sur 15 années (1953-1968) par Touchebeuf de Lussigny (1969).

Pour cette période de 15 ans, les débits moyens mensuels sont les suivants (tableau 11.28) :

Tableau 11.28.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m^3/s	1.5	0.3	1	4	36.8	41.6	39.6	95.8	176	111	29.2	5.8	45.3

Décembre est le mois au débit le plus élevé, suivi de janvier, ce qui traduit bien la lenteur des écoulements dans les plaines d'inondation qui alimentent l'El Beïd. L'écoulement cesse généralement en mai.

Le « bassin » reçoit une hauteur interannuelle de précipitation de l'ordre de 700 mm.

En complément des travaux de Touchebeuf, la chronique des modules dont nous disposons est la suivante (tableau 11.29) :

Tableau 11.29.

Année	Module	Année	Module	Année	Module
1953-54	24.1	1960-61	*61*	1967-68	47.1
54-55	87.5	61-62	*72*	68-69	19.7
55-56	82.0	62-63	42.5	69-70	44
56-57	*75*	63-64	*53.5*	70-71	48
57-58	*19*	64-65	*34.5*	71-72	19
58-59	19.5	65-66	19.5	72-73	0
59-60	*45*	66-67	23.5	73-74	0

Avec les années nulles 72 et 73, la moyenne sur 19 ans de 42,9 m^3/s tombe à 38,9 m^3/s, soit un volume de $1{,}23.10^9$ m^3.
La lame écoulée est de 98 mm.
Le débit spécifique interannuel serait de 3,11 $l/s.km^2$.

Ces valeurs n'ont pas grande signification géographique du fait de l'alimentation du Yaéré par le Logone.

Dans l'étude qui suit, on se limitera donc à l'estimation des débits sortants du Yaéré et des volumes à prendre en considération dans le bilan de la région et du régime des crues.

2.3.2. Régime hydrologique de l'El Beid

Le régime hydrologique de l'El Beïd dépend de deux types de fonctionnement du bassin apparent :
- dans une première phase, on note l'écoulement des pluies reçues par le bassin et des mayos torrentiels amortis par la plaine. Cette phase se situe de juillet à octobre ;
- dans une seconde phase la lente propagation des apports du Logone à travers le Yaéré provoque une importante montée des eaux dans le courant octobre et novembre avec maximum atteint généralement vers la mi-décembre [1].

Après ces apports, une décrue progressive s'amorce en janvier et s'achève en avril ou mai avec un écoulement nul ou négligeable. On a trouvé que la relation entre les débits du Logone à Bongor et les hauteurs d'eau de l'El Beïd à Daga 72 jours plus tard en décrue varie avec l'importance de la crue à Bongor. Touchebeuf (1969) a montré que la décrue de l'El Beïd était d'autant plus rapide que la crue du Logone était moins forte.

Dans la figure 11.6, on a indiqué trois hydrogrammes de la station de Tilde montrant de manière caractéristique les deux phases d'écoulement :
- précrue provenant des mayos et des pluies,
- crue de vidange du Yaéré.

Les hydrogrammes de l'El Beïd à Fotokol donnés dans la figure 11.7 montrent le même schéma.

Ces hydrogrammes montrent d'une manière générale la démesure qu'il y a entre volumes de précrue et de crue du Yaéré. Cela n'est plus vérifié pour les années faibles du Logone (1953-54) où la précrue devient plus forte en maximum atteint. A la limite, seule la précrue peut exister. Les deux types d'écoulement sont le plus souvent parfaitement distincts. Il arrive aussi que la précrue soit nulle. En moyenne, la précrue représenterait de 10 à 15 % de la crue de vidange des apports du Logone.

L'étude fréquentielle des **maximums annuels de crue** à Fotokol proposée par Touchebeuf (1969) montre :
- une crue médiane de 180 m^3/s,
- une crue décennale de 300 m^3/s,
- une crue vicennale de 355 m^3/s.

Le maximum médian spécifique serait de 14,5 $l/s.km^2$, ce qui est très faible pour la zone climatique et correspond à l'amortissement des plaines d'inondation.

(1) Les études physicochimiques de Benech et al. ont montré que dans cette seconde phase s'écoulent d'abord les eaux venues directement du Logone par le réseau de Drains ; ensuite, ces eaux sont progressivement relayées par celles des plaines d'inondation latérales aux axes d'écoulement.

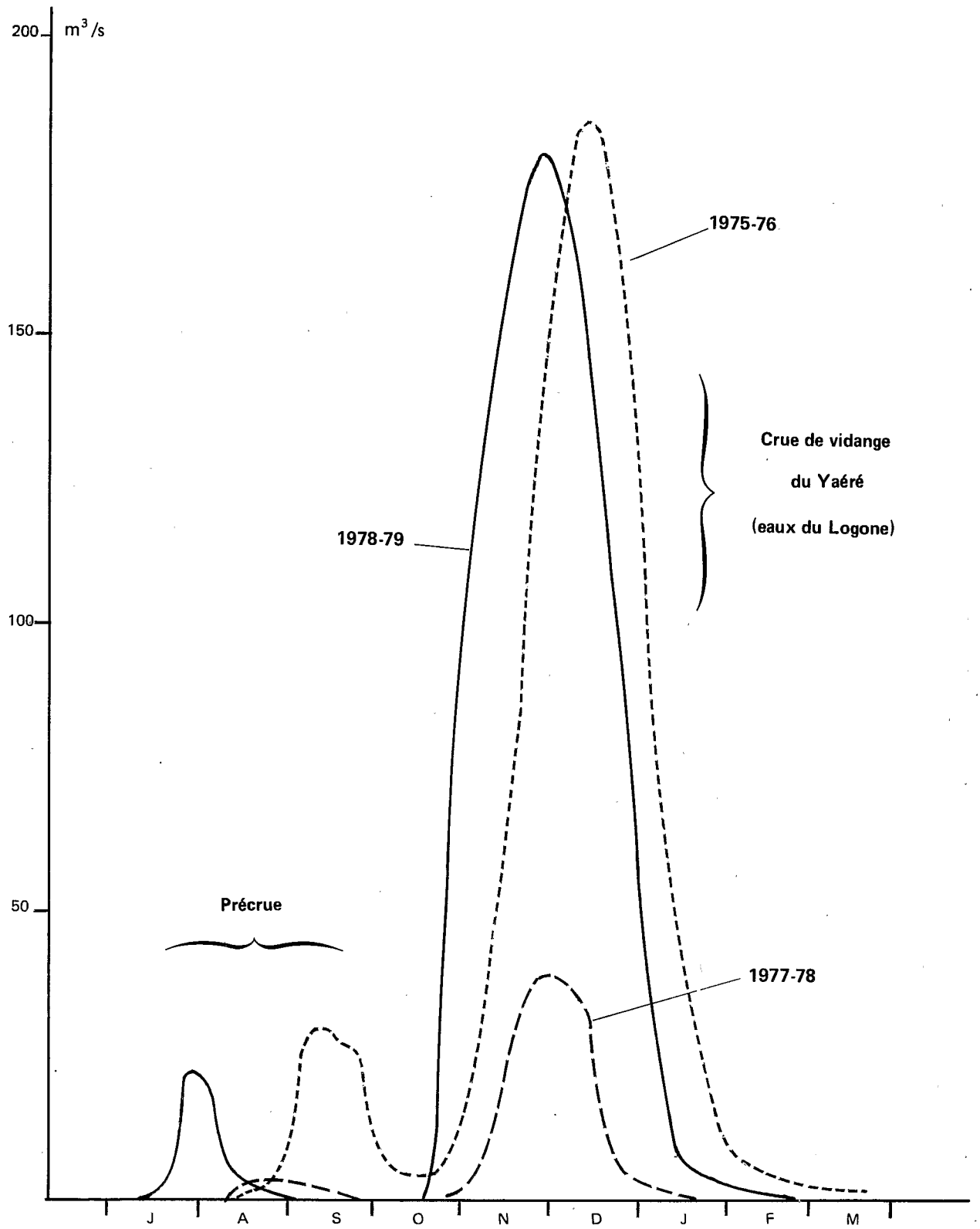


Fig. 11.6. – Exemples d'hydrogrammes annuels de l'El Beid à Tilde.

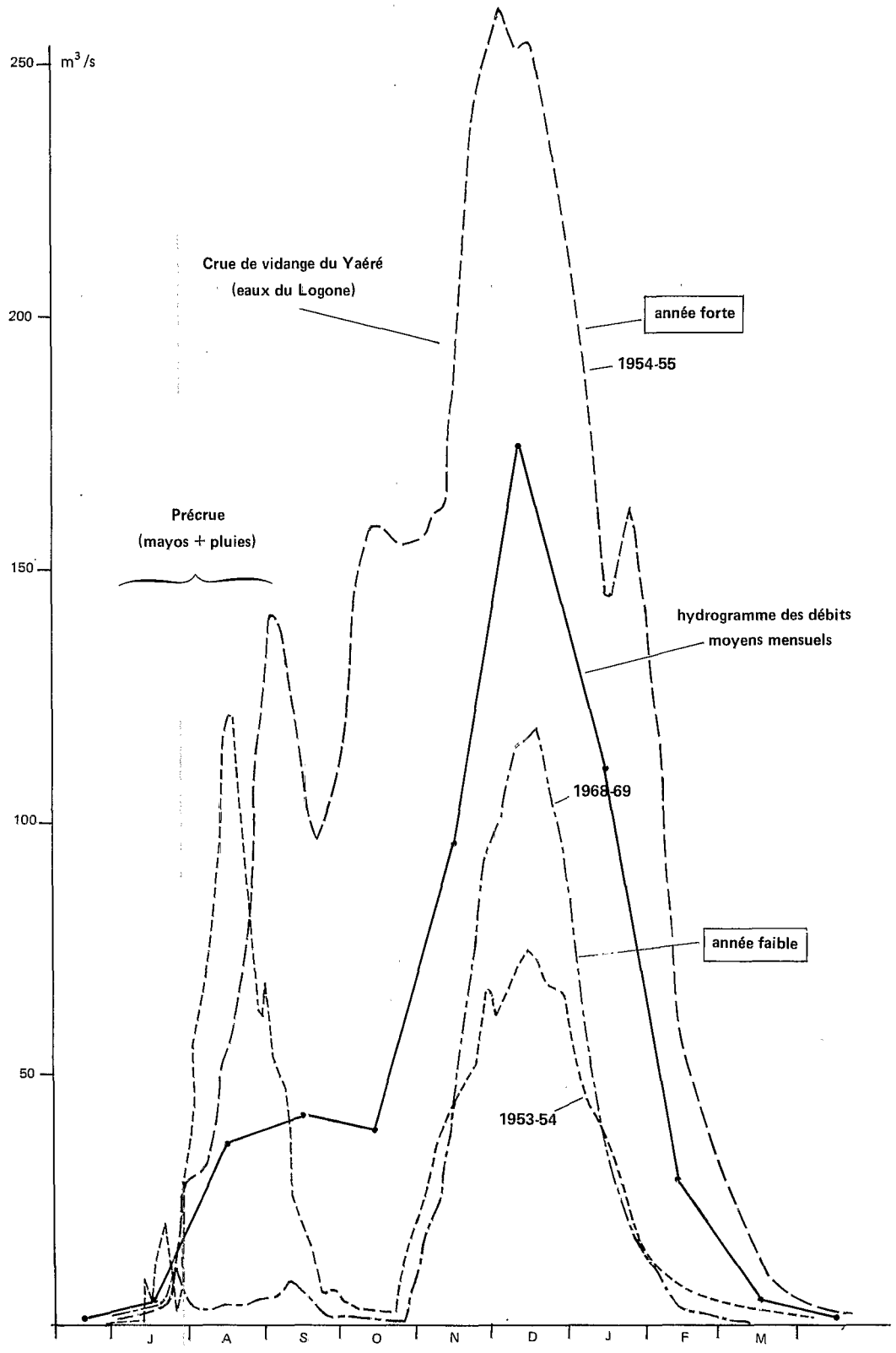


Fig. 11.7. – Exemples d'hydrogrammes annuels de l'El Beid à Fotokol.

Le maximum de crue, lorsqu'il provient de la crue du Logone, est observé dans 60 % des cas entre le 10 et le 20 décembre.

En années déficitaires, faute d'écoulement, le maximum de crue peut être nul. La période de retour de tels événements serait de l'ordre de 20 ans.

L'analyse statistique des **modules** – dont deux nuls – conduit à retenir :

- la valeur médiane de 38,9 m³/s, son écart-type de 26,4 m³/s, le coefficient de variation est de : 0,679 ;
- un module décennal humide de 72,5 m³/s, vicennal de 82 m³/s (et centennal de 100 m³/s ?) ;
- un module quinquennal sec de 17 m³/s, décennal de 5 m³/s et nul pour une fréquence vicennale.

Le K_3 vaudrait alors 14,5... soit des valeurs types des régimes sahélien et sub-désertique mais sans signification ici du fait du régime particulier des apports à l'El Beïd.

2.4. Les apports du Chari et le Lac Tchad

2.4.1. Le Chari

Le Logone conflue avec le Chari à Kousseri. Le fleuve Chari venu de Centrafrique et du Soudan qui a drainé le Centre et le sud du Tchad devient à partir de N'Djaména un fleuve frontière entre Tchad et Cameroun.

A ce titre, nous indiquerons ses principales caractéristiques à la station de N'Djaména avant de décrire brièvement son cours aval jusqu'au Lac Tchad.

Le tableau 11.31 tiré de la Monographie hydrologique ORSTOM « le bassin du fleuve Chari » (1974) donne l'information principale relative à la période précédant la sécheresse des années 70.

En tenant compte des années sèches 1972 et 1973, on a l'actualisation suivante pour les débits mensuels moyens et le module interannuel (tableau 11.30) :

Tableau 11.30 :

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m³/s	190	186	281	557	1250	2360	3230	3100	1670	776	448	270	1200

Les étiages absolus relevés en 1973 et 1974 sont respectivement de 47,7 et 38,6 m³/s.

Les modules des années 1972-73 et 1973-74 sont de 539 m³/s et 574 m³/s.

Enfin les maximums annuels de ces deux années sèches ont été de 1 430 et 2 130 m³/s.

Le volume transitant à N'Djaména en année moyenne est de $37{,}8.10^9$ m³.

2.4.2. Le Serbewel

En aval de N'Djaména et Kousseri, le Chari, au moment de la crue, immerge les savanes boisées qui remplacent ici les grandes plaines herbeuses du sud. La crue se produit en octobre-novembre et pénètre dans les terres par l'intermédiaire de défluents importants comme le Serbewel et le Taf-Taf côté Cameroun.

Le Serbewel est en fait un bras du Chari qui se sépare de ce dernier 18 km en aval de Kousseri et se jette dans le lac à l'aval de Makary au nord-ouest de Ngouma. Sa longueur, abstraction faite des méandres, est de 100 km environ. Large de 50 à 100 m, le Serbewel a des berges franches possédant un bourrelet assez continu recouvert d'une galerie forestière à *Acacia scorpioïdes*. L'écoulement du Serbewel est continu pour les années de fortes crues ; plus généralement, dès février et mars, le débit devient nul faute d'écoulement, bien que le Serbewel reste en eau ; la pente est alors nulle entre le lac et la naissance du Serbewel alors que le Chari continue lui-même à couler : le plan d'eau à l'embouchure du Chari serait donc à un niveau légèrement inférieur que celui de l'embouchure du Serbewel et il doit exister un léger courant orienté du S-W au N-E le long du rivage camerounais (Tillement, 1970).

Plus en aval, le Taf-Taf naît d'un effluent du Chari au sud de Mani ; après un cours sinueux, il va se jeter dans les marécages du lac au nord de Massaky.

Dans toute cette région facilement inondable, la monotonie de la plaine n'est rompue de loin en loin que par de petits reliefs constitués d'accumulation de terre de quelques mètres d'altitude appelées « buttes Sao » dont l'origine serait anthropique pour certains ; les Saos auraient élevé ces îlots pour rester au sec en période d'inondation ; de gros villages occupent ces levées de terre.

Mesuré à Maltam, le module interannuel du Serbewel serait de l'ordre de 60 m³/s. Il faut des années très sèches comme 1972 ou 1973 pour que l'écoulement du Serbewel devienne nul.

La distribution mensuelle des débits est la suivante (Tableau 11.31) :

Tableau 11.31.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Année
m³/s	2.82	3.33	5.74	20.2	50.7	129	195	193	102	26.5	10.3	4.43	60

Le débit maximal observé est de 415 m³/s, mais il aurait dépassé 430 m³/s en 1961 et 1955. La crue médiane atteindrait 279 m³/s.

Tableau 11.32. – Caractéristiques hydrologiques du Chari à N'Djamena (d'après « Le bassin du fleuve Chari », Monographies hydrologiques ORSTOM).

Superficie du bassin versant : 600 000 km^2

Pluviométrie moyenne sur 28 ans (1940-1967) : 1 041 mm

MODULES

Module interannuel observé sur 28 ans : 1 280 m^3/s, soit 2,13 $l/s.km^2$

Valeurs du module d'après une période étendue à 35 ans (1932-1966) et valant 34 ans :			Intervalle de confiance à 95 %	
Centennale sèche	(690 m^3/s)	(1,15 $l/s.km^2$)	(530 - 850)	
Décennale sèche	950 m^3/s	1,58 $l/s.km^2$	840 - 1 060	
Moyenne	(1 260 m^3/s	2,10 $l/s.km^2$	1 180 - 1 340	(m^3/s)
Décennale humide	1 570 m^3/s	2,61 $l/s.km^2$	1 460 - 1 680	
Centennale humide	(1 830 m^3/s)	(3,05 $l/s.km^2$)	(1 670 - 1 990)	

Irrégularité interannuelle : C_v = 0,194

CRUES ANNUELLES

Maximum observé sur 35 ans : 5 160 m^3/s, soit 8,6 $l/s.km^2$

Valeurs du maximum annuel sur la période observée :			Intervalle de confiance à 95 %	
Médiane	3 690 m^3/s	6,2 $l/s.km^2$	3 450 - 3 930	
Décennale humide	4 640 m^3/s	7,7 $l/s.km^2$	4 310 - 4 970	(m^3/s)
Centennale humide	5 390 m^3/s	9,0 $l/s.km^2$	4 920 - 5 860	

Eventualité du maximum annuel : 50 % de chances entre les 25 octobre et 8 novembre

ETIAGES

Coefficient de tarissement estimé à 0,019 j^{-1} ; en très basses eaux 0,013 j^{-1}

Estimations des étiages absolus annuels sur la période observée de 22 ans (1938 à 1957, avec lacunes) :			Intervalle de confiance à 95 %	
Médiane	126 m^3/s	0,21 $l/s.km^2$	107 - 147	(m^3/s)
Décennale sèche	88 m^3/s	0,15 $l/s.km^2$	80 - 102	

Eventualité de l'étiage absolu : 50 % de chances entre les 20 avril et 20 mai

BILAN

Déficit d'écoulement moyen $\leqslant$ 974 mm ; coefficient d'écoulement moyen $\geqslant$ 6,4 % (débits capturés et déflués inclus dans le déficit)

DEBITS MENSUELS OBSERVES (30 ans, environ) en m^3/s

	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A
Moyennes	199	289	591	1 300	2 450	3 410	3 370	1 890	851	491	289	191
Médianes	183	259	582	1 264	2 438	3 350	3 369	1 753	812	454	272	175

2.4.3. Le Lac Tchad

Le Chari rejoint le Lac Tchad par un delta dont le bras principal aboutit à Djimtilo. L'ensemble des apports hydriques au lac est estimé à 46 milliards de m^3 dont environ 6 milliards de précipitations reçues par le plan d'eau du lac (pluviométrie moyenne de 330 mm). Sur les 40 milliards de m^3 d'apports fluviatiles, 95 % proviennent du bassin du Chari.

Le Lac Tchad est partagé territorialement entre le Niger, le Tchad, le Nigéria et le Cameroun.

Côté Cameroun, la rive est très plate et le lac proprement dit est séparé de la terre ferme par une large zone marécageuse occupée par des herbiers à *Cypérus papyrus, Echinocloa pyramidalis, Phragmites.* La récente sécheresse y a vu le développement spectaculaire d'une espèce d'arbre aquatique appelée localement ambatch *(Aeschynomene elaphroxylon)* pouvant atteindre de 5 à 8 m de haut et un diamètre de 30 à 40 cm et dont le bois a une densité deux fois moindre que le liège.

Au cours des années déficitaires de 1973, 74, toute la partie camerounaise était exondée avec une végétation dense à l'exception d'eaux libres réduites à la région sud-est au nord de Djimtilo (Kalom).

Depuis ces années-là, des phases hésitantes de remise en eau ont marqué la succession d'années d'hydraulicité plus ou moins déficitaire.

De fait, avec la persistance de la sécheresse, des modifications importantes ont été apportées au milieu en particulier par la séparation de la cuvette du Nord-Ouest (Nigéria-Niger), de celle du Sud-Est (Cameroun-Tchad).

L'histoire du lac a montré qu'à une époque récente de tels phénomènes ont déjà été observés et ne présentent donc pas de caractère irréversible. De nombreuses études se sont penchées sur le sujet et nous ne nous y attarderons pas [1]. Signalons cependant l'intérêt des repères que permettent ces études du lac pour fixer l'évolution climatique de l'Afrique Centrale.

En période moyenne, le lac atteint une cote de 281,5 m. Il couvre alors une superficie de l'ordre de 20 000 km^2 et a un volume de l'ordre de 65.10^9 m^3.

Lors de la crue du lac entre 1962 et 1964, le maximum atteint correspondait à la cote 283,60 m, soit une superficie de 23 500 km^2 et un volume d'eau stockées de 105.10^9 m^3.

Au minimum 1971, la surface du lac s'est réduite à 19 000 km^2 pour un volume stocké de 49.10^9 m^3 à la cote 280,8 m.

A l'étiage 1973, la surface du lac n'occupe plus que 8 000 km^2 et le volume stocké n'est plus que de 28.10^9 m^3.

L'histoire récente entre 1800 et aujourd'hui commence par une période de très haut niveau (cote 286 ?) et, après une série de fluctuations, aboutit à l'assèchement connu aujourd'hui (cote 278 ?).

Il est important de souligner que le volume des apports annuels du Chari n'est pas très éloigné du volume stocké dans le lac.

Cela permet de conclure qu'une évolution rapide du lac est prévisible dans le cas d'une série d'années à forte hydraulicité sur les bassins du Chari et du Logone.

Ceci nous ramène aux tributaires camerounais du lac Tchad pour lesquels nous nous proposons de résumer le bilan hydrologique des apports.

2.5. Bilan moyen des apports des tributaires camerounais du bassin du Lac Tchad

A Laï, le volume des apports du Logone en année moyenne (512 m^3/s) est de $16{,}15.10^9$ m^3. Sur ce volume, 8 milliards de m^3 proviennent du Cameroun par le Vina et la Mbéré.

Le Logone reçoit l'appoint de la Tandjilé évalué à $0{,}6.10^9$ m^3 mais perd un volume pratiquement équivalent vers la Bénoué aux seuils d'Eré (290.10^6 m^3) et de Dana (10.10^6 m^3) [1] d'une part, vers la plaine du Ba-Illi ($0{,}2.10^9$ m^3) d'autre part.

Dans ces plaines méridionales du Logone, les apports sont excédentaires de 100 millions de m^3 par rapport aux pertes.

A Bongor, avec un débit moyen de 534 m^3/s, le volume des apports moyens annuels est de $16{,}84.10^9$ m^3, soit $0{,}69.10^9$ m^3 de plus qu'à Laï dont $0{,}1.10^9$ m^3 d'excédent des apports de la Tandjilé sur les pertes Bénoué et Ba-Illi. Le bassin intermédiaire (17 000 km^2) apporte donc un apport de 590 millions de m^3 pour une hauteur de précipitation annuelle de 980 mm, soit un écoulement de 3,5 % ou de 35 mm, le reste étant consommé par évaporation dans le lit majeur et les plaines d'inondation.

A Logone Birni, le Logone n'a plus qu'un module interannuel de 380 m^3/s, ce qui donne un volume annuel de 12.10^9 m^3, soit $4{,}84.10^9$ m^3 de pertes depuis Bongor.

Gac (1979) identifie en rive droite $1{,}7.10^9$ m^3 de pertes provisoires dans la plaine inter Chari-Logone avec restitution de $0{,}9.10^9$ m^3 en amont de Logone-Birni, ce qui signifie des pertes par évaporation de $0{,}8.10^9$ m^3 (en plus bien sûr de la lame précipitée).

(1) Tilho (1910) ; Touchebeuf de Lussigny (1969) ; Servant (1973) ; Maley (1981) ; Chouret (1974), etc.

(1) Ces pertes minimes se situent peu en aval de Bongor.

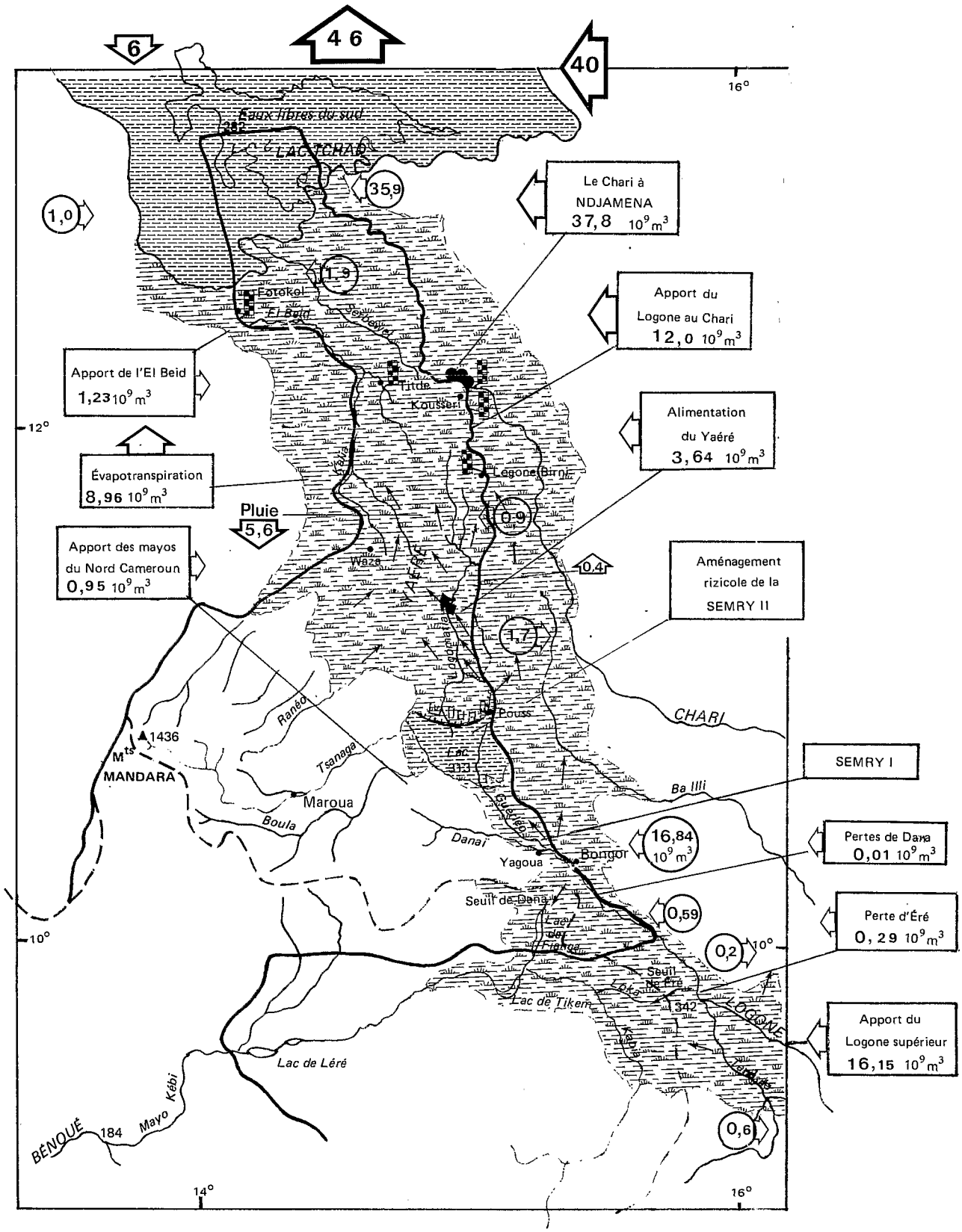


Fig. 11.8. – Les eaux du Logone, le Nord Cameroun et bilan hydrologique (valeurs en milliards de m³).

Un volume de $4{,}04.10^9$ m³ disparaît, côté rive gauche d'une part, sur le bief Bongor-Logone Birni et son lit majeur d'autre part.

Sur ce dernier qui couvre environ 2 000 km², les pertes ne doivent pas excéder $0{,}4.10^9$ m³ si l'on s'en tient aux possibilités d'évaporation et aux apports météoriques moyens.

Ce serait donc en moyenne un volume de $3{,}64.10^9$ m³ provenant du Logone qui transiterait par le Yaéré.

Le Bilan du Yaéré comprend donc en entrées :
- les apports du Logone : $3{,}64.10^9$ m³ ;
- les apports dus aux précipitations directes ; celles-ci estimées à une hauteur interannuelle moyenne de 700 mm sur les 800 000 ha du Yaéré donnent un volume précipité de $5{,}6.10^9$ m³ ;
- les apports dus aux Mayos des Mts Mandara.

Pour ces derniers, il convient de corriger des estimations anciennes erronnées faute de mesures précises (Bouchardeau **et al.**, 1968) et reprises dans des travaux ultérieurs (Gac, 1979). Le terme « Mayos Mandara » estimé alors à $0{,}15.10^9$ m³ avait été négligé dans le bilan.

Nos études ont montré que pour le seul Mayo Tsanaga intéressant un bassin de 1 535 km², le volume des apports interannuels était de $0{,}27.10^9$ m³ pour un module spécifique de 5,6 l/s.km².

Pour le Mayo Boula plus au sud et un peu plus arrosé pour un bassin de 2 000 km² et un débit spécifique de 5,5 l/s.km², le volume interannuel des apports est de $0{,}35.10^9$ m³.

Les études sur le Motorsolo ont montré que pour les mayos nord (Ranéo, Motorsolo, etc.) un module spécifique de 4 l/s.km² pouvait être retenu, ce qui conduit pour des bassins couvrant 2 600 km² à un volume annuel moyen de $0{,}33.10^9$ m³.

Le total moyen des apports dus aux mayos serait donc de $0{,}95.10^9$ m³.

Les entrées dans le Yaéré totalisent donc : $3{,}64 + 5{,}6 + 0{,}95 = 10{,}19.10^9$ m³, donc un peu plus de 10 milliards de m³.

Les sorties sont constituées par l'écoulement de l'El Beïd qui est mesuré, l'évapotranspiration et l'alimentation de la nappe phréatique à partir des drains du réseau hydrographique.

Le terme « alimentation des nappes » est tout à fait négligeable dans un bilan aussi peu précis d'hydrologie de surface.

Le volume des apports de l'El Beïd évacués du Yaéré est au maximum en année moyenne celui qui a été mesuré (module de 38,9 m³/s) : soit un volume de $1{,}23.10^9$ m³.

Le terme évapotranspiration réelle équilibre le bilan :

$$E = 10{,}19 - 1{,}23 = 8{,}96.10^9 \text{ m}^3$$
soit neuf milliards de m³,

ce qui pour 8 000 km² donne une évapotranspiration du Yaéré de 1 120 mm.

Cette valeur est minimale car on comptabilisé dans les sorties du Yaéré les apports du bassin aval de l'El Beïd ; ceux-ci restent réduits et l'évaporation moyenne reste certainement inférieure à 1 200 mm.

On soulignera que seulement 1/3 des apports du Logone est restitué dans l'El Beïd à l'aval du Yaéré, les deux autres tiers étant partis, avec les apports des Mayos, avec les apports météoriques en évaporation.

Finalement, arrivent au Lac Tchad les débits de l'El Beïd et ceux du Chari trente fois supérieurs dont une partie transite par le Serbewel.

El Beïd ..... $1{,}23.10^9$ m³
Chari à Ndjaména
(dont Logone 12.10^9 m³) .....
..... $37{,}8.10^9$ m³
Chari en aval dont Serbewel 1,9
et Chari Delta 35,9
soit au Total : ..... $39{,}03.10^9$ m³

39 Milliards de m³ venant du Sud (Cameroun + Tchad)
et 1 Milliard de m³ venant du Nigeria
Le Lac Tchad reçoit donc en année moyenne 40.10^9 m³.

Ces conditions moyennes sont loin d'être observées en ce moment, nous en avons parlé. Un retour à la normale devra tenir compte, dans le bilan du Yaéré, des grands travaux qui ont été réalisés pour la SEMRY II : blocage d'une partie des eaux des Mayos Boula et Tsanaga et évapotranspiration potentielle satisfaite sur une superficie d'au moins 200 km².

5e PARTIE

CONCLUSIONS ET ANNEXES

Chapitre XII : CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES FIGURES

TABLE DES TABLEAUX

INDEX ALPHABÉTIQUE DES NOMS GÉOGRAPHIQUES

ANNEXES : Réseau hydrométrique du Cameroun
Cartes hors-texte

CHAPITRE XII

Conclusion

Nous avons volontairement limité le panorama de l'hydrologie du Cameroun à l'étude des régimes hydrologiques des fleuves et rivières du pays et par suite renoncé à produire ici une synthèse de nos travaux sur l'érosion hydrique ou la qualité des eaux naturelles du Cameroun, ou encore les analyses globales effectuées sur le ruissellement observé sur petits bassins représentatifs. Ces compléments ont fait l'objet de publications auxquelles nous renvoyons le lecteur [1].

Dans les travaux qui précèdent, une de nos démarches principales a consisté à individualiser sur le plan des régimes hydrologiques des unités géographiques et hydrographiques en soulignant plus particulièrement leurs aspects originaux.

A l'échelle des unités retenues, nous avons généralement esquissé les relations éventuelles de bassins à bassins pour les paramètres hydrologiques principaux. De même, le passage d'un chapitre à l'autre, d'un bassin hydrographique à l'autre, a été l'occasion de dégager les différences susceptibles d'expliquer telle ou telle évolution des paramètres.

Enfin, notre souci d'information a conduit à indiquer dans cet ouvrage un ensemble de données climatiques, géomorphologiques, géographiques et hydrologiques qui constituent autant de sources d'autres développements éventuels et une référence sur l'hydrologie du Cameroun. Rappelons aussi que la conception de ces travaux, les divisions de l'ouvrage correspondent au désir de faciliter un accès direct du lecteur au domaine ponctuel susceptible de l'intéresser.

Dans cette optique, un chapitre de conclusions n'avait plus de sens s'il devait ne constituer qu'une synthèse ou un résumé des travaux effectués.

Sans tout à fait échapper à cet aspect, nous avons tenté de présenter ici quelques traits généraux de l'hydrologie du Cameroun et de les présenter sous forme graphique ou cartographique. Sous forme graphique, nous avons repris quelques paramètres en fonction de la superficie des bassins, ou de l'importance des précipitations, ou de l'effet de latitude (considérable puisque la latitude varie de plus de 10° pour le Cameroun). En cela, nous débordons du cadre camerounais de cette étude et les résultats proposés constituent une contribution non négligeable à la connaissance des régimes hydrologiques en milieu intertropical. Lorsque cela était possible, les variations spatiales de paramètres ont été représentées sous forme cartographique, permettant ainsi une vision globale de la variable considérée pour le Cameroun.

(1) Pelleray, 1957b, c ; Touchebeuf, 1958 ; Rochette, 1959a, b ; Nouvelot, 1969b, c, 1970d, 1972b, d ; Olivry *et al.*, 1974h, 1976a ; Olivry, 1976h, 1977b, 1977c ; Olivry et Naah, 1978c ; Naah, 1978.

Écoulement et précipitations

Au terme de cette étude, souligner que les régimes hydrologiques des rivières et fleuves du Cameroun sont calqués sur les régimes pluviométriques rencontrés relève de l'évidence ; abondance, variabilité saisonnière et même irrégularité interannuelle, pluviométriques et hydrologiques sont intimement liées. Dans les régions de basses latitudes, les précipitations jouent un rôle pratiquement exclusif dans la définition des régimes hydrologiques (Frécaut, 1982). On se souvient de l'excellente relation établie entre précipitations et écoulements moyens pour les fleuves côtiers (cf. fig. 4.29) ; pour le Nord-Cameroun (fig. 10.5), une relation précise a pu être également obtenue, avec introduction d'un facteur secondaire (longueur du rectangle équivalent) ; il en est de même pour le bassin de la Sanaga (fig. 6.21, 6.22) ; seule l'absence de variations marquées sur le bassin de la Sangha n'a pas permis de définir une relation spécifique au bassin.

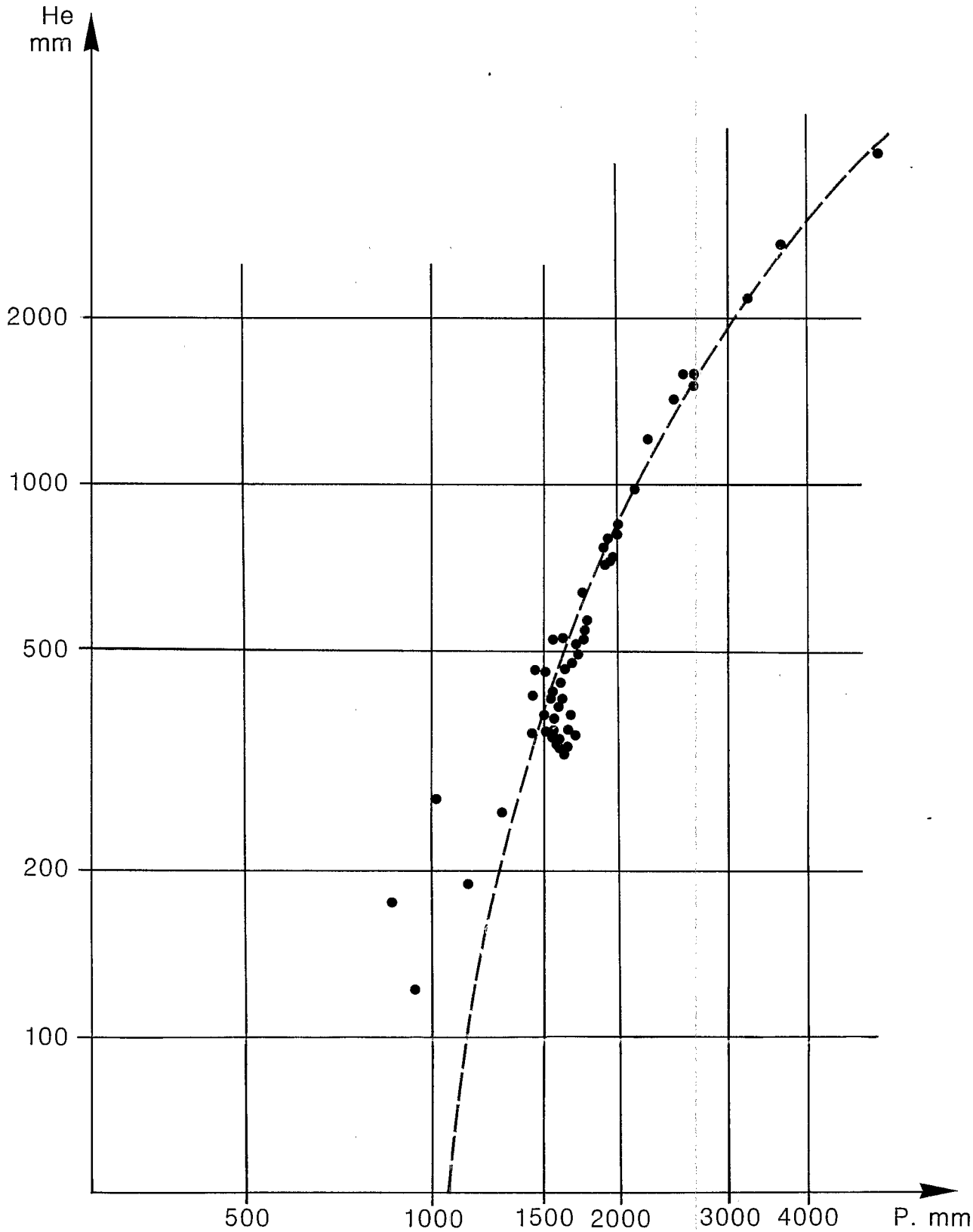


Fig. 12.1. – Lame écoulée et précipitation.

Il était donc tentant de rechercher une relation globale pour le Cameroun. La mise en régression de l'échantillon (P-He) doit bien entendu être considérée avec prudence du fait des tailles variables des bassins et de leur répartition inégale. Une simple régression linéaire, sans anamorphose des variables, paraît la mieux appropriée. Son équation s'écrit :

$$He = 0{,}973\ P - 1\,047 \text{ (P et He en mm).}$$

Le coefficient de corrélation est de 0,980 ; mais cette relation ne doit pas faire illusion car elle sous-estime nettement l'écoulement des zones tropicales pures et surestime celui de la bande équatoriale du bassin de la Sangha. Elle paraît cependant vérifiée pour les zones à précipitations supérieures à 1 500 mm de la Sanaga, et du climat tropical de transition, ou des fleuves côtiers. On ne peut cependant pas parler de relation unique entre l'écoulement et les précipitations sans faire intervenir d'autres facteurs tels que la taille des bassins, la répartition des pluies dans l'année ou l'altitude, facteurs dont l'ajustement n'est pas aisé. La figure 12.1 montre, en coordonnées logarithmiques, la relation citée plus haut et son inadéquation pour le bassin de la Sangha et le Nord-Cameroun. En tout état de cause, on gagnera à se reporter aux relations régionales évoquées plus haut.

Écoulement et latitude

Les effets d'une zonalité latitudinale ont été mentionnés maintes fois dans cet ouvrage tant sur le plan de la climatologie que sur celui de l'hydrologie. Afin d'examiner ces effets dans l'écoulement, ou le bilan hydrologique, il a été nécessaire de ramener chaque bassin à la latitude de son centre de gravité. Le tableau 12.1 regroupe d'une part les caractéristiques des bassins étudiés (superficie, latitude, altitude et catégories de taille des bassins [1]), d'autre part l'ensemble des valeurs du bilan hydrologique (Pluviométrie, Déficit d'écoulement, Lame écoulée et Coefficient d'écoulement). L'ordre des stations hydrométriques du tableau 1.5 a été conservé ici.

La figure 12.2 donne la variation latitudinale des lames écoulées et des coefficients d'écoulement déterminés dans l'étude. A l'exception des bassins dont l'apport « précipitations » est nettement supérieur à une valeur annuelle moyenne de 1 500-1 700 mm, le sud du Cameroun a des lames écoulées inférieures à 500 mm et le plus souvent comprises entre 300 et 400 mm au sud du 5e parallèle. Entre 5° et 7° 30 N, les lames écoulées augmentent de 500 à 700 mm pour des précipitations équivalentes. Au nord du 8e parallèle, les lames écoulées diminuent et tombent probablement en dessous de 100 mm vers 12° N.

Les coefficients d'écoulement suivent grosso modo les mêmes variations en latitude : de 25 à 30 % au sud du 5e parallèle N, de 30 à 40 % dans la bande 5°-7° 30 N, puis de 30 à 10 % de 8 à 12° N. Il faut aussi souligner pour les régions les plus arrosées les coefficients qui dépassent 70 et même 80 %.

Cette altération d'un schéma zonal en latitude n'est pas le fait de précipitations plus abondantes sur la bande 5° à 7° 30. L'altitude souvent plus élevée des régions concernées joue certainement un rôle en diminuant l'évaporation mais **la répartition des pluies** est sans doute plus déterminante. En passant au régime tropical humide de transition pour lequel il y a concentration des pluies sur une seule saison, et par suite **efficacité croissante des précipitations** en cours de saison, on améliore les conditions de l'écoulement. Plus au sud, la petite saison sèche interrompt le processus entamé pendant la « petite saison des pluies » d'où une efficacité globale moindre au niveau des lames écoulées.

L'exemple donné ci-après illustre bien ce phénomène. On a comparé l'écoulement mensuel de deux bassins de taille voisine et recevant des précipitations du même ordre de grandeur : la Sanaga à Goyoum dont le bassin est de 50 500 km² et est centré sur 6° Nord, et le Dja à Ngbala (Fort Soufflay) dont le bassin centré sur 2° 45 totalise 38 600 km². Lames précipitées, écoulées et coefficients d'écoulement sont donnés dans le tableau 12.2.

La comparaison des coefficients d'écoulement montre nettement pour le Dja leur baisse consécutive à la petite saison sèche. (Bien entendu les forts coefficients de saison sèche sont sans signification lorsqu'ils correspondent à des débits de restitution des réserves.)

Ceci constitue donc une première altération au schéma zonal couramment admis ; nous allons voir une autre altération de ce schéma latitudinal au niveau de l'irrégularité interannuelle de l'écoulement.

Si l'on s'en tient au coefficient K_3 [1] pour exprimer l'irrégularité interannuelle, on note que celle-ci est plus forte dans la zone équatoriale et côtière que dans la zone à climat tropical humide de transition.

(1) Quatre catégories de taille ont été considérées : 1° pour des bassins de taille inférieure à 1 000 km² ; 2° pour des bassins de superficie comprise entre 1 000 et 5 000 km² ; 3° pour les bassins de 5 000 à 20 000 km² et 4° pour ceux dépassant 20 000 km². 1° et 2° correspondent aux bassins « élémentaires et petits » de M. Parde ; de même 3° et 4° sont des bassins « moyens à grands et très grands ». Cette classification, qui pourra être utilisée, simplifiée ou non, dans les graphiques, n'a d'autre but que d'indiquer une croissante imprécision dans la localisation spatiale des phénomènes hydrologiques.

(1) Rappelons que K_3 correspond dans cette étude au rapport des écoulements annuels (modules, lames écoulées, volumes) de fréquences décennales humide et sèche.

Tableau 12.1.

Nom du bassin	Superficie du B.V. km2	Catégorie	Centre BV Lat N	Altitude moyenne	Précipitation moyenne P mm	Déficit d'écoulement De mm	Lame Ecoulée He mm	Coefficient d'écoulement Ke %
Cross Mamfe	6 810	3	5° 31	700	3 600	980	2 620	73
Meme Baï	975	1	4° 20	600	2 600	1 000	1 600	63
Sanje	77	1	4° 17	(1 800)	5 100	1 150	3 950	80
Mungo Mundame	2 420	2	4° 43	585	3 200	1 030	2 170	68
Nkam Melong	2 275	2	5° 25	1 100	2 100	1 110	990	47
Wouri Yabassi	8 250	3	4° 50	576	2 200	1 000	1 200	55
Metchié Chutes	480	1	5° 54	1 547	1 722	1 081	640	37.2
Noun Bamendjing	2 190	2	5° 55	1 350	1 898	1 172	726	38.2
Noun Bafoussam	4 740	2	5° 37	1 250	1 886	1 161	725	38.4
Mape Magba	4 020	2	6° 15	1 100	1 943	1 140	803	41.3
Mbam Mantoum	14 700	3	6° 22	1 100	1 926	1 132	794	41.2
Mbam Goura	42 300	4	5° 34	980	1 758	1 188	570	32.4
Téré Ndoumba	1 730	2	4° 30	665	1 647	1 286	361	21.9
Vina Sud	1 680	2	7° 00	1 290	1 691	959	732	43.2
Lom Bétaré-Oya	11 100	3	5° 45	936	1 683	1 168	515	30.6
Sanaga à Goyoum	50 500	4	6° 00	925	1 598	1 067	531	33.2
Sanaga à Nachtigal	76 000	4	5° 38	835	1 618	1 140	478	29.5
Sanaga à Edéa	131 500	4	5° 16	860	1 686	1 188	498	29.5
Nyong à Ayos	5 300	3	3° 55	686	1 580	1 240	340	21.7
" à Akonolinga	8 350	3	3° 50	682	1 545	1 192	353	22.8
" à Mbalmayo	13 555	3	3° 37	682	1 540	1 179	362	23.3
" à Eséka	21 600	4	3° 33	665	1 580	1 179	402	25.4
" à Dehane	26 400	4	3° 35	550	1 732	1 204	528	30.5
Mefou à Etoa	235	1	3° 47	800	1 597	1 181	416	26
Mefou Nsimalen	425	1	3° 45	780	1 597	1 156	441	27.6
Lokoundje Lolodorf	1 150	2	3° 14	550	1 880	1 107	773	41
Lobe	2 305	2	2° 38	250	2 425	1 025	1 400	58
Seng	440	1	2° 50	620	1 750	1 200	550	32
Ntem Ngoazik	18 100	3	2° 11	600	1 640	1 160	480	29
Doume	515	1	4° 23	640	1 550	1 171	379	24.5
Kadéi Batouri	8 974	3	5° 06	780	1 530	1 110	420	27.5
Kadéi Pana	20 372	4	4° 34	700	1 510	1 128	382	25.3
Boumba Bewala	10 335	3	3° 35	720	1 620	1 292	328	20.2
Dja Somalomo	5 380	3	3° 31	700	1 640	1 253	387	23.6
Dja Bi	19 500	3	3° 00	680	1 660	1 304	356	21.4
Dja à Ft Soufflay	38 600	4	2° 45	640	1 625	1 290	335	20.6
Sangha à Salo	68 400	4	4° 30	620	1 534	1 174	360	23.5
Sangha à Ouesso	158 350	4	3° 29	610	1 585	1 244	341	21.5
Metchum à Gouri	2 240	2	6° 16	1 600	2 600	1 025	1 575	60.5
Mezam à Mbengwi	360	1	6° 08	1 800	2 550	975	1 575	62
Louti à Figuil	5 540	3	10° 20	600	990	791	199	20.1
Oulo à Golombe	1 160	2	10° 00	550	1 000	729	271	27.1
Kébi à Cossi	25 000	4	9° 46	445	925	803	122	13.2
Faro à Safaïe	24 000	4	7° 45	740	1 545	1 129	416	26.9
Bénoué à Buffle Noir	3 220	2	7° 48	850	1 470	1 006	464	31.6
Rey à Tchollire	5 240	3	8° 15	650	1 420	1 000	420	29.6
Bénoué à Riao	30 650	4	8° 31	510	1 285	1 028	257	20.0
Bénoué à Garoua	60 500	4	9° 03	470	1 130	942	188	16.6
Bini à Berem	1 585	2	7° 33	1 097	1 560	1 030	530	34
Vina Nord Touboro	12 200	3	7° 37	876	1 440	1 087	353	24.5
Mbéré à Mbéré	7 430	3	7° 00	1 078	1 470	1 003	467	31.8
Tsanaga à Bogo	1 535	2	10° 37	545	853	676	177	21

La plus faible irrégularité interannuelle est observée entre 4° et 6° au centre du pays (Bassin de Sanaga). Le schéma latitudinal voudrait que l'on observe une augmentation de la variabilité interannuelle de l'écoulement des régions équatoriales aux régions sahéliennes. Cette croissance zonale n'est en fait observée vers le nord qu'à partir du parallèle 6° N. L'irrégularité interannuelle augmente très vite au nord de Garoua, et K_3 dépasse 10 à la latitude de Kousseri (cf. figure 12.3).

En définitive, sur le simple examen de l'écoulement annuel, le Cameroun présente deux zones principales bien distinctes :

- L'une, au nord de l'Adamaoua, est caractérisée par des écoulements diminuant fortement en latitude avec les précipitations et une irrégularité interannuelle augmentant rapidement avec la latitude.
- L'autre, plus complexe, comprend l'Adamaoua et les régions du Cameroun situées au sud et correspond au Cameroun humide. On peut distin-

Tableau 12.2.

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	An
Sanaga à Goyoum													
P mm (d'après B. OYA)	138	174	180	168	231	278	251	57	11	12	25	72	1598
He mm	9.6	16.8	25.3	53.0	80.1	104.2	111.9	62	31.0	18.1	9.8	8.3	531
Ke %	7	9.7	14.1	31.5	34.7	37.5	44.6	109	282	151	39.2	11.5	33.2
Dja à Ngala (Fort Soufflay)													
P mm (d'après LOMIE)	166	186	140	90	131	256	262	226	44	38	57	123	1625
He mm	19.4	27.6	27.6	20.3	17.3	30.0	59.9	60.6	30.9	15.9	11.2	15	335
Ke %	11.7	14.8	19.7	22.6	13.2	11.7	22.9	26.8	70.2	41.8	19.6	12.2	20.6

guer une zone côtière et d'altitude de l'ouest pour laquelle les écoulements sont directement dépendants des précipitations. A l'intérieur du pays, on sépare nettement les régions situées entre les parallèles 4° et 7° 30 aux écoulements relativement abondants à l'irrégularité interannuelle faible, des régions situées au sud en milieu équatorial aux écoulements plus faibles et à une plus forte irrégularité interannuelle (fig. 12.4).

Déficit d'écoulement, évapotranspiration et latitude

Sur le plan du bilan hydrologique, il est évidemment intéressant de comparer le déficit d'écoulement De qui traduit l'évapotranspiration réelle (E_R) à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette comparaison a été faite dans la figure 12.5 en fonction de la latitude. Les valeurs d'ETP calculées par la formule de Turc sont déduites de la carte de valeurs annuelles donnée dans la figure 1.23. Des variations d'ETP pour une même latitude dans la moitié sud du pays ont été représentées par deux courbes enveloppes se confondant au nord du 8e parallèle. Les précipitations moyennes reçues par les bassins ont été figurées suivant quatre gammes de superficies (tableau 12.1) ; une courbe en tireté indique la limite inférieure des précipitations. Deux gammes de superficie seulement figurent pour les valeurs du déficit d'écoulement. Enfin la lame écoulée « moyenne » a été rappelée sous la forme d'une aire en pointillé placée entre précipitations et déficit d'écoulement.

L'examen de la figure 12.5 montre que :

- L'évapotranspiration potentielle est généralement satisfaite au sud de 4° 30-5° N.
  De = E_R = ETP (entre 1 100 et 1 300 mm, pouvant descendre juqu'à 1 000 et 950 mm en altitude et dans les régions côtières de faible insolation).
- L'évapotranspiration potentielle devient supérieure aux précipitations au nord des parallèles 7°-7° 30 N.
- L'évapotranspiration réelle (E_R) (ou le Déficit d'écoulement) passe de 1 100-1 300 mm à 1 000 mm de 2 à 8° 30 N. Elle chute rapidement plus au nord.

Ces variations sont assez peu différentes de celles données par C. Riou (1975) dans la zone intertropicale. On relèvera cependant qu'au Cameroun, l'égalité ETP = E_R est vérifiée près de 3° plus au nord de l'Équateur. De même, E_R chute au-dessous de 1 000 mm à 1° 30 plus au nord que les valeurs données par Riou. Dans le nord du pays, l'évapotranspiration potentielle est aussi nettement plus élevée (pour 12°, 2 100 mm au lieu de 1 850 mm).

Ces différences dues pour l'essentiel aux particularités du pays, justifient *a posteriori* que des études de détail comme celles présentées dans cet ouvrage soient entreprises ; elles permettent d'obtenir une précision que les relations globales n'autorisent pas sans introduction de paramètres secondaires quantitativement mal définis.

Ces travaux apportent également un complément d'information sur l'évapotranspiration réelle. Les recherches de Wundt et Coutagne ont abouti à corréler déficits d'écoulement et température moyenne annuelle des bassins déterminant des déficits-plafond :

- de 1 030-1 040 mm pour des bassins à température T = 20°,

– de 1 250-1 260 mm pour des bassins à température T = 25°.

Si les valeurs déterminées pour le Cameroun se situent assez bien dans cette gamme, le caractère approximatif de ces « plafonds » ne doit pas être méconnu (déficits plus élevés pour les bassins d'altitude des régions de l'ouest, moins élevés pour les régions littorales plus chaudes).

De plus au Cameroun, nous l'avons montré, une plus forte abondance pluviométrique n'a pas pour conséquence l'augmentation des « plafonds » du déficit d'écoulement. La plus forte valeur de De atteint à peine 1 300 mm et ceci sur le bassin du Congo avec moins de 1 700 mm de pluie annuelle. Dans les régions côtières et de l'ouest, le déficit d'écoulement n'est que de l'ordre de 1 000 mm pour parfois plusieurs mètres de précipitations. Le facteur limitant à la croissance de De tient bien évidemment dans les conditions hygrométriques de ces régions où l'on ne connaît pas vraiment de saison sèche [1]. Avant toute détermination, il convient donc de considérer les aspects spécifiques à chaque bassin.

Cartographie de l'écoulement

Un dernier élément relatif à l'abondance de l'écoulement annuel a été proposé dans la carte de la figure 12.6. Chaque bassin étudié a été schématisé géométriquement sur la base de ses contours stylisés suivant deux systèmes d'axes perpendiculaires à 45° l'un de l'autre, en conservant autant que possible leur importance relative. Le double trait sépare les bassins indépendants, le simple trait indique la relation amont aval de 2 bassins. Ce schéma crée pour les bassins emboîtés des bassins intermédiaires pour lesquels l'écoulement a été calculé. Les valeurs indiquées portent sur les modules spécifiques interannuels.

Ceux-ci passent de plus de 100 l/s.km² à l'ouest du Mt Cameroun, et globalement plus de 40 l/s.km² sur les régions côtières et les versants arrosés des montagnes de l'Ouest, à moins de 15 l/s.km² sur l'ensemble du Centre-Sud (et même moins de 10 l/s.km² dans l'extrême sud-est) ; les régions montagneuses de la Dorsale Camerounaise et de l'Adamaoua ont des modules variant de 30 à 15 l/s.km². Dans le nord, la décroissance est très rapide et on relèvera en particulier les modules inférieurs à 3 l/s.km² sur l'extrême nord du pays et le bassin gréseux de la Bénoué.

(1) Les forts déficits d'écoulement 1 600-1 700 mm rencontrés dans d'autres pays comme la Guyane sont sans doute liés à une saison de faible hygrométrie mieux marquée que dans les régions du Cameroun maritime.

Une carte rappelant les modules mesurés aux stations a été donnée dans la figure 12.7 aux fins d'éviter toute confusion avec les résultats proposés ci-dessus qui ne constituent eux qu'une approximation géographique des écoulements pour des bassins non définis.

La variabilité saisonnière

La variabilité saisonnière des différents cours d'eau du Cameroun, traduite par les coefficients mensuels, rapports des débits moyens mensuels au module interannuel, a été reproduite dans les tableaux 12.3 à 12.6 sous une forme simplifiée originale qui synthétise l'hydrogramme annuel moyen. Chaque mois est représenté par sa lettre initiale, répétée verticalement suivant l'importance du coefficient avec les règles suivantes :

- 4 fois pour les coefficients supérieurs à 2 (plus du double du module),
- 3 fois pour les coefficients compris entre 2 et 1,
- 2 fois pour les coefficients compris entre 1 et 0,5,
- 1 fois pour les coefficients inférieurs à 0,5 (moins de la moitié du module).

Les mois sans écoulement ne sont pas indiqués. Ceux dont le débit moyen représente moins du 1/50 du module (coefficient inférieur à 0,02) sont indiqués par un tiret. On a porté la lettre C au-dessus du mois où apparaît le maximum de crue et la lettre E en dessous du mois où est observé l'étiage absolu. Le nom de la station et son module en m³/s est rappelé sous l'hydrogramme.

Cette représentation donne dans un raccourci intéressant une idée de la variété des régimes hydrologiques du Cameroun ; elle se passe de commentaires ; ceux-ci nous ramèneraient d'ailleurs au contenu de cet ouvrage.

Valeurs extrêmes : les étiages

Les valeurs spécifiques des étiages absolus moyens ont été reportées sur la carte de la figure 12.8. On a souligné en son temps le poids de divers paramètres sur la plus ou moins grande abondance des étiages. L'abondance des précipitations est en particulier déterminante (cf. fig. 4.30). La répartition de ces précipitations avec des saisons sèches plus ou moins courtes joue aussi son rôle en particulier pour le bassin de la Sangha où les étiages soutenus correspondent aux courts épisodes secs du climat équatorial mais aussi à l'effet régulateur de la grande forêt. Enfin le substratum géologique, en déterminant des aquifères plus ou moins riches, joue

aussi un rôle déterminant en particulier pour les zones volcaniques assurant des réserves importantes tant dans la dorsale camerounaise que sur l'Adamaoua pour les bassins de la Vina et de la Bini.

Une esquisse des zones à étiages spécifiques déterminés est proposée en encadré de la figure 12.8. Au nord de l'Adamaoua, les étiages absolus diminuent très rapidement, passant de 1 l/s.km² à 0 pour les bassins moyens (les cours d'eau issus de régions plus méridionales conservent un léger écoulement).

Les bassins côtiers des provinces de l'Ouest ont bien évidemment les étiages les plus soutenus puisque la saison des pluies est souvent inexistante, en tous cas très courte, que les précipitations annuelles sont très élevées et que le substratum basaltique facilite la constitution d'aquifères importants. Sur le centre du pays au sud de l'Adamaoua, la conjonction des facteurs cités dans le sens inverse (précipitations moins élevées, saison sèche prononcée, mauvais aquifère du socle cristallin) aboutit à des étiages relativement bien marqués.

Valeurs extrêmes : les maximums de crue

Une recherche globale sur les maximums de crue des bassins étudiés du Cameroun ne peut être abordée dans une approche cartographique du fait que les valeurs spécifiques sont elles-mêmes dépendantes de la superficie des bassins. Dans cette même optique, prendre en compte les coefficients de crue (A) tels que définis par P. Myer, A. Coutagne et M. Parde (1) aboutit sans doute à définir des domaines régionaux dans telle ou telle gamme de valeurs mais ne rend pas compte des relations régionales qui ont pu être établies et dans lesquelles ces coefficients évoluent des petits aux grands bassins.

Suivant la terminologie de M. Pardé, le Cameroun ne connaîtrait que des crues de puissance « médiocre ou modérée » ($A < 60$) puisque sur l'échantillon de bassins pris en compte, les coefficients de crues médianes sont toujours inférieurs à $A = 50$ avec un maximum pour la Cross River à Mamfe ($A = 45$) et un minimum inférieur à 1 dans le cas de la Doume.

Les études effectuées sur de petits bassins versants [1] montrent d'ailleurs la même gamme de coefficients A variant de 1 à 30 pour les crues de fréquence décennale.

Dans la figure 12.9, les valeurs spécifiques médianes des maximums de crue ont été indiquées en fonction de la superficie des bassins. Les principales unités hydrologiques ont été différenciées. Des droites correspondant aux coefficients de crue $A = 1, 2, 5, 10, 20$ et 50 ont également été portées sur la figure 12.9.

(1) Ce coefficient est le rapport du débit maximal de crue en m³/s sur la racine carrée de la superficie du bassin versant.

Cette figure met en évidence des crues de plus forte puissance pour les régions du Nord-Cameroun et aussi les régions très arrosées de la côte et des provinces de l'Ouest.

A l'opposé, les crues de plus faible puissance sont observées dans lez zones de forêt (effet « tampon » de l'interception du couvert végétal) où les précipitations sont moyennes (Nyong, Ntem et bassin de la Sangha).

Entre les deux, précipitations moyennes, progressif passage de la forêt dense aux savanes arborées conduisent à observer des crues de puissance intermédiaire principalement sur le bassin de la Sanaga.

Il est intéressant de souligner que ce distinguo apparaît avec une plus grande netteté encore dans l'étude des crues sur petits bassins représentatifs.

L'hydrologie et le développement du Cameroun

Abondante ou rare, l'eau est intimement liée au développement. Abondante, elle est source de richesse, rare elle est facteur limitant. Par sa seule présence, elle pose problème. C'est dire que la maîtrise des eaux est souvent à la base du développement, des aménagements industriels ou agricoles, de l'amélioration des conditions de vie des hommes. C'est dire aussi que la simple connaissance de l'hydrologie des cours d'eau d'un pays est souvent indispensable à la réalisation d'infrastructures importantes (routes ou chemins de fer).

Ceci explique qu'une bonne partie du développement de l'hydrologie au Cameroun ait été induit par divers projets d'aménagements. Que ceux-ci aient vu ou non le jour, la science hydrologique en a retiré une connaissance fondamentale qui a contribué aux analyses qui ont été présentées dans cet ouvrage. Parmi ces projets, on peut citer les projets d'adduction d'eau des villes, les projets d'irrigation ou de drainage de vastes régions agricoles, l'amélioration de la navigation, avec ou sans stockage des eaux dans des retenues artificielles. On peut citer également tous les projets pour lesquels la connaissance des valeurs extrêmes est nécessaire, que ce soit la détermination des crues pour les ponts, autres débouchés d'ouvrages d'art des voies de communication et évacuateurs de barrages, ou la détermination des étiages pour les implantations industrielles et la dilution de leurs rejets. Mais bien évidemment, les projets les plus importants du Cameroun, où l'hydrologie intervient, concernent les barrages hydroélectriques au fil du courant ou avec barrages réservoirs. Ce sont ces projets qui, par leurs implications

(1) Cf. bibliographie. Des travaux de synthèse sur la détermination des crues de petits bassins au Cameroun réalisés par l'auteur sont encore inédits.

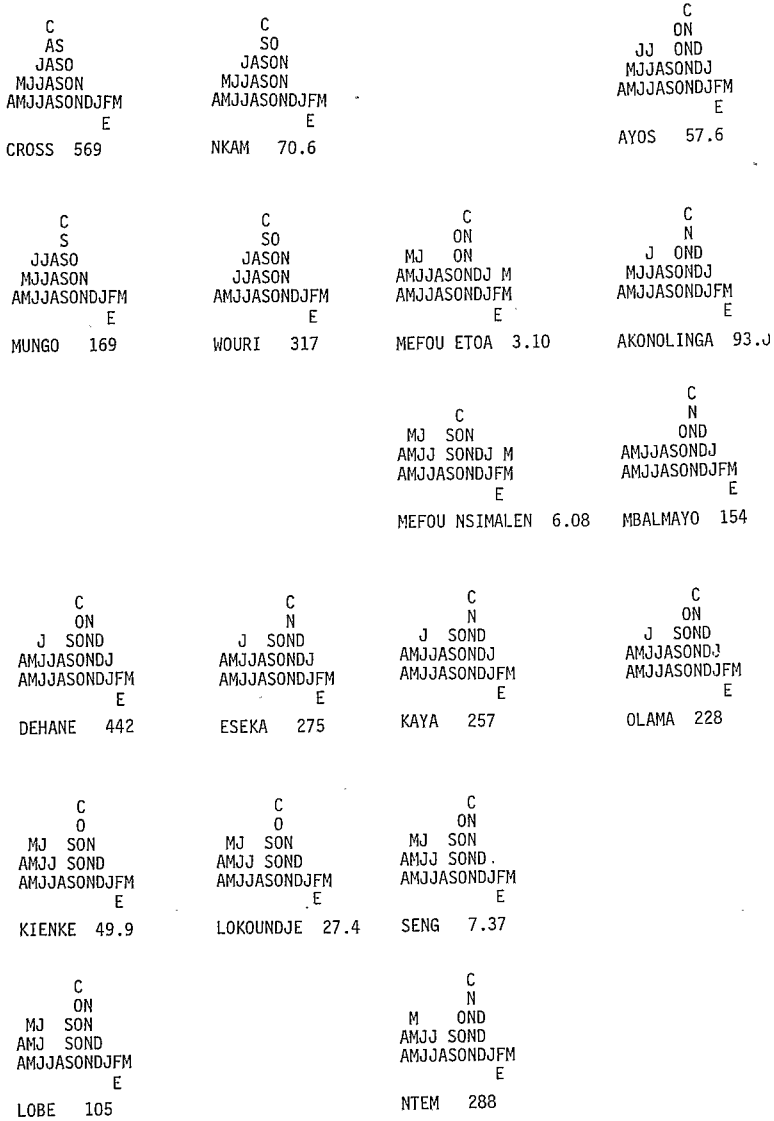
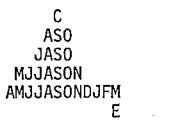


Tableau 12.3. – Variations saisonnières de l'écoulement sur le Nyong et les fleuves côtiers.

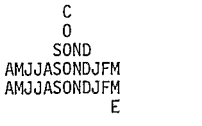
Tableau 12.4. – Variations saisonnières de l'écoulement sur la Sanaga.



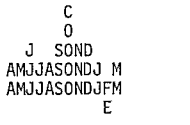
METCHUM A GOURI 112



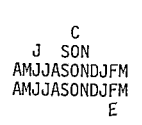
MEZAM BENGWI 18



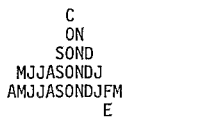
KADEI A BATOURI 120



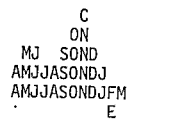
DJA SOMALOMO 66.0



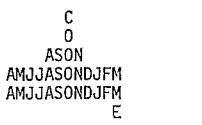
DOUME A DOUME 6.18



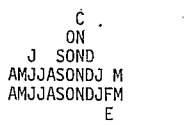
KADEI PANA 247



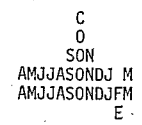
DJA A BIE 201



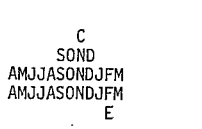
SANGHA SALO 801



DJA A NGBALA 420

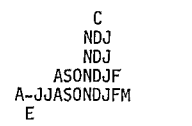


BOUMBA BIWALA 104

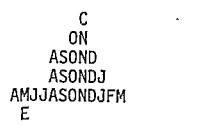


SANGHA A OUESSO 1700

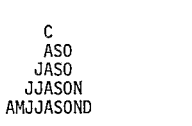
Tableau 12.5. – Variations saisonnières de l'écoulement sur le Sangha.



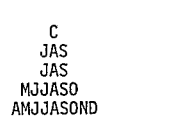
EL BEÏD 38.9



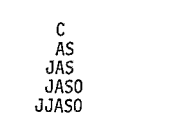
CHARI N'DJAMENA 1200



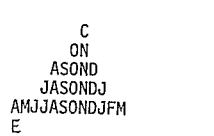
MAYO OULO (10.0)



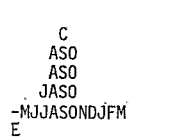
MAYO LOUTI (35.0)



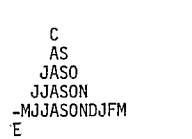
TSANAGA BOGO 7.77



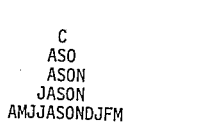
LOGONE BIRNI 380



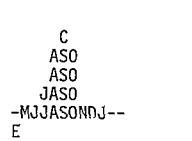
BENOUE GAROUA 360



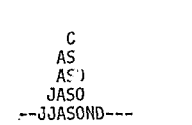
MAYO KEBI 97



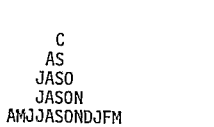
LOGONE BONGOR 534



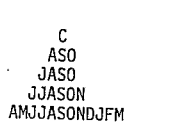
BENOUE RIAO 250



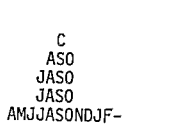
MAYO KEY (50.0)



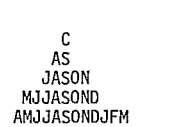
VINA-NORD TOUBORO (143)



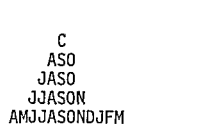
FARO SAFAÏE 310



BUFFLE NOIR 46.9



BINI BEREM 26.1



MBERE A MBERE 110

Tableau 12.6. – Variations saisonnières de l'écoulement sur la Bénoué.

économiques liées au développement et, aussi, par les coûts élevés de réalisation, ont nécessité les études hydrologiques les plus précises.

Mais la rançon de cette contribution de la science hydrologique au développement est d'avoir permis de modifier le régime des cours d'eau aménagés... et la maîtrise des eaux, au Cameroun, ne fait que commencer !

Nous avons indiqué en cours d'étude les principales réalisations ou projets d'aménagement et leur incidence sur l'écoulement des rivières concernées.

Des études se poursuivent encore ; le capital énergétique en hydro-élecrricité est énorme.

La régularisation de la Sanaga par les barrages de Mbakaou et de Bamendjing et les ouvrages de production à Edéa et Song-Loulou constituent en particulier un ensemble de première grandeur appelé encore à se développer.

Aujourd'hui, le débit régularisé par Mbakaou et Bamendjing est de 580 m^3/s au taux de défaillance de 5 % et de 600 m^3/s au taux de défaillance de 10 %. Compte tenu de la puissance installée dans chaque centrale, la puissance garantie en période de régularisation est de 119 MW à Edéa (facteur de puissance = 0,206 $MW/m^3/s$) et de 192 MW à Song-Loulou (facteur de puissance = 0,369 $MW/m^3/s$.). En hautes-eaux, la puissance garantie à Edéa est de 195 MW.

L'aménagement de la Sanaga est loin d'être terminée. Des retenues complémentaires sont projetées sur les Lom, Djerem, Njeké, sur la Mape. Ce dernier projet devrait probablement être la prochaine réalisation de la SONEL. Le barrage de la Mape aurait une retenue d'une capacité de 3,2 milliards de m^3, faisant passer de 580 à 800 m^3/s le débit régularisé sur la Sanaga. Parallèlement, seraient mis en service à Song-Loulou un 5^e groupe en 1986 et un 6^e groupe en 1987.

De nouveaux aménagements (production, ouvrages régulateurs d'aval) ont également été programmés sur la basse Sanaga (Kikot, Song-Mbengue).

Les projets d'aménagement du Nyong (Njock ou Mouila-Mogue) avec ouvrage de régularisation en amont de Mbalmayo d'une capacité de 800 millions de m^3 font toujours partie des réalisations possibles.

Des études encore en cours sur le Ntem à Nyabessan déboucheront sur d'autres projets intéressants. D'autres vont être effectuées sur le Dja-Ngoko et le bassin de la Sangha.

Actuellement, le projet élaboré le plus intéressant est sans doute celui du Noun-Wouri consistant à amener les eaux du Noun (et de Bamendjing), par un canal en partie souterrain, sur le Wouri. Une hauteur de chute de plusieurs centaines de mètres serait ainsi créée, d'où un potentiel énergétique énorme puisque la puissance garantie seraint de 600 MW (plus que les aménagements réunis d'Edéa et Song-Loulou), soit un facteur de puissance voisin de 6.

Bien entendu, tous ces aménagements ne sont pas pour demain ; peu se réaliseront en cette fin de siècle car cela implique un développement industriel et démographique important qui ne peut être immédiat.

Mais, inéluctablement, les eaux sauvages du Cameroun seront maîtrisées... Reste à savoir alors quelle aura été l'évolution du milieu, du climat et des conditions hydrologiques, quelle actualité, quelle précision conserveront les travaux présentés ici...

Nous disions dans le premier chapitre notre humilité, celle des climatologues, devant les grandes inconnues que pose encore l'évolution des climats, celle des régimes hydrologiques et avons limité notre ambition au constat, à un instant donné, des connaissances acquises sur l'hydrologie du Cameroun. Au fil du courant, au fil des années, de nouveaux débits seront mesurés, de nouvelles valeurs moyennes apparaîtront et une actualisation de cet ouvrage deviendra nécessaire.

Quoique plus favorisé sur le plan du bilan hydrique que ses voisins sahéliens où le « problème de l'eau » et le « survivre » sont étroitement dépendants, le Cameroun devra cependant prévoir une gestion rigoureuse de ses ressources en eau. Je souhaite que les résultats de cette étude facilitent cette gestion et que ma contribution concoure au « mieux-vivre » des hommes et des femmes de ce pays.

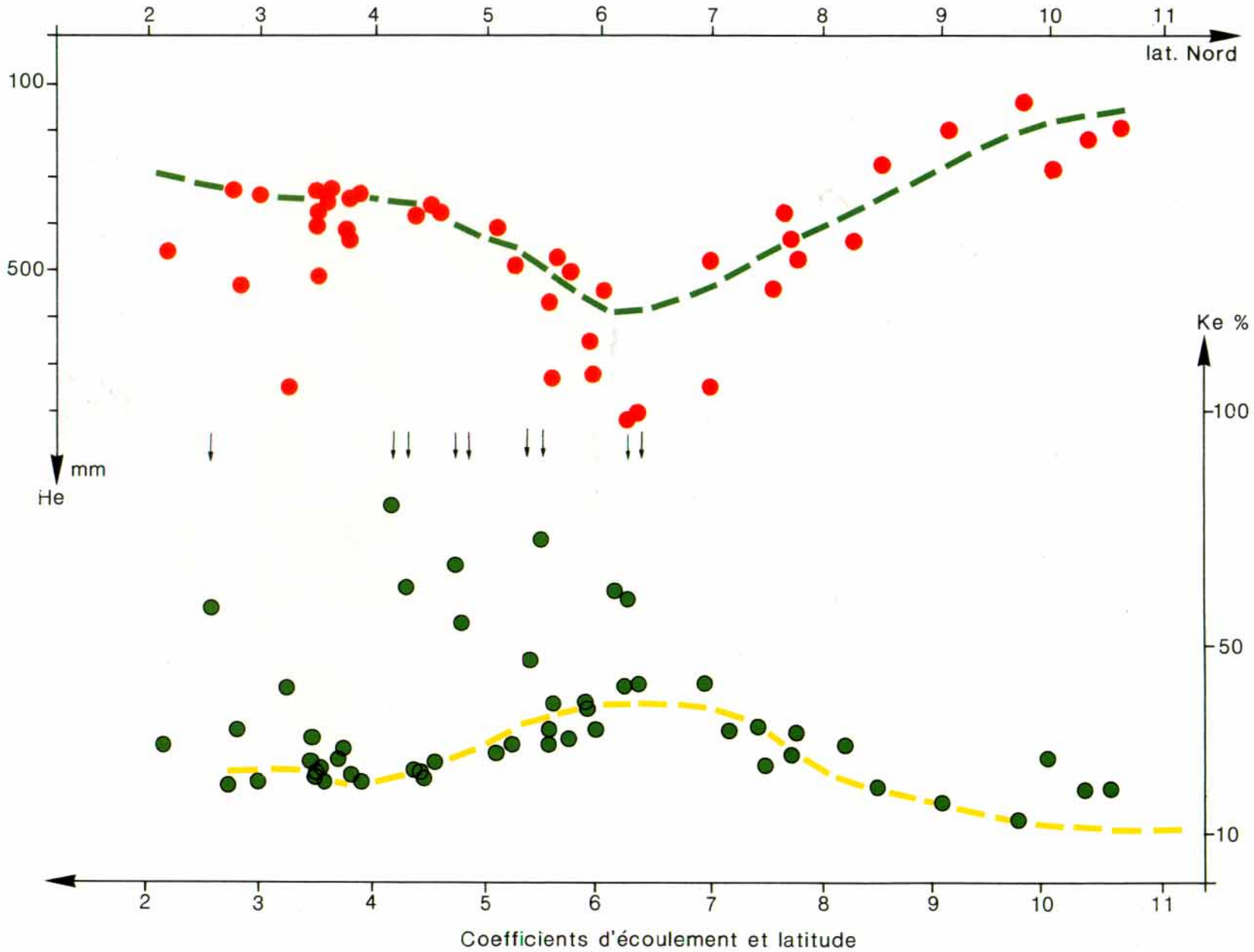
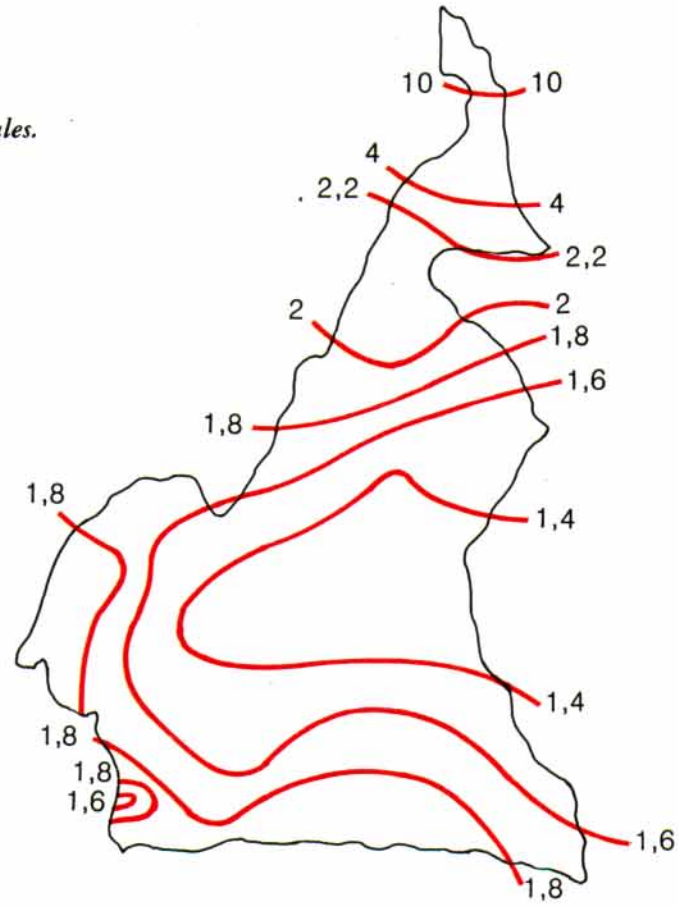


Fig. 12.2. – Lame écoulée et latitude.

Fig. 12.3. – K_3 des modules.



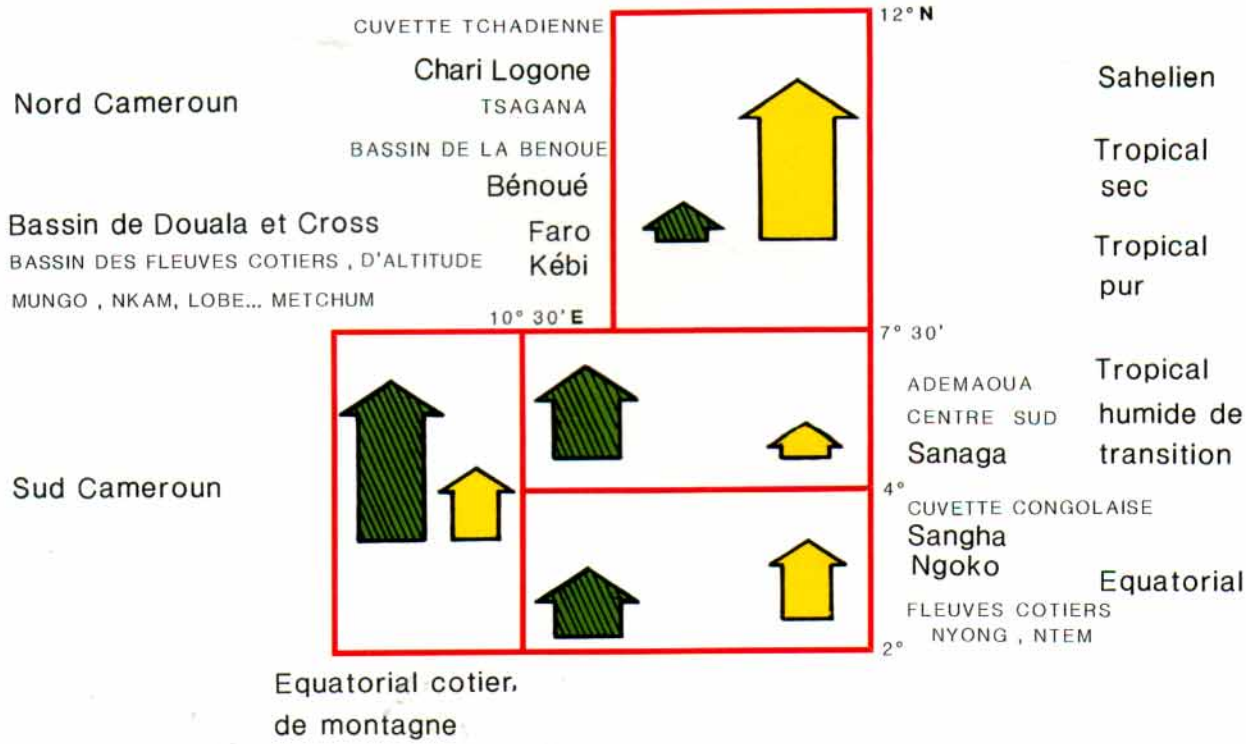


Fig. 12.4. – Abondance de l'écoulement ( ) et variabilité interannuelle ( ) comparées dans les différentes régions du Cameroun.

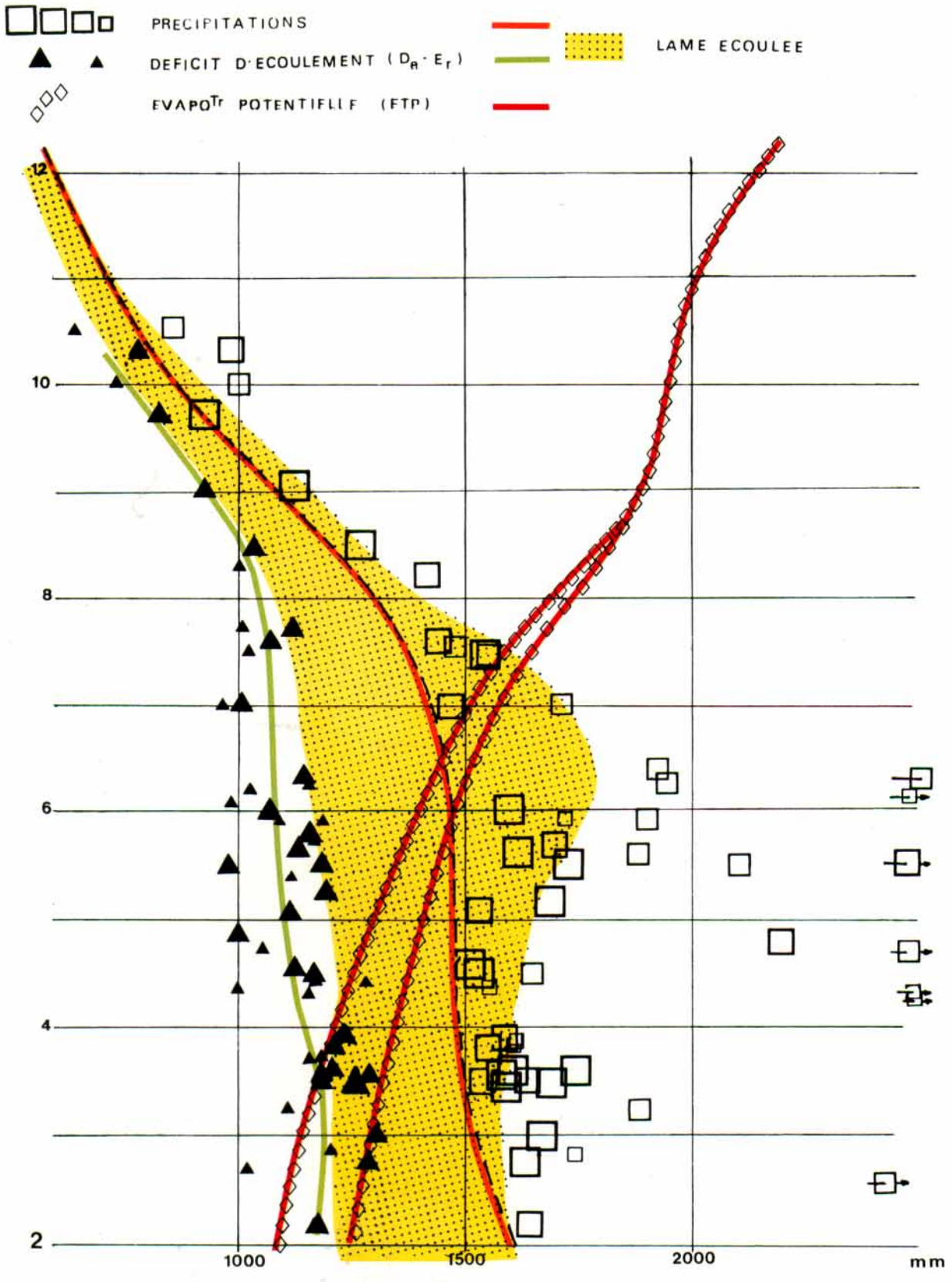


Fig. 12.5. – Variation en latitude des principaux termes du bilan hydrologique.

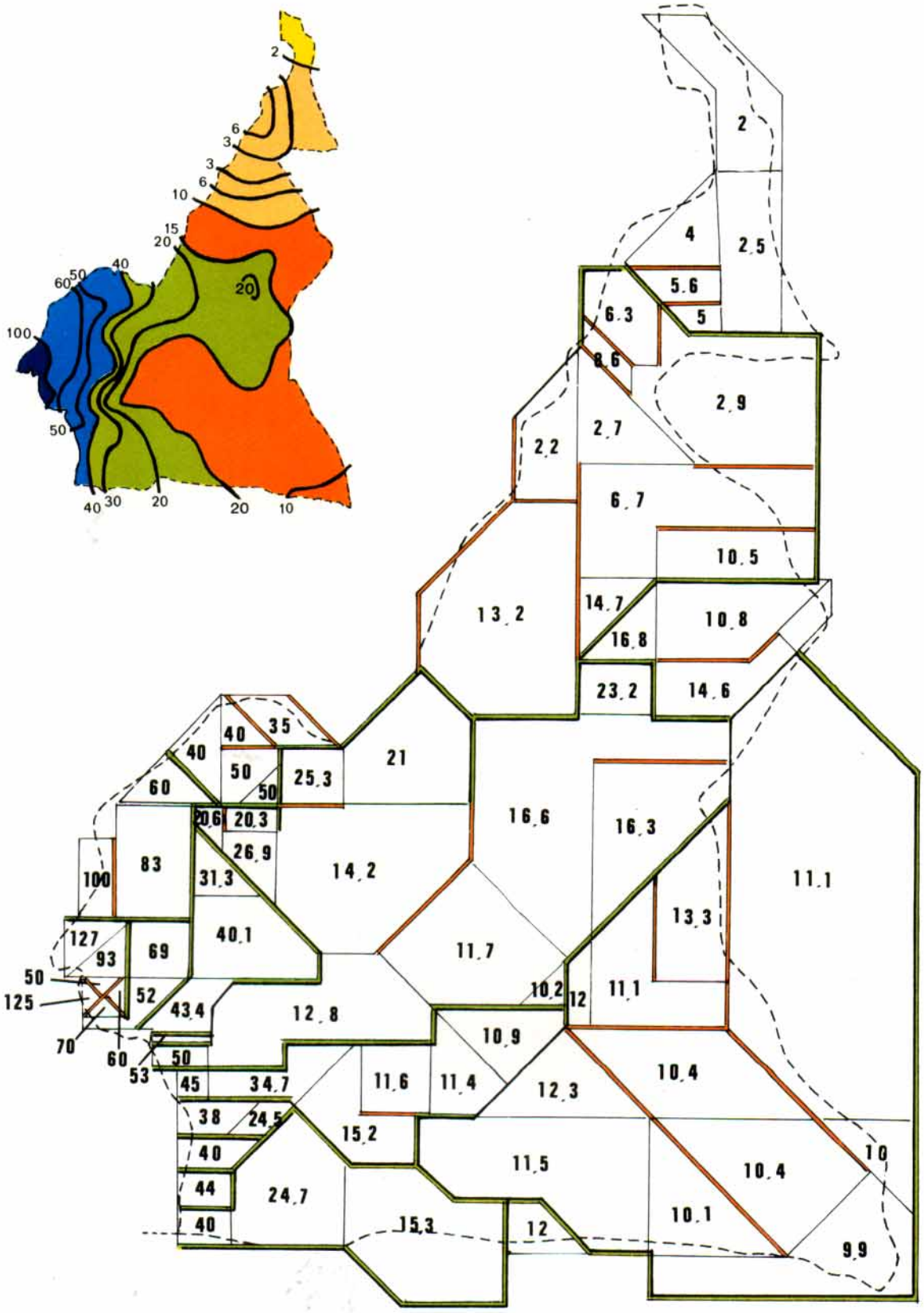


Fig. 12.6. – Distribution géographique des modules spécifiques (l/s.km²) au Cameroun.

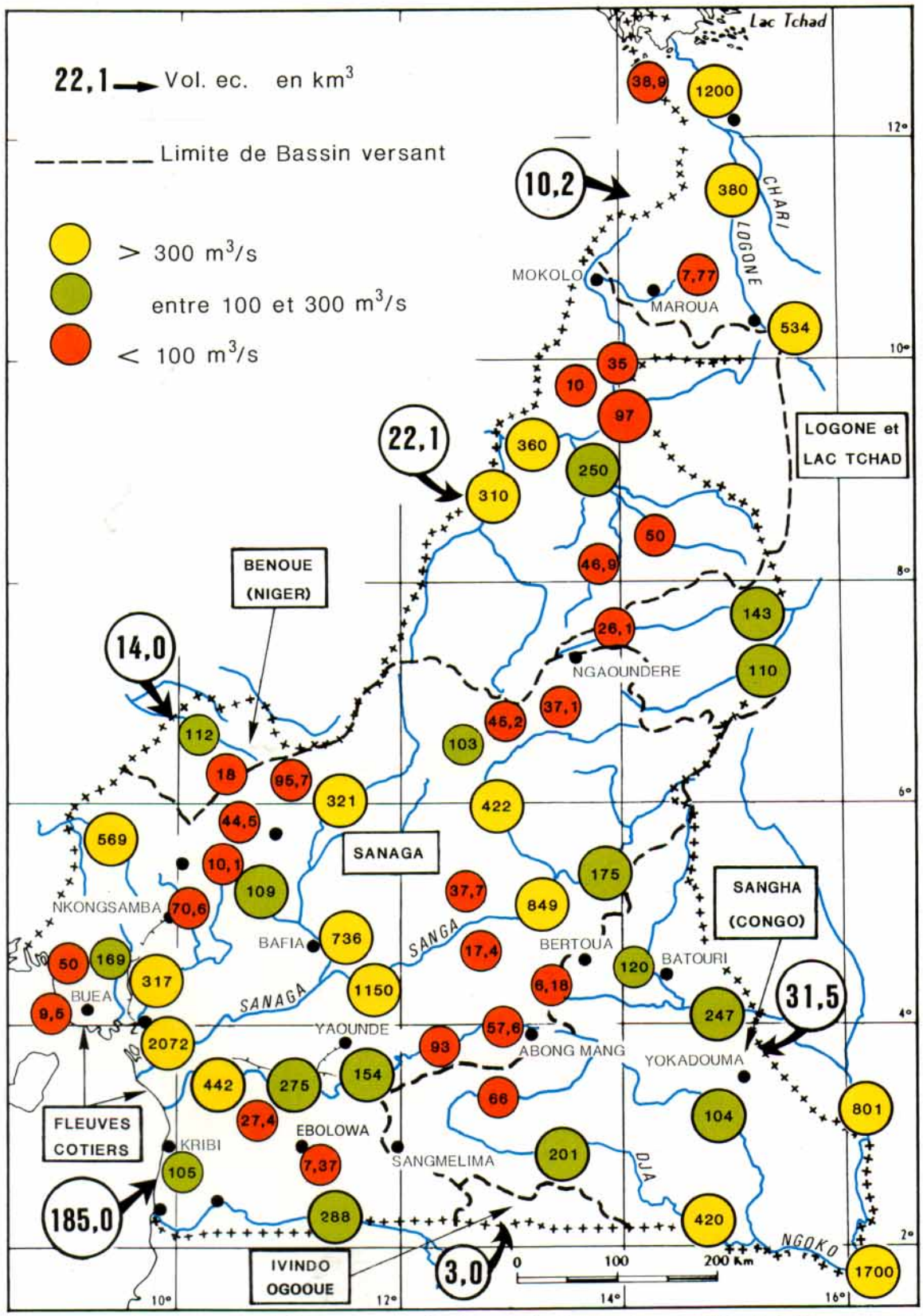


Fig. 12.7. – Modules interannuels des principales stations étudiées (m³/s).

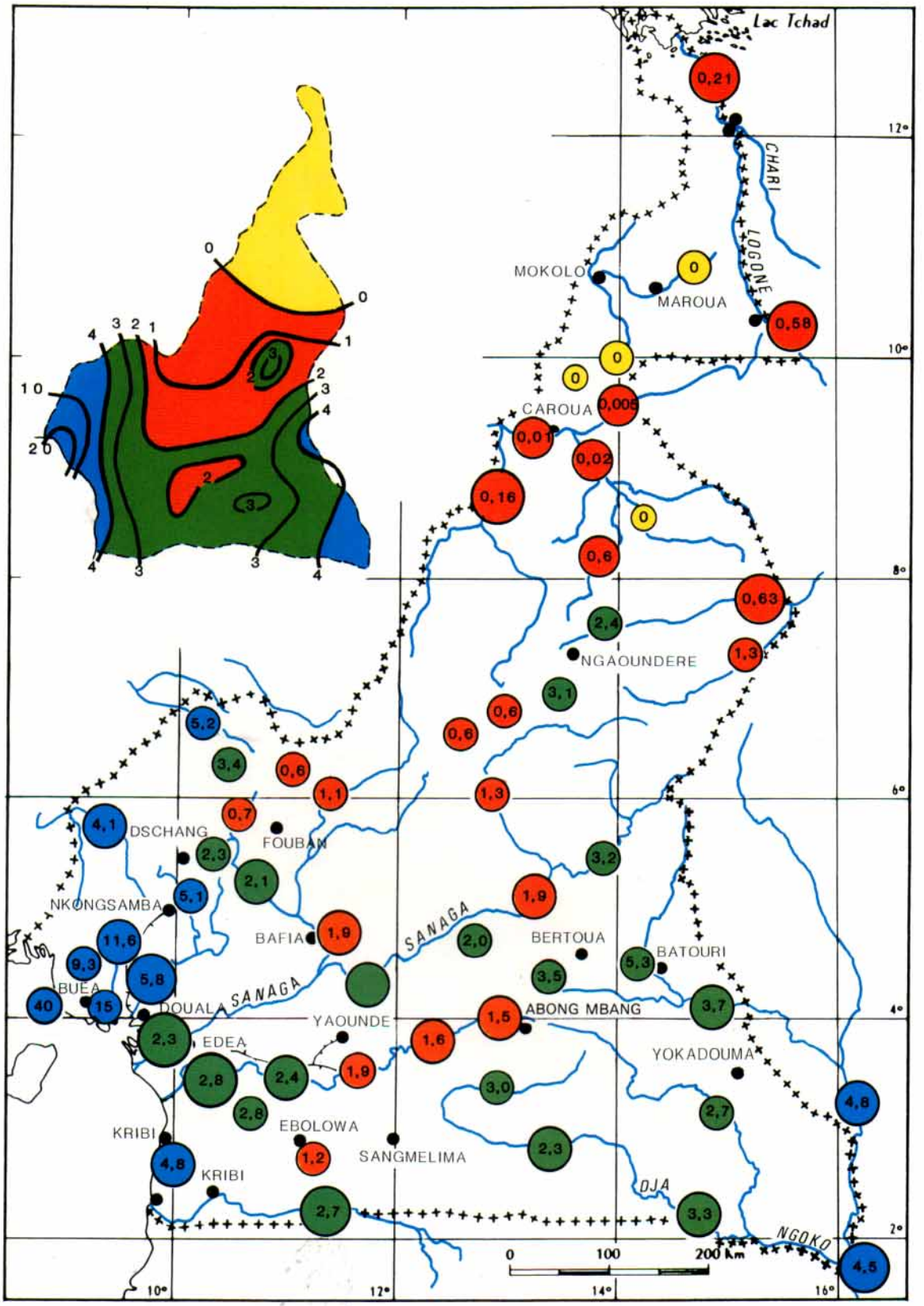


Fig. 12.8. – Étiages absolus spécifiques (l/s km²).

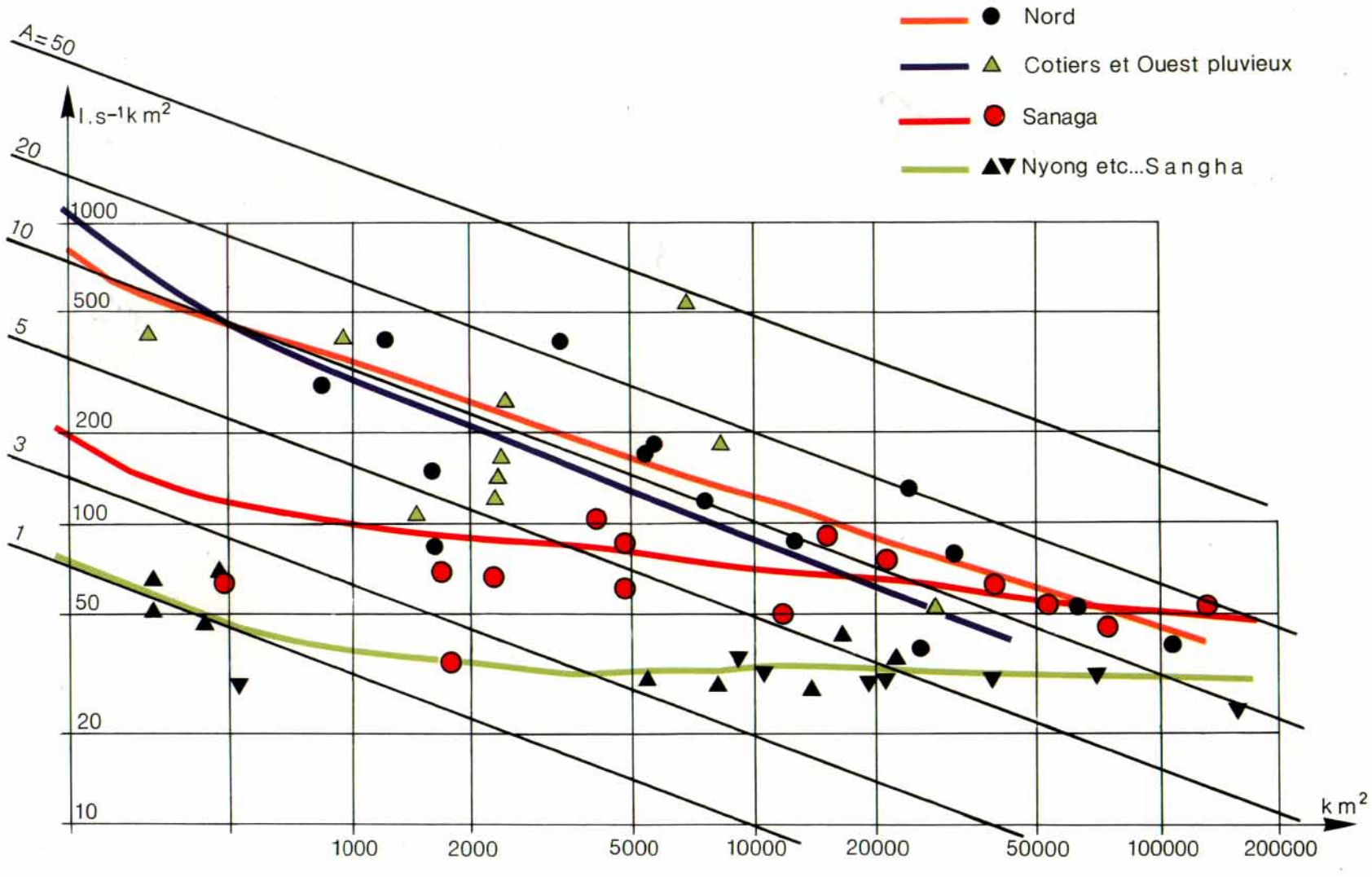


Fig. 12-9. – Maximums de crue spécifiques médians et superficies des bassins.

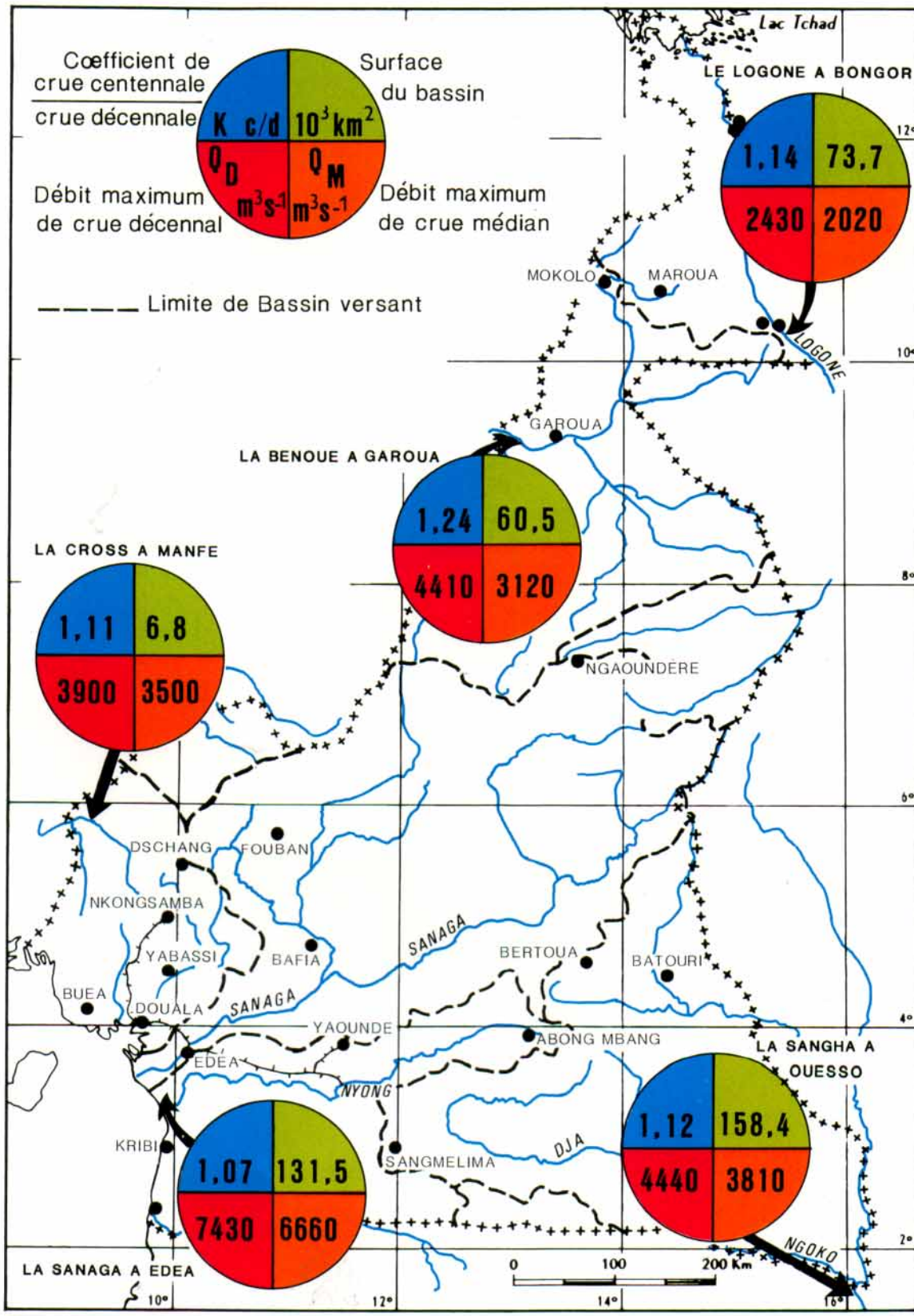
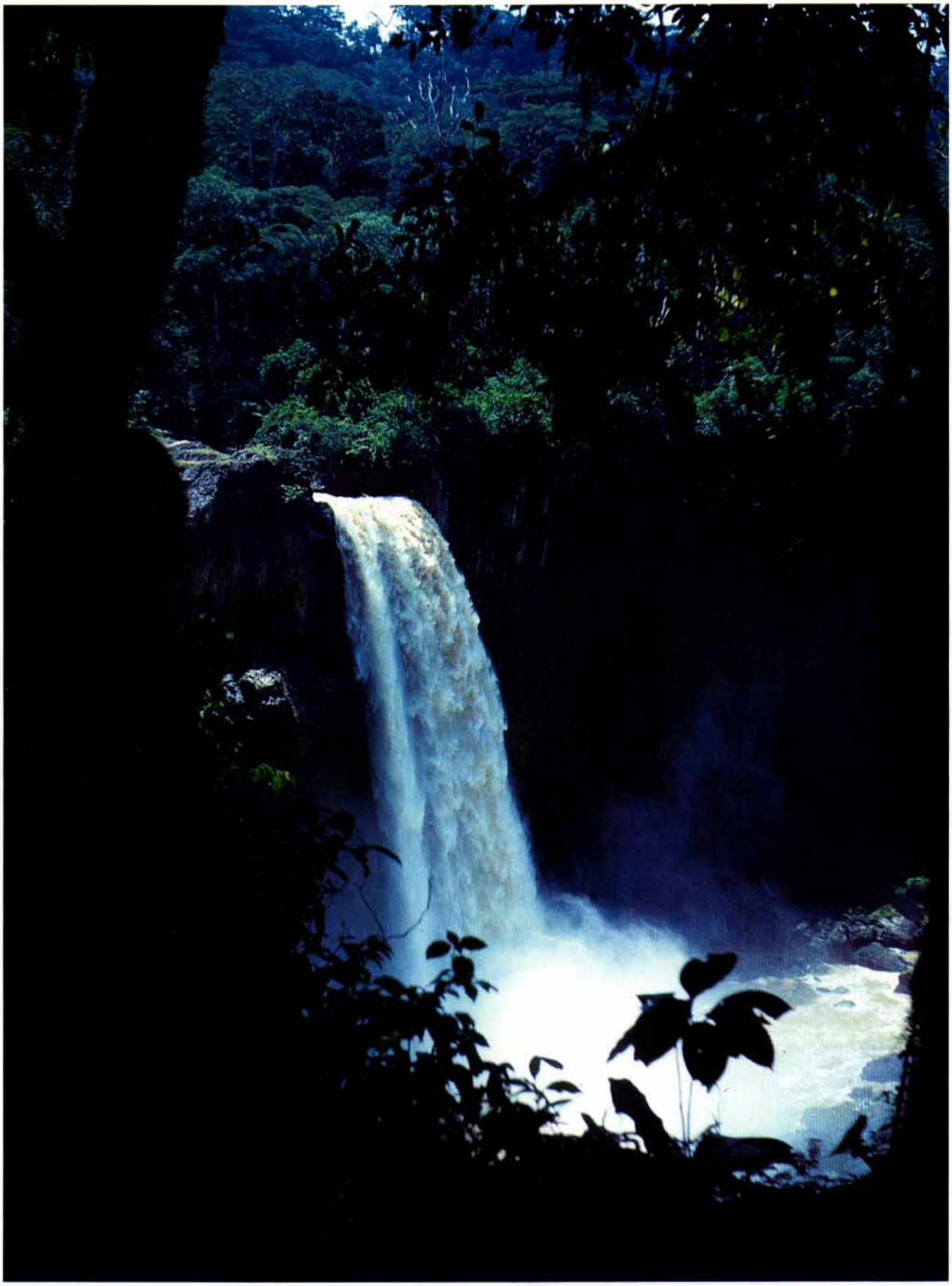


Fig. 12.10. – Quelques exemples de la diversité du régime des crues du Cameroun.



◁ *Planche I :* Le Cameroun humide.

Les chutes d'Ékom sur le Nkam en période de basses-eaux ; elles ont une hauteur de 80 m. (Photo J.C. OLIVRY).

Planche II : Le Cameroun sec. ▷

L'aiguille péléenne de Roumsiki vue d'un village kapsiki.
(Photo J.C. OLIVRY).

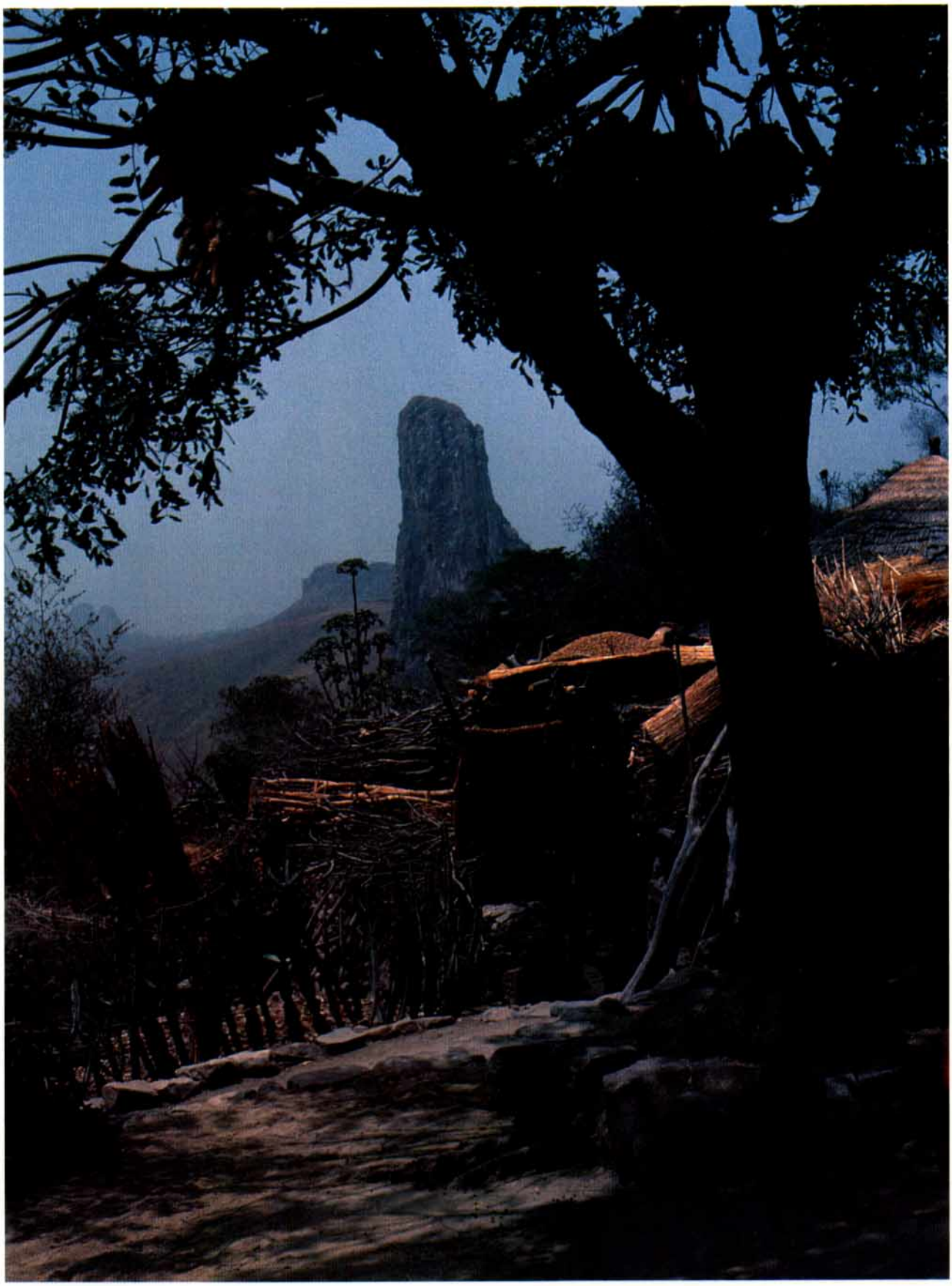
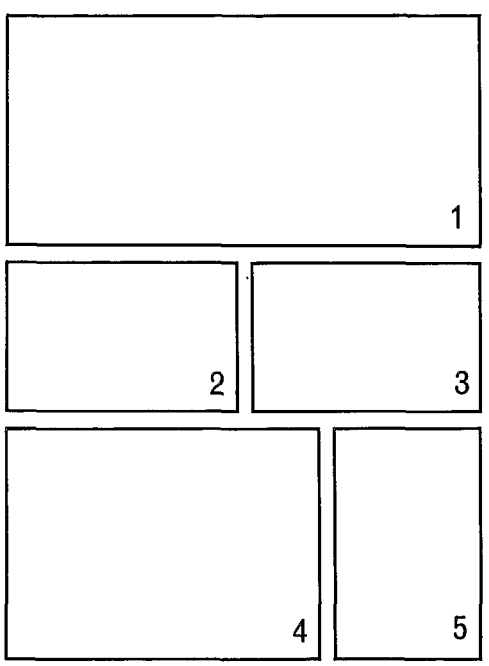


Planche III :



Le Cameroun humide ou l'abondance des ressources en eau.

1. La montagne du Nkogam (2 263 m) en pays bamoun et le marais de Njitapon, aujourd'hui noyé par la retenue de Bamendjing, en saison des pluies (Photo J.C. OLIVRY).
2. Les eaux assoupies du Nyong supérieur au sein de la forêt inondée (Photo J.C. OLIVRY).
3. Les chutes de la Sanaga à Nachtigal (Photo J.C. OLIVRY).
4. Le Noun au pont de Bafoussam et coteaux cultivés du pays bamileke (Photo J.C. OLIVRY).
5. Les chutes de la Metchum près de Wum (45 m de hauteur) (Photo Pierre OLIVRY).









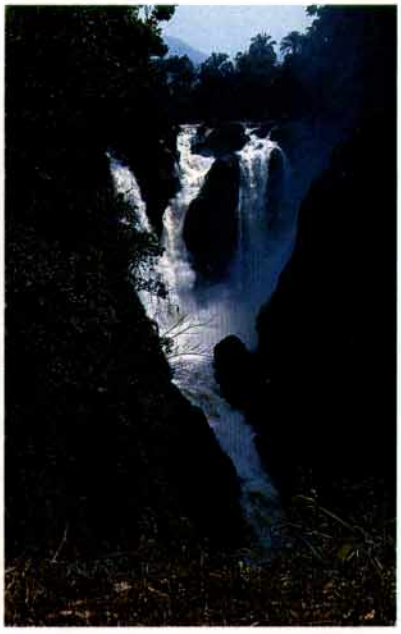
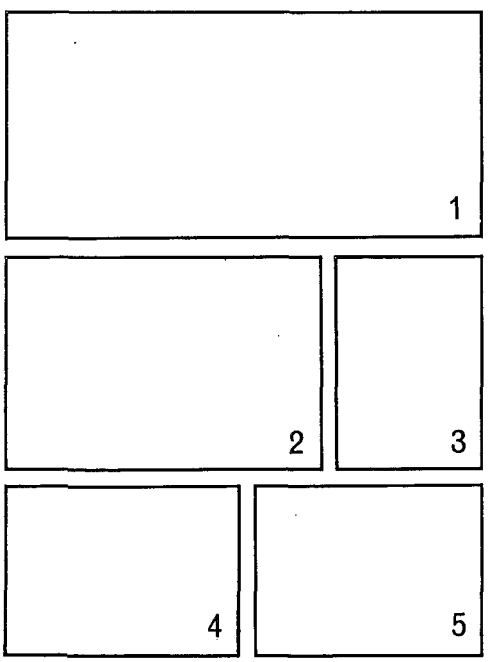


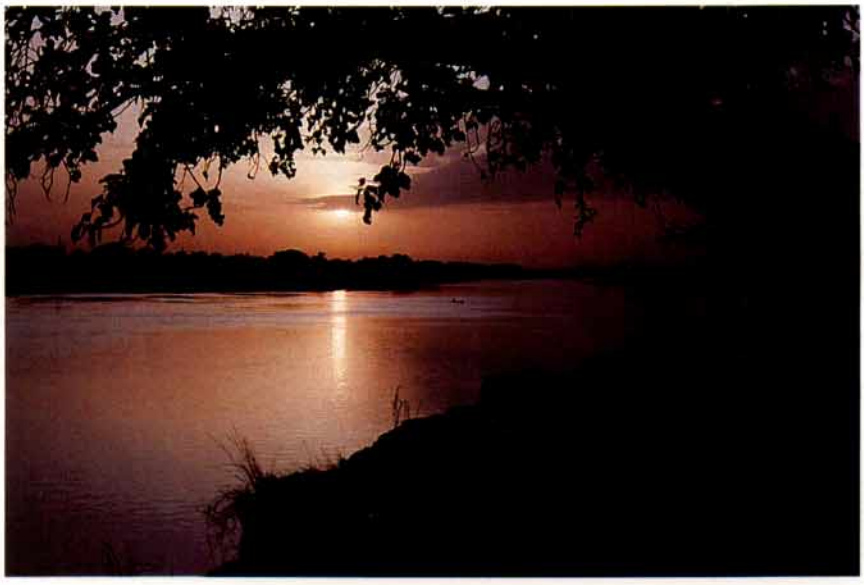
Planche IV :

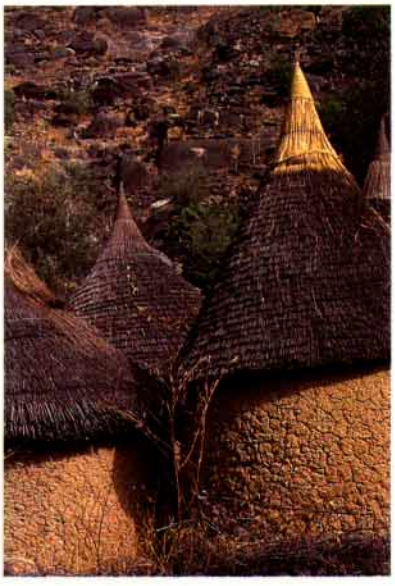


Le Cameroun sec ou l'eau facteur limitant.

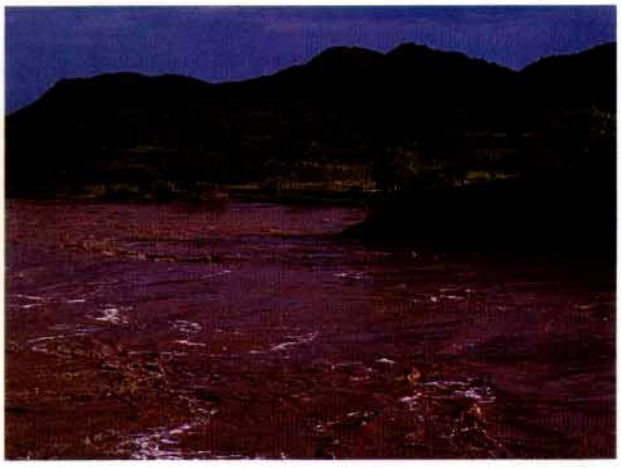
1. Vue du plateau des Kapsikis avec le village et l'aiguille de Roumsiki et au loin l'aiguille de Mogode.
2. Coucher de soleil sur la Bénoué à Riao.
3. Cases du village de Douvar accrochées au flanc granitique des Monts Matakam, près de Mokolo.
4. Le Faro en saison sèche, au pied des Monts Alantika (1 885 m) formant frontière avec le Nigéria.
5. Le Mayo Louti à Figuil en crue au début de la saison des pluies ; la charge solide est particulièrement importante
(Photos J.C. OLIVRY).













◁ *Préparatifs du jaugeage sur la Sanaga à Koro (Photo J.-C. Olivry).*

Bibliographie

ALDEGHERI (M.) – 1956 – Annonce des crues de la Bénoué. *In :* Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer. ORSTOM, Paris, pp. 11-22.

Aménagement du Choumi (Cameroun Oriental) – Note hydrologique – 1966 – EDF-IGECO, ORSTOM, Paris, 17 p. + tab. + graph.

Aménagement du Choumi (Cameroun Oriental) – Note hydrologique – 1968 – EDF-IGECO, ORSTOM, Paris.

Aménagement de la Bénoué à Lagdo – Évaluation de l'Évaporation sur la retenue. ORSTOM, Paris, 4 p.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1962-1964 – ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 42 p. + graph.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1964-1965 – ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 54 p. + graph.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1966-1967 – ORSTOM, Yaoundé, 63 p. + graph.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1967-1968 – ORSTOM, Yaoundé, 67 p. + graph.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1968-1970 – Yaoundé, 72 p. + graph.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1969-1971 – Yaoundé.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1971-1971 – Yaoundé.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1972-1973 – Yaoundé.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1970-1973 – Yaoundé.

Annuaire Hydrologique du Cameroun, année 1973-1974 – Yaoundé, 90 p. + 66 graph.

Atlas du Cameroun – 1958 – IRCAM, Yaoundé, 27 p. + 6 H.T. (5 fascicules).

BARRAL (H.), FRANQUEVILLE (A.) – 1969 – Atlas Régional Sud-Est. ORSTOM, Yaoundé, 52 p. + 9 cartes.

Bassin supérieur du Djerem – Données hydrologiques – 1964. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 69 p. + graph.

BAZILLE (M.) – 1969 – Mesures hydrologiques complémentaires nécessaires à la mise au point des règles d'exploitation de la retenue du Mbakaou – Compte rendu de la 2e campagne. ORSTOM, Yaoundé, 10 p.

BENECH (V.), QUENSIÈRE (J.), VIDY (G.) – 1982 – Hydrologie et physicochimie des eaux de la plaine d'inondation du Nord-Cameroun. *In : Cah. ORSTOM sér. Hydrol.,* vol. XIX, n° 1. Paris, pp. 15-36.

BERTHELOT (R.) – 1955 – Étude des crues du Mayo Monbaroua par la méthode analytique. ORSTOM, Paris.

BESSOLES (B.) – 1977 – Géologie de l'Afrique – Le craton Ouest Africain. Mémoires du BRGM n° 88.

BESSOLES (B.) – 1980 – Géologie de l'Afrique – Vol. 2 – La chaîne panafricaine, zone mobile d'Afrique Centrale et zone mobile soudanaise. Mémoires du BRGM n° 92, 398 p. + 121 fig.

BILLON (B.), RANDON (R.) – 1965 – Étude hydrologique des Chutes Gauthiot – Campagne 1964. ORSTOM, Fort-Lamy, 68 p.

BOUCHARDEAU (A.) – 1948 – Mission hydrologique sur les rivières du Sud-Cameroun. ORSTOM, Yaoundé, 103 p.

BOUCHARDEAU (A.) – 1951 – Étude des crues des Mayos du Nord-Cameroun. *In :* Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer, année 1949. ORSTOM, Paris, 38 p.

BOUCHARDEAU (A.) – 1953 – Reconnaissance du réseau hydrographique tributaire du Lac Tchad au Nord-Cameroun. ORSTOM, Commission Scientifique du Logone et du Tchad, Paris, 19 p. + 1 carte.

BOUCHARDEAU (A.) et LEFÈVRE (R.) – 1957 – Monographie du Lac Tchad. ORSTOM-CSLT, Paris, 112 p. + 24 pl. + 1 carte.

BOUTRAIS (J.) – 1978 – Deux études sur l'élevage en zone tropicale humide (Cameroun). Travaux et documentation de l'ORSTOM n° 8, Paris, 194 p.

BRESSON (Y.), GUIRAUDIE (Ch.), ROCH (E.) – 1952 – Le fossé tectonique de la Mbéré (Nord-Cameroun). C.R. Acad. Sci., vol. 1, 95 p.

BRUNET -MORET (Y.) – 1965a – Étude des facteurs du ruissellement sur un bassin représentatif du Cameroun (petit Bassin de Boundjouk). (Communication destinée au Colloque AIHS de Budapest sur les terrains et Bassins Représentatifs Expérimentaux, 28 septembre-5 octobre 1965.) ORSTOM, Paris, 10 p. + graph. et tabl.

BRUNET-MORET (Y.) – 1965b – Étude du ruissellement sur le plateau de l'Adamaoua (Bassins expérimentaux de Rem). ORSTOM, Paris, 44 p.

BRUNET-MORET (Y.) – 1965c – Étude du ruissellement sur le plateau de l'Adamaoua (Bassins expérimentaux de Boundjouk) – Rapport définitif – Campagnes 1962 et 1963. ORSTOM, Paris, 43 p. + graph. et annexes.

BRUNET-MORET (Y.) – 1968 – Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. Rapport de Synthèse. ORSTOM-CIEH, Paris, 17 p. + 2 graph. + 14 cartes hors-textes.

BRUNET-MORET (Y.) – 1977 – Cartographie des précipitations et détermination de l'averse de projet (design storm) en Afrique Occidentale. *In :* Proceedings of a Symposium on Flood Hydrology held in Nairobi in october 1975. TRRL Supplementary Report 259, Crowthorne Berkshire, pp. 32-50.

BRUNET-MORET (Y.) – 1978 – Recherche d'un test d'ajustement. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.,* vol. XV, n° 3, pp. 261-280.

BRUNET-MORET (Y.) – 1979 – Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol.,* vol. XVI, n° 3 et 4, pp. 147-170.

CADIER (E.) – 1969 – Étude hydrologique du bassin supérieur du Noun. Rapport d'activité du 1er semestre 1969. ORSTOM, Yaoundé, 27 p.

CADIER (E.) – 1970 – Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun – Bassin représentatif du Motorsolo. 177 p. + graph. + ann.

CADIER (E.) – 1971a – Exploitation de la retenue de Mbakaou – Saison sèche 1971. Yaoundé. 28 p. + graph. + ann.

CADIER (E.) – 1971b – La Bénoué au site de Lagdo – Campagne 1970. Yaoundé. 34 p. + graph. + ann.

CADOT (D.), PUECH (C.) – 1982 – Note de calcul des débits de crue décennale pour les petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. CIEH, Ouagadougou, 15 p. + 4 fig. + 2 cartes.

CALLEDE (J.) – 1966 – Étude hydrologique pour l'aménagement des Chutes Gauthiot – Campagne 1965. ORSTOM, Fort-Lamy.

CALLEDE (J.), DELFIEU (G.) – 1967a – Hydrologie des Mayos du Nord-Cameroun : le bassin du Mayo Tsanaga – Campagne 1966. ORSTOM, Yaoundé, 46 p. + graph.

CALLEDE (J.) – 1967b – Un cas d'écoulements issus des précipitations occultes. ORSTOM, Yaoundé, 12 p.

CALLEDE (J.) – 1972 – Étude des basses-eaux de la Sangha à Salo. ORSTOM, Bangui (RCA), 14 p. + 10 fig.

CALLEDE (J.) – 1977 – Oscillations journalières du débit des rivières en l'absence de précipitations – Thèse de Docteur-Ingénieur. ORSTOM-Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 141 p.

CARRE (P.) – 1981 – Étude des débits d'étiage de petits cours d'eau au voisinage de quinze centres urbains – Observations de 1977 à 1980.
DGRST-IRGM, Yaoundé, 145 p.

CASENAVE (A.) – 1974a – Exploitation de la retenue de Mbakaou – Saison sèche 1974 – Note hydrologique. Yaoundé, 31 p. + 16 fig. + 18 tab.

CASENAVE (A.) – 1974b – Note préliminaire sur les étiages de cinq rivières du Sud-Cameroun – Campagne 1974. Yaoundé, 31 p. + 20 graph.

CASENAVE (A.) – 1976a – Note préliminaire sur les étiages de cinq rivières du Sud-Cameroun – Campagne 1975. Yaoundé, 34 p. + 22 graph.

CASENAVE (A.) – 1976b – Mesure des étiages de l'Evie à Mbandjock. Yaoundé, 5 p.

CASENAVE (A.) – 1978 – Étude hydrologique des bassins de Sanguéré. ONAREST, Cah. IRTISS.

CHAMPAUD (J.) – 1973 – Atlas Régional Ouest II – Commentaire des Cartes. ORSTOM, Yaoundé, 118 p. + 10 cartes.

CHAMPETIER DE RIBES (G.) – 1956 – Notice explicative sur la feuille Yaoundé-Est – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Paris, 35 p.

CHAMPETIER DE RIBES (G.), REYRE (D.) – 1959 – Notice explicative sur la feuille Yaoundé Ouest – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Paris, 31 p.

COMET-BARTHE (J.) – 1980 – Étude des pluies journalières de fréquence rare au Cameroun. *in :* Études Techniques. Bulletin du CIEH n° 42-43.

COURADE (G.) – 1974 – Atlas Régional Ouest I – Commentaire des cartes. ORSTOM, Yaoundé, 191 p. + 11 cartes.

CLIFFORD (T.N.) – 1970 – The structural framework of Africa. *in :* African Magmatism and Tectonics, edited by T.N. Clifford and I.G. Gass, Oliver and Boyd. Edinburgh, pp. 1-26.

DIEBOLD (P.) – 1960 – Notes sur la Géologie du Cameroun méridional. Non publiée à la suite de la réunification des deux Camerouns initialement prévue comme occasionnal paper du Geological Survey of Nigeria.

Djerem à Mbakaou – Note hydrologique – 1968 – ORSTOM, 17 p. + graph.

DUBREUIL (P.) – 1955 – Étude des crues sur un petit bassin de la région de Maroua, Nord-Cameroun. *in :* Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer. ORSTOM, Paris, pp. 15-27.

DUBREUIL (P.) – 1956 – Étude des crues sur un petit bassin de la région de Maroua : le Boulore. ORSTOM, Paris, 117 p. + graph.

DUBREUIL (P.) – 1962 – Hydrologie de surface dans le Diamare. *in :* Recherches et Études Camerounaises n° 9. ORSTOM, Paris, pp. 31-41.

DUBREUIL (P.) – 1966 – Les caractères physiques et morphologiques des bassins versants ; leur détermination avec une précision acceptable. *Cah. ORSTOM sér. Hydrol.,* n° 5.

DUBREUIL (P.) – 1972 – Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux – Années 1951-1969. ORSTOM.

DUBREUIL (P.), GUISCAFRE (J.), NOUVELOT (J.F.), OLIVRY (J.-C.) – Le bassin de la Rivière Sanaga – (Monographies hydrologiques ORSTOM). Paris, 350 p.

DUMORT (J.-C.), PERONNE (Y.) – 1966 – Notice explicative sur la feuille Maroua – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Paris, 50 p.

DUMORT (J.-C.) – 1968 – Note explicative sur la feuille Douala Ouest – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Paris, 69 p.

Étude hydrologique de la vallée du Logone – 1961 – ORSTOM-IRCAM, Service Hydrologique, Yaoundé, 10 p.

Étude d'une mangrove de l'estuaire du Wouri – Contribution à l'étude d'un écosystème – 1974 – Boye (M.), Baltzer (P.), Caratini (C.), Hampart-Zoumian (A.), Olivry (J.-C.), Plaziat (J.-C.), Villier (J.-P.). Colloque d'Honolulu sur les mangroves. CEGET-CNRS, Bordeaux.

Étude des potentialités du bassin conventionnel du Lac Tchad – Hydrologie – Analyste statistique des débits moyens journaliers extrêmes – 1979. ORSTOM, Paris.

Évaluation de la crue exceptionnelle du Noun à Bamendjing – 1970 – Bureau Central Paris, 5 p. + 2 graph.

FONTES (J.-Ch.), OLIVRY (J.-C.) – 1976a – Premiers résultats sur la composition isotopique des précipitations de la région du Mont-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.,* vol. XIII, n° 3, pp. 179-194.

FONTES (J.-Ch.) – 1976b – Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles : quelques aspects – Thèse de Doctorat d'État. Université Pierre et Marie Curie, Paris, 208 p.

FONTES (J.-Ch.), OLIVRY (J.-C.) – 1977a – Composition isotopique des précipitations de la région du Mont-Cameroun. Yaoundé, 28 p.

FONTES (J.-Ch.), OLIVRY (J.-C.) – 1977b – Gradient isotopique entre 0 et 4 000 m dans les précipitations du Mont-Cameroun. *in :* 4e Réunion Ann. Sc. Terre. Société Géologique de France, Paris, p. 171.

FRANQUEVILLE (A.) – 1973 – Atlas Régional Sud-Ouest I – Commentaire des cartes. ORSTOM, Yaoundé, 93 p. + 15 cartes.

FRECAUT (R.) – 1982 – Éléments d'hydrologie et de dynamique fluviales. Tome 1 : Régions chaudes et humides des basses latitudes. Publications Université Nancy II, 147 p.

FURON (R.) – 1960 – Géologie de l'Afrique. Payot, Paris, 400 p., 2e éd.

GAC (J.-Y.) – 1979 – Géochimie du bassin du Tchad – Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. Thèse Sc., Strasbourg, 249 p.

GAZEL (J.) – 1955 – Notice explicative sur la feuille Batouri-Ouest – Carte géologique au 1/500 000. Service des Mines du Cameroun, Paris, 44 p.

GAZEL (J.), HOURCQ (V.), NICKLES (M.) – 1956 – Carte géologique du Cameroun au 1/1 000 000 – Notice explicative. Terr. Cameroun Bull., Dir. Mines Géol., n° 2, 62 p.

GAZEL (J.) – 1958 – Géologie du Cameroun. *in :* Atlas du Cameroun. IRCAM, Yaoundé, 10 p.

GAZEL (J.), GUIRAUDIE (Ch.) – 1965 – Notice explicative sur la feuille Abong-Mbang Ouest – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Paris, 29 p.

GEZE (B.) – 1943 – Géographie physique et géologie du Cameroun Occidental. Mem. Mus. nation. Hist. nat., XVII pp. 1-271.

GEZE (B.) – 1953 – Les volcans du Cameroun. Bulletin volcanologique, série II, T. XIII.

GUIRAUDIE (Ch.) – 1955 – Notice explicative sur la feuille Ngaoundéré-Ouest – Carte géologique au 1/500 000. Service des Mines du Cameroun, Paris, 23 p.

GUISCAFRE (J.) – 1960a – Application de la méthode des hydrogrammes unitaires à un écoulement de type hypodermique – Bassin versant du Mayo Baleng. (Conférence CCTA de Nairobi.) ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 11 p. + graph.

GUISCAFRE (J.) – 1960b – Études hydrologiques au Cameroun. (Congrès CCTA de Nairobi.) ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 7 p. + tab. et graph.

GUISCAFRE (J.) – 1961a – Influence des aménagements anti-érosifs sur l'écoulement des Mayos Kapsikis – Bassins versants de Mogode. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 40 p. + graph.

GUISCAFRE (J.) – 1961b – Sondage du bras mort de la Sanaga à Edéa. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 2 p. + graph.

GUISCAFRE (J.), NOUVELOT (J.-F.) – 1971 – Monographie hydrologique de la Sanaga, 1re partie, les facteurs conditionnels du régime. ORSTOM, Paris, 193 p. + 5 cartes HT.

GUISCAFRE (J.), NOUVELOT (J.-F.) – 1972 – Monographie hydrologique de la Sanaga, 5e partie, les données numériques. ORSTOM, Paris, 288 p.

GUISCAFRE (J.), NOUVELOT (J.F.), OLIVRY (J.-C.), SECHET (P.) – 1973 – Monographie hydrologique de la Sanaga, 4e partie, interprétation des mesures. Yaoundé, 66 p. + 39 graph.

HAWKINS (P.), BRUNT (M.) – 1965 – Report to the government of Cameroon on the Soils and Ecology of West-Cameroon. F.A.O. Report, n° 2083, Rome, 2 vol., 516 p.

HURLEY (P.M.) – 1967 – Bibliographie review of age data in West Africa, Venezuela and the Guyanas. *in :* « Variations in isotopics abundances of strontium, calcium and argon and related topics ». M.I.T. 1381-15, 15th annual progress rept., Cambridge, pp. 27-32.

IKOUNGA (M.) – 1978 – Mécanismes du ruissellement sous forêt – Étude hydrologique des bassins d'Ottotomo (région de Yaoundé). ONAREST-ORSTOM, Yaoundé – Paris.

KIET SRANG – 1972 – Hydrologie d'un bassin de zone urbaine – Le bassin versant de Yaoundé. Yaoundé, 26 p. + 20 graph.

KOCH (P.) – 1953 – Notice explicative sur la feuille Banyo – Carte géologique au 1/500 000. Serv. Mines Cameroun, Yaoundé, 47 p.

KOCH (P.) – 1959 – Notice explicative sur la feuille Garoua-ouest – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Cameroun, Yaoundé, 48 p.

La Metchié aux Chutes (BV de 480 km²) – 1971 – ORSTOM, Paris, 4 p. + 5 tab. + 5 graph.

LASSERRE (M.) – 1961 – Étude Géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun Central). Bull. Dir. Mines Géol. Cameroun, n° 4, Yaoundé, 130 p. + carte 1/500 000.

LASSERRE (M.) – 1962 – Notice explicative sur les feuilles Ngaoundéré-Est et Bossangoa-Ouest (Partie Cameroun) – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Yaoundé, 51 p.

LEFEVRE (R.) – 1964a – Étude hydrologique de la Moyenne Sanaga – Bassin expérimental de l'Avea – Campagne 1963. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 74 p. + graph. + annexes.

LEFEVRE (R.) – 1964b – Étude générale du chemin de fer Cameroun-Tchad – Hydrologie de la Vina du Nord – Bassins expérimentaux de Touboro – Campagne 1963. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 70 p. + graph. + annexes.

LEFEVRE (R.) – 1964c – Annuaire hydrologique du Cameroun – Année 1963. ORSTOM-IRCAM, Service Hydrologique, Yaoundé, 50 p. + graph.

LEFEVRE (R.) – 1965 – Étude hydrologique de la Moyenne Sanaga (Bassins représentatifs de l'Avea) – Campagnes 1963 et 1964. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, 136 p.

LEFEVRE (R.) – 1966a – Hydrologie de la Vina du Nord – Bassins expérimentaux de Touboro – Campagne 1964 – Rapport provisoire. ORSTOM-IRCAM, Sercice Hydrologique, Paris, 113 p. + graph. et annexes.

LEFEVRE (R.) – 1966b – Note sur le débit d'étiage de la Mokona. ORSTOM, Service Hydrologique, Yaoundé, 5 p. + graph.

LEFEVRE (R.) – 1966c – Étude hydrologique de la Mefou Supérieure. ORSTOM, Service Hydrologique, Yaoundé, 31 p. + graph.

LEFEVRE (R.), NOUVELOT (J.-F.) – 1966d – Hydrologie de la Vina du Nord – Bassins représentatifs de Touboro – Rapport définitif – Campagnes 1963, 1964 et 1965. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, 141 p. + graph. + annexes.

LEFEVRE (R.) – 1966e – Annuaire hydrologique du Cameroun – Année 1965. ORSTOM, Service Hydrologique, Yaoundé, 130 p. multigr.

LEFEVRE (R.) – 1967 – Aspect de la pluviométrie dans la région du Mont Cameroun. *Cah. ORSTOM sér. Hydrol.*, vol. IV, n° 1967, pp. 15-44.

LEFEVRE (R.) – 1968a – Pluviométrie 1967 dans la région du Mont-Cameroun. Yaoundé, 14 p. + graph. + annexes.

LEFEVRE (R.) – 1968b – Hydrologie d'un petit fleuve côtier issu du Mont-Cameroun. Yaoundé, 29 p. + graph.

LEFEVRE (R.) – 1968c – Mesures hydrologiques complémentaires nécessaires à la mise au point des règles d'exploitations de la future retenue de Mbakaou – Compte rendu d'activité de la 1re campagne. ORSTOM, Yaoundé, 14 p.

LEFEVRE (R.) – 1968d – Étude hydrologique du bassin supérieur du Noun. Rapport d'activité – 1er semestre 1968. ORSTOM, Yaoundé, 16 p.

LEFEVRE (R.) – 1971 – Mesures de l'Inféro-Flux du Mayo Tsanaga. Yaoundé, 21 p. + 10 graph.
LE GOURIERES (D.) – 1962a – Étude du bassin versant du Mayo Mokolo. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 23 p. + graph.
LE GOURIERES (D.) – 1962b – Hydrologie du Nord-Cameroun. (Conférence de Fort-Lamy.) ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 9 p. + graph.
LE GOURIERES (D.) – 1962c – Bassins versants expérimentaux du Nord-Cameroun. (Conférence de Fort-Lamy.) ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 9 p. + graph.
LE GOURIERES (D.) – 1963 – Études hydrologiques pour l'alimentation en eau des villes de Yaoundé et de Ngaoundere. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 25 p. + tab. + graph.
LE MARECHAL (A.) – 1976 – Géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun. Travaux et documents de l'ORSTOM, n° 59, Paris, 176 p. + 2 cartes h.t.
LEMOINE (L.), PRAT (J.-C.) – 1975 – Cartes d'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de L. Turc pour les pays membres du CIEH. Pub. CIEH sér. Climatol., Ouagadougou, 4 vol., 160 p.
Le réseau général des stations limnimétriques du Cameroun et les courbes de tarage des échelles observées par l'IRCAM – 1963 – ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, graph. et tab. multigr.
LETOUZEY (R.) – 1958 – Phytogéographie camerounaise. *in :* Atlas du Cameroun. IRCAM, Yaoundé, 6 p. + carte 1/2 000 000.
LETOUZEY (R.) – 1972 – Manuel de botanique forestière – Afrique Tropicale. Botanique générale ; Familles. Centre Technique Forestier Tropical, Paris, 3 vol., 650 p.
MALEY (J.) – 1981 – Études palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle – Travaux et documents ORSTOM n° 129. Paris, 586 p.
MARTIN (D.), SEGALEN (p.) – 1966 – Carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1 000 000. ORSTOM, Paris, 129 p. + 2 c H.T.
MATTAUER (M.). – 1981 – Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. Hermann Collection Methods, Paris, 479 p.
Mesures effectuées sur le Djoungolo pour le compte de la Société Immobilière du Cameroun – 1962 – Orstom-Ircam, Yaoundé, 5 p. + annexes.
Monographie hydrologique du Logone – 1968 – Billon (B.), Bouchardeau (A.), Roche (M.), Rodier (J.). ORSTOM, Paris, 8 vol. 770 p.
Monographie hydrologique de la Sanaga, 4e partie, interprétation des mesures – 1973 – Guiscafre (J.), Nouvelot (J.-F.), Olivry (J.-C.), Sechet (P.). Yaoundé, 66 p. + 39 graph.
MOURARET – 1972 – Étude biologique des eaux dans quelques cours d'eau du Cameroun et du Gabon. ORSTOM, Dakar, 9 p. + 5 tabl.
NAAH (E.) – 1977 – Étude du comportement du Mile Six River. Yaoundé, 6 p.
NAAH (E.) – 1978 – Étude hydrologique du Mayo Tsanaga à Minglia – Campagne 1977 – Rapport définitif. IRTISS-ONAREST, Yaoundé, 38 p. + annexes.
NAAH (E.) – 1979 – Étude des caractéristiques hydrologiques sur un ensemble de bassins versants représentatifs des terrains précambriens de la Vina du Nord, Paris.
NAAH (E.) – 1981 – Profil de la Bénoué en aval de Lagdo – Rapport définitif. DGRST-CRH, Yaoundé, 57 p.
NANA TCHOUDJA (J.) – 1978a – Annuaire Hydrologique du Cameroun 1976.
NANA TCHOUDJA (J.) – 1978b – Étude du débit d'étiage dans 15 centres – Rapport de la campagne 1977-1978.
NANA TCHOUDJA (J.) – 1979a – Annuaire Hydrologique du Cameroun 1977.
NANA TCHOUDJA (J.) – 1979b – Annuaire Hydrologique du Cameroun 1978.
NANA TCHOUDJA (J.) – 1979c – Étude des débits d'étiage dans 15 centres – Rapport de la Campagne 1978-1979 – ONAREST-IRTISS, Yaoundé, 123 p.
Note sur la crue de la Metchie (Cameroun) – 1971 – ORSTOM, Paris, 5 p. + 2 graph.
Note sur la crue exceptionnelle de la Bénoué à Lagdo – 1972 – ORSTOM, Paris, 6 p. + 3 graph.
Note sur les crues du Nyong à Eséka – 1973a – ORSTOM, Paris, 6 p.
Note hydrologique sur le Nyong à Eséka – 1973b – ORSTOM, Paris, 38 p. + 9 graph.
Notice sur l'amélioration de la navigabilité de la Bénoué – 1955 – ORSTOM, Librairie Larose, Paris, 62 p. + cartes et photos + bibl.
NOUVELOT (J.-F.) – 1963 – Note sur les débits de basses-eaux de la Sanaga à Edéa. Corrélations hydropluviométriques – Septembre 1963. IGECO.
NOUVELOT (J.-F.) – 1967a – Note sur le débit d'étiage 1967 de la Mokona. ORSTOM, Yaoundé, 9 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1967b – Hydrologie de la Vina du Nord : Bassins représentatifs du Risso, Campagne 1966. ORSTOM, Paris, 77 p. + graph. + annexes.
NOUVELOT (J.-F.), DELFIEU (G.) – 1968a – Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun – Le bassin de la Tsanaga, Campagne 1967. ORSTOM.
NOUVELOT (J.-F.) – 1968b – Note hydrologique sur les débits de basses-eaux de la Sanaga Inférieure à Edéa, Song Dong et Song Loulou. Yaoundé, 11 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1968c – Étude hydrologique du bassin du Noun – Raport d'activité – 1er semestre 1968. Centre Orstom, Yaoundé, 16 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1969a – Barrage de Mbakaou – Observations climatologiques 1968-1969. Centre Orstom, Yaoundé, 8 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1969b – Hydrologie de la Vina du Nord – Bassins représentatifs du Risso. Rapport provisoire – Campagne 1967, janvier 1969. ORSTOM, 51 p. + graph. + annexes.
NOUVELOT (J.-F.) – 1969c – Mesures et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Cah. ORSTOM sér. Hydrol.,* vol. VI, n° 4.
NOUVELOT (J.-F.) – 1970a – Étude hydrologique du bassin supérieur du bassin du Noun – Rapport d'activité du 2e semestre 1969. Centre ORSTOM, Yaoundé, 35 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1970b – Étude hydrologique du bassin supérieur du Noun. Rapport d'activité du 1er semestre 1970. Centre ORSTOM, Yaoundé, 19 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1970c – Exploitation de la retenue de Mbakaou. Saison sèche 1970. Centre ORSTOM, Yaoundé, 31 p.
NOUVELOT (J.-F.) – 1970d – Complément à l'étude des transports solides en suspension au Cameroun – Campagne 1969. Centre ORSTOM, Yaoundé, 19 p.
NOUVELOT (J.-F.), CADIER (E.), OLIVRY (J.-C.) – 1971a – Hydrologie du bassin supérieur du Noun. Campagnes : 1968-69, 1969-70, 1970-71. Yaoundé, 314 p. + graph.

NOUVELOT (J.-F.) – 1971b – La Sanaga au site de Song Loulou. Campagne 1970, note hydrologique. Yaoundé, 11 p. + graph.
NOUVELOT (J.-F.) – 1972a – Étude pour un examen préliminaire de la submersion de la Bénoué à Garoua. Yaoundé, 8 p. + 3 graph.
NOUVELOT (J.-F.), DELFIEU (G.) – 1972b – La Bénoué au site de Lagdo – Campagne 1971 – Mesure des transports de sable. Note hydrologique. Yaoundé, 29 p. + 19 graph.
NOUVELOT (J.-F.), SECHET (P.) – 1972c – Étude hydrologique du Nyong à Njock et de la Sanaga à Nachtigal. Yaoundé, 74 p. + 58 graph.
NOUVELOT (J.-F.) – 1972d – Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun. Monographie de la Tsanaga – Rapport terminal. Yaoundé, 102 p. + 79 graph. + annexes.
Nyong à Olama – Crue 1964 – 1964 – ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 3 p. + graph.
Nyong à Eséka – Reconstitution des débits de basses-eaux – 1973 – ORSTOM, Paris, 1 p. + 3 tab.
OBERLIN (G.) – 1980 – Présentation en avant-première d'une méthode sommaire d'estimation des crues sur de petits bassins de métropole : la méthode SØCØSE. *in* : La Houille Blanche, n° 4-5. Relations Pluies-Débit, pp. 267-273.
OLIVRY (J.-C.) – 1967a – Étude des basses-eaux de la Mbali à Boali (République Centrafricaine). ORSTOM, Brazzaville.
OLIVRY (J.-C.) – 1967b – Dossier des stations limnimétriques de la République du Congo. ORSTOM, Brazzaville, 70 p., 100 fig., 290 tabl.
OLIVRY (J.-C.) – 1967c – Régimes hydrologiques des rivières Batéké (Lefini, Alima, Nkeni). ORSTOM, Brazzaville.
OLIVRY (J.-C.) – 1968 – Bassins versants de la Miele (Sangha) – Généralités et quelques résultats provisoires sur le ruissellement du grand bassin (43,6 km²). ORSTOM, Brazzaville.
OLIVRY (J.-C.) – 1970 – Variations journalières de débit des rivières Bamiléké en période de tarissement. (Saison sèche 1969-1970). ORSTOM, Yaoundé, 24 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1971a – Étude hydrologique du Choumi et de la Metchie – Campagne 1970-1971, 16 p. + graph. + annexe.
OLIVRY (J.-C.) – 1971b – Note sur la forte crue de la mi-octobre 1971 aux différentes stations hydrologiques de la région de l'Ouest. Yaoundé, 6 p. + 3 graph.
OLIVRY (J.-C.), SECHET (P.) – 1973a – Monographie hydrologique de la Sanaga, 4e partie, interprétation des mesures. Yaoundé, 66 p + 39 graph.
OLIVRY (J.-C.) – 1973b – Régimes hydrologiques en pays bamiléké. Étude du bassin versant de la Mifi-Sud – Tome 1 : Le milieu physique de la région de l'Ouest – Généralités et données de base. Yaoundé, 275 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1974a – Le Réseau Hydrométrique du Cameroun. Réunion sur la création d'un Comité National de l'eau.
OLIVRY (J.-C.) – 1974b – Les études hydrologiques de bassins représentatifs au Cameroun. Réunion sur la création d'un Comité National de l'eau.
OLIVRY (J.-C.) – 1974c – L'alimentation en eau de Douala en période d'étiage. Hydrologie du bief maritime de la Dibamba – Note sur les étiages du Mungo. Yaoundé, 40 p. + 12 graph.
OLIVRY (J.-C.) – 1974d – Régime hydrologique du fleuve Wouri et estimation des apports reçus par l'estuaire et le mangrove du Wouri. Yaoundé, 40 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1974e – Les déficits hydropluviométriques au Cameroun pendant les années sèches 1972 et 1973. Yaoundé, 71 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1974f – Étude d'une mangrove de l'estuaire du Wouri. Contribution à l'étude d'un écosystème – Colloque d'Honolulu sur les mangroves, octobre 1974. CEGET-CNRS, Bordeaux.
OLIVRY (J.-C.), HOORELBECKE (R.) – 1974g – Étude hydrologique du Haut-Bassin du Mayo Tsanaga à Mokolo – Résultats de la campagne 1974. Yaoundé, 40 p.
OLIVRY (J.-C.), HOORELBECKE (R.), ANDIGA (J.) – 1974h – Quelques mesures complémentaires de transports solides en suspension – Le Mayon Tsanaga à Bogo – Le Mbam à Goura. Yaoundé, 64 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1974i – Régimes hydrologiques en pays bamiléké – La Mifi-Sud – Tome 2 : Interprétation des mesures : Modules et Bilan, Basses-Eaux et Crues. Yaoundé, 290 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1975a, cf. Dubreuil *et al.*, 1975.
OLIVRY (J.-C.) – 1975b – Reconnaissance et mesures sur la Sanaga à Koro. 6 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1975c – Estimation des étiages absolus du Mfiande à Ebolowa. 7 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1975d – Principales caractéristiques des régimes hydrologiques en pays bamiléké déterminées dans l'étude de la Mifi-Sud. ORSTOM-ONAREST, Yaoundé, 75 p.
OLIVRY (J.-C.), CASENAVE (A.) – 1975e – Exploitation des retenues de Mbakaou et Bamendjing – Saison sèche 1975. ORSTOM-ONAREST, Yaoundé.
OLIVRY (J.-C.), HOORELBECKE (R.) – 1976a – Étude hydrologique du Haut-Bassin du Mayo Tsanaga à Mokolo – Rapport définitif. Yaoundé, 93 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1976b – Régimes hydrologiques en pays bamiléké (Cameroun). *Cah. ORSTOM sér. Hyrdol.*, vol. XIII, n° 1, pp. 37-71.
OLIVRY (J.-C.), BOREL (Y.) – 1976c – Annuaire hydrologique du Cameroun année 1974. ORSTOM, Yaoundé.
OLIVRY (J.-C.) – 1976d – Compte rendu des mesures effectuées pendant la saison sèche 1976 sur le Mfiande à Ebolowa, le Noun et l'Essoua à Nkongsamba. Yaoundé, 5 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1976e – Étalonnage des stations hydrologiques de Mbakaou, Bamendjing et Goura. Yaoundé, 11 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1976f – Étude des basses-eaux de cinq rivières du Sud-Cameroun (campagnes 1974, 1975, 1976) – Rapport définitif. Yaoundé, 90 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1976g – Étude des étiages de la Menoua à Dschang. Yaoundé, 6 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1976h – Transports solides en suspension au Cameroun. Yaoundé, 19 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1977a – Annuaire hydrologique du Cameroun 1975. ONAREST, Yaoundé, 147 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1977b – Transports solides en suspension au Cameroun – Actes du colloque de Paris sur l'Érosion et les transports solides dans les Eaux Continentales (juillet 1977). AISH, pub. n° 122, pp. 134-141.
OLIVRY (J.-C.) – 1977c – Étude hydrologique du Mayo Tsanaga à Minglia – Compte rendu d'installation des équipements hydropluviométriques et consignes d'exploitation pour la saison des pluis 1977. ONAREST, Yaoundé, 20 p.

OLIVRY (J.-C.) – 1978a – Observations hydrométriques 1978 sur le Mayo Tsanaga à Douvar. Résultats ORSTOM.
OLIVRY (J.-C.) – 1978b – Recherche hydrologique et développement au Cameroun. ONAREST, Yaoundé, 6 p.
OLIVRY (J.-C.), NAAH (E.) – 1978c – Qualité des eaux de quelques rivières du Cameroun Méridional. ONAREST, Yaoundé, 39 p. + 14 fig.
OLIVRY (J.-C.) – 1978d – Compte rendu de la campagne de jaugeages basses-eaux et moyennes-eaux sur la Sanaga à Goyoum et Nachtigal.
OLIVRY (J.-C.) – 1978e – Transports solides au Cameroun. *in* : Cahiers de l'ONAREST, vol. n° 1.
OLIVRY (J.-C.) – 1979a – Profil de la Bénoué en aval de Lagdo – Note préliminaire sur la campagne de mesures effectuées en 1978. ONAREST, 46 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1979b – Estimation du bilan de la retenue du Mopfou en saison sèche. Yaoundé, 15 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1979c – Monographie du Nyong et des fleuves côtiers : Facteurs conditionnels des régimes hydrologiques ; Hydrologie du Nyong, Hydrologie des fleures côtiers ; ONAREST, Yaoundé, 3 vol. 107 + 230 + 186 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1979d – Note technique n° 1 : Fonctionnement et gestion des Programmes de recherche hydrologique au Cameroun. IRTIS-ONAREST, Yaoundé, 26 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1979e – Note technique n° 2 : Analyse et interprétation de données hydrologiques au bureau. IRTIS-ONAREST, Yaoundé, 22 p.
OLIVRY (J.-C.) – 1983 – Le Point en 1982 sur l'évolution de la Sécheresse en Sénégambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *in* : Cahirs ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XX, n° 1, Paris.
PELLERAY (H.) – 1956a – Reconnaissance sur la moyenne Sanaga du passage de Marabal au pont de Ki-Kot. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 10 p.
PELLERAY (H.) – 1956b – Étude du ruissellement sur le bassin versant du Mayo Kereng. ORSTOM-IRCAM, 27 p.
PELLERAY (H.) – 1957a – Étude hydrologique sur le bassin versant du Mayo Kereng B. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 15 p.
PELLERAY (H.) – 1957b – Étude des bassins expérimentaux du Mayo Kereng – Troisième partie : Étude sommaire des transports solides sur le Mayo B. ORSTOM-IRCAM, Paris, 13 p.
PELLERAY (H.) – 1957c – Étude des bassins versants expérimentaux du Mayo Kereng. ORSTOM-IRCAM, Paris, 79 p.
PELLERAY (H.) – 1959 – Fleuves et rivières du Cameroun. (Atlas du Cameroun). ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 7 p. + 1 carte + 9 graph. + 1 tab.
PENMANN (H.L.) – 1954 – Evaporation over parts of Europe Assoc. Intern. d'Hydrologie Scientifique, Congrès de Rome, pp. 168-176.
PERONNE (Y.) – 1969 – Notice explicative sur la feuille Wum-Banyo – Carte géologique au 1 5 000 000. Dir. Mines géol. Cameroun, Yaoundé, 49 p.
PIAS (J.) – 1962 – Les sols du moyen et bas Logone, du bas Chari, des régions riveraines du Lac Tchad et du Bahr el Gazal. Mem. ORSTOM, n° 2, Paris, 437 p.
POUYAUD (B.), BARILLY (A.) – 1971 – Le bassin de la Sangha – La Sangha à Ouesso – Le Dja à Fort-Soufflay. ORSTOM, Brazzaville, 24 p.
Précipitations journalières de l'origine des stations à 1972 – République du Cameroun – 1978 – CIEH-Ministère de la Coopération-ORSTOM, Service Hydrologique, 2 Tomes, 512 p. + 905 p.
Prévisions à long terme des débits de basses-eaux de la Sanaga à Edéa – Campagne 1963-1964 – 1964 – ORSTOM-IRCAM, Service Hydrologique, Yaoundé, 23 p.
PUGH (J.-C.) – 1954 – High-level surfaces in the eastern highlands of Nigeria. S. Afr. geographie XXXVI, pp. 31-42.
Résumés mensuels du temps – Publications régulières de la Météorologie Nationale – Douala.
RIOU (C.) – 1970 – Évaporation en bac et évapotranspiration potentielle : Expression de l'évaporation d'une petite nappe d'eau en fonction des données sous abri. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.,* vol. VII, n° 3, pp. 73-87.
RIOU (C.) – 1972 – Étude de l'évaporation en Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.,* vol. IX, n° 2, pp. 3-31.
RIOU (C.) – 1975 – La détermination pratique de l'évapotranspiration – Application à l'Afrique Centrale. Mém. ORSTOM n° 80, Paris.
ROCHE (M.F.) – 1972 – Hydrologie de Surface. Gauthier-Villars, ORSTOM, Paris, 403 p.
ROCHE (M.F.) – 1963 – « Chutes Gauthiot – Campagne hydrologique 1961 ». ORSTOM, Paris, 106 p.
ROCHE (M.F.), OLIVRY (J.C.) – 1966 – Données hydrologiques préliminaires pour trois aménagements de Madagascar : Vohitra à Rogez, Ikopa à Ranomafana, Ivondro à Volobe. ORSTOM-EDF, Paris, 50 p.
ROCHE (M.F.) – 1968 – Traitement automatique des données hydrométriques au Service Hydrologique de l'ORSTOM. *Cah. ORSTOM,* Sér. Hydrol., vol. V, n° 3, 119 p.
ROCHETTE (C.) – 1958 – Rapport préliminaire sur l'étude hydrologique analytique des bassins versants du Nord-Cameroun. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 24 p. + graph.
ROCHETTE (C.) – 1959a – Étude du ruissellement et de l'érosion sur les sols noirs de la région de Bafoussam (Cameroun Occidental). (Troisième Conférence Interafricaine des Sols à Dalaba du 2 au 12 novembre 1959.) ORSTOM, Paris.
ROCHETTE (C.) – 1959b – Résultats sommaires sur l'érosion des terres noires du pays bamiléké. ORSTOM, Yaoundé, 4 p.
ROCHETTE (C.) – 1960a – La Sanaga à Edéa. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 19 p. + graph.
ROCHETTE (C.), BOUCHARDEAU (A.) – 1960b – Étude du Logone et des défluents camerounais. ORSTOM-CRT.
ROCHETTE (C.) – 1961 – Étude de la rive gauche du Logone. ORSTOM-CRT, 13 p.
ROCHETTE (C.) – 1966 – Révalorisation des relevés anciens de la Sanaga à Edéa. ORSTOM-EDF, Igeco, Paris, 9 p. + graph.
RODIER (J.), BRUNET-MORET (Y.) – 1963 – Étude du ruissellement sur le plateau de l'Adamaoua (Bounjouk). ORSTOM, Paris, 52 p. + graph.
RODIER (J.) – 1964 – Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo. ORSTOM, Paris, 137 p. + graph. + photos.
RODIER (J.) – 1965a – Crues décennales sur les petits bassins de Boundjouk, petit Bounjouk, Rem, Mbidou. ORSTOM, Paris, 5 p.

RODIER (J.), AUVRAY (C.) – 1965b – Estimation des débits de crue décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale. ORSTOM-CIEH, Paris, 30 p. + 13 fig.

RODIER (J.) – 1967a – Données sommaires sur les régimes hydrologiques du Cameroun. EDF-ORSTOM, Paris, 17 p.

RODIER (J.) – 1967b – Études hydrologiques de quelques rivières du Cameroun Occidental en vue d'aménagement hydro-électrique. EDF-ORSTOM.

RODIER (J.) – 1967c – Les déversements du Logone vers la Bénoué. Extrait de Terres et Eaux, vol. XIX, n° 49, 17 p.

RODIER (J.) – 1975 – L'hydrologie des régions sahéliennes et la sécheresse 1968-1973. Études Scientifiques I.H.S.-E.P.P.J., Le Caire.

RODIER (J.) – 1977 – Détermination des débits de crue pour de petits bassins en Afrique Occidentale. *In :* Proceedings of a Symposium on Flood Hydrology held in Nairobi in october 1975. TRRL supplementary Report 259, Crowthorne Berkshire, pp. 230-256.

Sanaga à Song-Loulou – 1969 – Campagne 1968. ORSTOM, Yaoundé.

SECHET (P.) – 1972 – Exploitation de la retenue de Mbakaou – Saison sèche 1972 – Note hydrologique. Yaoundé, 29 p. + 27 graph.

SECHET (P.) – 1973a – Exploitation de la retenue de Mbakaou – Saison sèche 1973 – Note hydrologique. Yaoundé, 37 p. + 20 graph.

SECHET (P.) – 1973b – Étude hydrologique du Nyong à Njock et la Sanaga à Nachtigal – Note complémentaire. Yaoundé, 43 p. + 37 graph.

SEGALEN (P.) – 1957 – Les Sols du Cameroun. *In :* Atlas du Cameroun. ORSTOM.

SEGALEN (P.) – 1967 – Les sols et la géomorphologie du Cameroun. *In : Cah. ORSTOM, sér. Pédol.,* vol. V, n° 2, pp. 137-188.

SERVANT (M.) – 1973 – Séquences Continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cenozoïque supérieur. Thèse Univ. Paris VI, 348 p.

SCHWOERER (P.) – 1965 – Notice explicative sur la feuille Garoua-Est –Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Yaoundé, 61 p.

SIEFFERMAN (G.) – 1966 – Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Mémoires ORSTOM n° 66, Paris, 183 p.

SUCHEL (J.B.) – 1972 – La répartition et les régimes pluviométriques au Cameroun – Travaux et documents de géographie tropicale n° 5. CEGET-CNRS, Bordeaux, 283 p. + 94 fig.

SUCHEL (J.B.) – En préparation – Régimes Climatiques du Cameroun.

Summary of meteorological data – 1975 – Institut of perennal crops. Ekona, 25 p.

TILHO (Gal. J.) – 1947 – Le Tchad et la capture du Logone par le Niger. Gauthier-Villars, Paris, 202 p.

TILLEMENT (B.) – 1970 – Hydrogéologie du Nord-Cameroun. Bull. Dir. Mines Géol. n° 6, Yaoundé, 300 p.

TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.) – 1958 – Amélioration de la navigabilité de la Bénoué – Rapport définitif des campagnes 1954, 1955, 1956. EDF, Paris, 76 p. + graph.

TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.) – 1969 – Monographie hydrologique du Lac Tchad. ORSTOM, Paris, 3 tomes.

TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.) – 1969 – Note hydrologique sur l'El Beïd et la Komadougou-Yobe. ORSTOM, Paris, 57 p.

VALLERIE – 1968 – Carte pédologique du Cameroun Occidental au 1/1 000 000. ORSTOM, Yaoundé, 70 p. + 1 c. H.T.

VAN DEN HENDE (R.) – 1969 – Notice explicative sur la feuille Abong-Mbang Est – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines géol. Cameroun, Yaoundé, 39 p.

WAKUTI (Bureau) – 1968 – Études hydrogéologiques au Nord-Cameroun – Bassin de la Bénoué. Ministère du Plan et du Développement, Yaoundé.

WEECKSTEEN (G.) – 1957 – Notice explicative sur la feuille Douala-Est – Carte géologique au 1/500 000. Dir. Mines Géol. Cameroun, Yaoundé, 42 p.

YAYER (J.) – 1963 – Monographie du Nyong et aménagement Nations-Unies. Yaoundé, 2 vol. 113 + 25 p.

Table des figures

N^{os}		Pages
1.1	Résumé de l'histoire géologique du Cameroun	11
1.2	Coupe géomorphologique schématique du Cameroun suivant un axe SSW-NNE	14
1.3	Situation des centres d'action et état du temps en janvier et juillet en Afrique	23
1.4a	Coupe schématique nord-sud en août de la Troposphère au-dessus de l'Afrique	24
1.4b	Schéma simplifié des zones de temps pour différentes saisons au Cameroun	24
1.5	Les régions climatiques du Cameroun	25
1.6	Carte de situation des postes pluviométriques du Cameroun	27
1.7	Histogrammes moyens de la région du Mont Cameroun et leur extrapolation en altitude	29
1.8	Amplitude thermique diurne moyenne	36
1.9	Amplitude thermique annuelle moyenne	37
1.10	Cartes mensuelles de l'ETP	39
1.11	Climats anciens probables	40
1.12	Les différentes unités hydrographiques	49

Planches couleur 1re Partie

P. 1	Esquisse géologique du Cameroun
P. 2	Les grands traits de la géomorphologie du Cameroun
P. 3	Esquisse pédologique du Cameroun
P. 4	Schéma phytogéographique du Cameroun
P. 5	Esquisse des isohyètes interannuelles du Cameroun
P. 6	Exemples d'histogrammes représentatifs de différentes régions du Cameroun
P. 7	Variations latitudinales des précipitations mensuelles moyennes au Cameroun
P. 8	Esquisses des courbes d'égales précipitations journalières de probabilité annuelle
P. 9 et P. 10	Précipitations journalières de fréquence rare – Probabilité décennale et centennale
P. 11	Température moyenne annuelle
P. 12	Humidité relative moyenne annuelle
P. 13	Insolation moyenne annuelle probable
P. 14	Évapotranspiration potentielle – Valeurs annuelles en mm
P. 15	La place du Cameroun dans l'hydrographie de l'Afrique
P. 16	Réseau hydrométrique du Cameroun

N^{os}		Pages
2.1	Hydrographie générale du Nyong et des fleuves côtiers	56
2.2	Phytogéographie des bassins du Nyong et des fleuves côtiers	57
2.3	Esquisse géologique de la région étudiée	61
2.4	Esquisse pédologique	64
2.5	Fréquences moyennes annuelles des vents de surface selon les huit directions principales	69
2.6	Fréquence moyenne mensuelle de la direction des vents pour les mois de janvier, avril, juillet, octobre aux stations de Douala, Kribi, Yaoundé	69
2.7	Variations mensuelles des températures maximales, moyennes et minimales	72
2.8	Variations spatiales des températures et de leurs amplitudes	73
2.9	Variations mensuelles de l'humidité relative à 12 h	75
2.10	Tension de vapeur	75
2.11	Humidité relative moyenne annuelle	76
2.12	Tension de vapeur en mb	76
2.13	Évaporation Piche en mm	76
2.14	ETP annuelle (Turc, mm)	76
2.15	Variation de l'évaporation Piche	79
2.16	Variation de l'ETP calculée selon Turc	79
2.17	Corrélation entre ETP calculée (Turc) et Piche pour 3 stations	81
2.18	Insolation moyenne annuelle probable	81
2.19	Distribution normale des précipitations annuelles de quelques stations	84
2.20	Esquisse des isohyètes interannuelles pour la période 1937-1977 (40 ans) sur le bassin du Nyong et des fleuves côtiers	92
2.21	Histogrammes moyens des précipitations mensuelles	93
2.22	Histogrammes moyens des précipitations mensuelles (suite)	94
2.23	Variations mensuelles du C_V des précipitations mensuelles	95
2.24	Analyse fréquentielle des précipitations journalières	96
2.25	Courbes d'égales hauteurs de précipitation journalière de probabilité donnée	97
3.1	Réseau hydrométrique	101
3.2	Réseau hydrographique	101
3.3	Les zones de capture du Nyong supérieur	106
3.4	Le Nyong – Zone des chutes	107
3.5	Caractéristiques de forme des bassins du Nyong	110
3.6	Profil général du Nyong	113
3.7a	Profil en long du Nyong et de ses affluents	115
3.7b	Le Nyong et ses affluents principaux	116
3.8	Nyong à Abong Mbang – Courbes des débits mensuels d'après leur fréquence	120
3.9	Comparaison des amplitudes du niveau du Nyong à Abong Mbang et Ayos	120
3.10	Le Nyong à Ayos – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	122

N[os]		Pages
3.11	Nyong à Akonolinga – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	124
3.12	Nyong à Mbalmayo – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	126
3.13	Le Nyong à Olama – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	128
3.14	Le Nyong à Kaya – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	130
3.15	Le Nyong à Eséka – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	132
3.16	Le Nyong à Dehane – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	134
3.17	Méfou à Etoa – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	136
3.18	Méfou à Nsimalen – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	138
3.19	Irrégularité interannuelle des débits mensuels observés aux cinq stations principales du Nyong	140
3.20	Débits journaliers en m^3/s correspondant à diverses fréquences (de dix en dix jours)	140
3.21	Exemples de tarissement sur quelques stations du Nyong	143
3.22	Exemples de tarissement sur le Nyong à Dehane	144
3.23	Comparaison des étiages de grande et petite saison sèche – Ayos et Akonolinga	144
3.24	Comparaison des étiages de grande et petite saison sèche : Mbalmayo, Dehane, Eséka, Méfou à Etoa	145
3.25	Étude fréquentielle de la date d'apparition des étiages de grande saison sèche à Ayos, Akonolinga, Mbalmayo et Olama	147
3.26	Date d'apparition des étiages de grande saison sèche	148
3.27	Évolution des étiages absolus sur la période d'observation à Mbalmayo et Dehane	149
3.28	Étiages absolus du Nyong à Akonolinga et Ayos – Distribution statistique	150
3.29	Étiages absolus du Nyong à Mbalmayo – Distribution statistique	152
3.30	Étiages absolus du Nyong à Eséka – Distribution statistique	152
3.31	Étiages absolus du Nyong à Dehane	153
3.32	Débits spécifiques d'étiage et superficie des bassins (Nyong)	155
3.33	Relations entre étiages absolus de station à station voisine sur le Nyong	157
3.34	Évolution des débits maximums annuels du Nyong sur la période d'observations	159
3.35	Distribution statistique des crues du Nyong à Akonolinga	160
3.36	Distribution statistique des crues du Nyong à Mbalmayo	160
3.37	Distribution statistique des crues du Nyong à Eséka	161
3.38	Distribution statistique des crues du Nyong à Dehane	161
3.39	Débits spécifiques des crues médiane et décennale en fonction des précipitations reçues à l'aval des bassins	165
3.40	Débits maximums spécifiques et superficie des bassins du Nyong	165
3.41	Débits caractéristiques de crue du Nyong et superficie des bassins	167
3.42	Variations des modules du Nyong aux 3 stations principales sur la période d'observations	168
3.43	Modules du Nyong à Akonolinga	171
3.44	Modules du Nyong à Mbalmayo	171
3.45	Modules du Nyong à Eséka	171
3.46	Modules du Nyong à Dehane	171
3.47	Variations des modules spécifiques et des coefficients d'écoulement du Nyong en fonction de la superficie des bassins	174
3.48	Corrélations hydropluviométriques à Mbalmayo et Dehane	176
3.49	Bilan hydrique mois par mois sur le Nyong	181
4.1	Bassin et profil en long de la Lokoundje	186
4.2	Lokoundje à Lolodorf – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	187
4.3	Distribution statistique sur la Lokoundje à Lolodorf	189
4.4	Bassins versants de la Kienké et de la Lobé à Kribi	190
4.5	Profils en long de la Kienké et de la Lobé	192
4.6	Débits de la Kienké à Kribi	194
4.7	Débits de la Lobé à Kribi	196
4.8	Études fréquentielles de la Kienké et de la Lobé	199
4.9	Bassin du Ntem	202
4.10	Profil en long du Ntem et de quelques affluents	203
4.11	Variations de l'hydraulicité du Ntem à Ngoazik sur la période d'observations. Hydrogrammes et débits caractéristiques	205
4.12	Seng à Assosseng – Débits moyens journaliers, mensuels et débits caractéristiques	207
4.13	Étude fréquentielle des modules et des débits extrêmes du Ntem à Ngoazik	209
4.14	Réseau hydrographique du bassin versant du Wouri	214
4.15	Relief du bassin et profil en long du Wouri	215
4.16	Débits du Wouri à Yabassi	218
4.17	Débits du Nkam à Melong	220
4.18	Le Nkam à Melong – Abaque de prévision des débits du tarissement moyen	222
4.19	Étude fréquentielle des débits du Wouri et du Nkam	225
4.20	Le Wouri à Yabassi – Bilan mois par mois	227
4.21	Bassin versant, profil en long et hypsométrie du Mungo	228
4.22	Débits du Mungo à Mundame	230
4.23	Étude fréquentielle des débits du Mungo à Mundame	232

N[os]		Pages
4.24	Bilan des apports hydriques annuels dans l'estuaire et la mangrove du Wouri	235
4.25	Bassin versant de la Cross River	240
4.26	Profil en long de la Cross River à Mamfé	240
4.27	Débits de la Cross River à Mamfé	242
4.28	Comparaison du régime et des apports des différents tributaires de la façade océanique du Cameroun	244
4.29	Écoulement et précipitations sur le Nyong et les fleuves côtiers	246
4.30	Étiages spécifiques absolus et précipitations annuelles	251
4.31	Débits spécifiques de crue, superficie des bassins versants et précipitations annuelles	253
4.32	Débits spécifiques médians de crue et morphologies des bassins	254
4.33	Étiages, modules et crues spécifiques du Nyong et fleuves côtiers	255
5.1	Bassin de la Sanaga	264
5.2	Profil en long de la Sanaga et de ses affluents	271
5.3.	Profil en long du Mbam	272
5.4	Carte phytogéographique du bassin de la Sanaga	275
5.5	Répartition des températures minimales moyennes annuelles	288
5.6	Répartition des températures maximales moyennes annuelles	288
5.7	Variations des températures moyennes mensuelles	290
5.8	Variations des températures moyennes mensuelles	291
5.9	Variations mensuelles de l'humidité relative à 12 h.	292
5.10	Humidité relative moyenne annuelle à 12 h.	292
5.11	Variations de l'insolation moyenne mensuelle	296
5.12	Variations de l'insolation moyenne mensuelle	296
5.13	Histogrammes moyens des précipitations mensuelles	302
5.14	Histogrammes moyens des précipitations mensuelles	303
5.15	Lignes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité : une fois en 2 ans	307
5.16	Lignes d'égales hauteurs journalières ponctuelles de probabilité : une fois en 10 ans	307
6.1	Le bassin de la Sanaga	310
6.2	Hypsométrie du bassin de la Sanaga	312
6.3	Débits mensuels et caractéristiques (valeurs médianes, quartiles et extrêmes)	338
6.4	Exemples d'hydrogrammes annuels	339
6.5	Exemples d'hydrogrammes annuels	340
6.6	La Sanaga à Édéa	341
6.7	Étude du tarissement sur le bassin de la Sanaga	343
6.8	Évolution du débit minimal sur la période 1943-44 à 1969-70	346
6.9	Répartition des fréquences d'apparition du débit minimal annuel	346
6.10	Étude fréquentielles des étiages absolus	348
6.11	Évolution de l'étiage absolu médian	350
6.12	Répartition des fréquences d'apparition du débit maximal annuel	353
6.13	Distribution statistique des crues	355
6.14	Distribution statistique des crues (Lom à Bétaré Oya)	356
6.15	Variation du débit de crue décennal en fonction de la superficie du bassin versant	356
6.16	Débits spécifiques de crue de fréquences annuelle et decennale et superficies des bassins versants	359
6.17	Distribution statistique des modules – Sanaga à Édéa	361
6.18	Distributions statistiques des modules : Meng à Tibati et Sanaga à Nanga-Eboko	362
6.19	Modules spécifiques et superficie des bassins	364
6.20	Variation de la lame écoulée et de son écart-type en fonction de la superficie du bassin versant	370
6.21	Lame écoulée moyenne et longueur du rectangle équivalent des différents bassins	371
6.22	Lame écoulée et hauteur pluviométrique annuelle	371
6.23	Variations du déficit d'écoulement en fonction de l'altitude moyenne et de la hauteur de précipitations annuelles des bassins versants	374
6.24	Comparaison des ajustements statistiques sur les échantillons de données anciennes et actualisées	378
6.25	Régularisation du Mbam et de la Sanaga par les barrages-réservoirs de Bamendjing et Mbakaou	380
6.26	Exploitation des réservoirs de Mbakaou et Bamendjing	381
7.1	Bassin versant de la Sangha à Ouesso	384
7.2	Sangha à Ouesso – Profil en long	388
7.3	Profil en long du Dja, la Boumba et la Ngoko	390
7.4	Vents et précipitations annuelles sur le bassin de la Sangha	392
7.5	Bassin de la Sangha – Précipitations moyennes mensuelles	396
7.6	Schéma du réseau hydrologique du bassin de la Sangha	397
7.7	Exemples d'hydrogrammes annuels – Dja à Somalomo	402
7.8	Exemples d'hydrogrammes annuels – Dja à Ngbala	406
7.9	Exemples d'hydrogrammes annuels – Kadéi à Batouri	414
7.10	Exemples d'hydrogrammes annuels – Kadéi à Pena	417
7.11	Exemples d'hydrogrammes annuels – Sangha à Ouesso	423
7.12	Bassins de la Sangha – Débits classés et débits moyens annuels	424
7.13	Analyse fréquentielle des étiages absolus	428
7.14	Analyse fréquentielle des maximums de crue	433
7.15	Maximums de crue médians et superficie des bassins versants	435
7.16	Analyse fréquentielle des modules sur le bassin de la Sangha	438

N[os]		Pages
7.17	Modules moyens et superficie des bassins . .	441
7.18	Corrélations entre modules	442
7.19	Répartition des apports entre différents tributaires	443
8.1	Les tributaires camerounais de la Bénoué inférieure	448
9.1	Vents de surface – Fréquences moyennes annuelles selon les huit directions principales	470
9.2	Fréquence moyenne mensuelle de la direction des vents pour janvier, avril, juillet et octobre	471
9.3	Variation des températures moyennes à Garous et Ngaoundéré	474
9.4	Variation des températures moyennes mensuelles à Ndjaména et Maroua-Salak	475
9.5	Variations mensuelles de l'humidité relative	478
9.6	Variations mensuelles de la tension de vapeur	478
9.7	Évaporation Piche mensuelle	479
9.8	Esquisse Isohyètes interannuelles du Nord-Cameroun	484
9.9	Distribution normale des précipitations annuelles des stations du Nord-Cameroun .	485
9.10	Histogrammes des précipitations mensuelles du Nord-Cameroun	486
10.1	Bassin de la Bénoué	490
10.2	Profil en long : Bénoué et principaux affluents	492
10.3	Profil en long Mayo Kébi et affluents ...	495
10.4	Profils hypsométriques du bassin de la Bénoué	500
10.5	Débits moyens journaliers : Bénoué à Riao	503
10.6	Débits moyens journaliers : Mayo-Kébi à Cossi	507
10.7	Débits moyens journaliers : Bénoué à Garoua	511
10.8	Courbes des débits moyens mensuels ...	516
10.9	Courbes de tarissement	520
10.10	Analyse fréquentielle des maximums de crue sur le bassin de la Bénoué	524
10.11	Analyse fréquentielle maximum de crue .	525
10.12	Maximums de crue sur le bassin de la Bénoué et superficie des bassins	525
10.13	Analyse fréquentielle des modules sur le bassin de la Bénoué	530
10.14	Évolution interannuelle des modules de la Bénoué à Garoua	531
10.15	Modules spécifiques et hauteurs annuelles de précipitations – Correction des écarts par la longueur du rectangle équivalent .	533
10.16	Différences entre débits composants à Riao et Cossi et débits résultants à Garoua	537
10.17	Modification prévisible des crues de la Bénoué en aval de Lagdo	539
10.18	Carte de situation du réseau de la Bénoué en aval de Lagdo	540
10.19	Profils de la Bénoué entre Lagdo et la frontière nigérianne pour des variations de débits extrêmes	541
11.1	Hydrographie des bassins de la Vina du Nord et de la Mbéré	544
11.2	Profil en long des tributaires camerounais du Logone Supérieur	547
11.3	Étude fréquentielle des débits de la Bini et de la Mbéré	557
11.4	Tsanaga à Bogo	559
11.5	Évolution comparée des débits du Logone en 1953	569
11.6	Exemples d'hydrogrammes annuels de l'El Beïd à Tilde	573
11.7	Exemples d'hydrogrammes annuels de l'El Beïd à Fotokol	574
11.8	Les eaux du Logone, le Nord-Cameroun et bilan hydrologique	578
12.1	Lame écoulée et précipitations	584
Figures couleurs		
12.2	Lame écoulée, coefficient d'écoulement et latitude	
12.3	K^3 des Modules	
12.4	Abondance de l'écoulement et variabilité interannuelle comparées dans les différentes régions du Cameroun	
12.5	Variation en latitude des principaux termes du bilan hydrologique	
12.6	Distribution géographique des modules spécifiques ($1/s.km^2$) au Cameroun	
12.7	Modules interannuels des principales stations étudiées (m^3/s)	
12.8	Étiages absolus spécifiques ($1/s.km^2$)	
12.9	Maximums de crue spécifiques médians et superficies des bassins	
12.10	Maximums de crue caractéristiques au Cameroun	

Liste des tableaux

N[os]		Pages
1.1	Les régions océaniques (précipitations journalières)	32
1.2	Les régions montagneuses de l'Ouest et de l'Adamaoua (précipitations journalières)	32
1.3	Régions du Centre Sud et de l'Est (précipitations journalières)	33
1.4	Régions du Nord (précipitations journalières)	33
1.5a	Réseau hydrométrique du Cameroun	44
1.5b	Réseau hydrométrique du Cameroun (suite)	45
2.1	Liste des stations météorologiques	67
2.2	Vitesses des vents aux diverses stations	68
2.3	Températures	70
2.4	Températures (suite et fin)	71
2.5	Humidité relative en %	74
2.6	Tension de vapeur en millibars	77
2.7	Évaporation Piche en mm	78
2.8	Évapotranspiration potentielle calculée (L. Turc)	79
2.9	Insolation	80
2.10	Répartition statistique des pluies annuelles	83
2.11	Hauteurs de précipitation interannuelles (1937-76) en mm	85
2.12	Répartition statistique des pluies mensuelles	86
2.13	Répartition statistique des pluies mensuelles	87
2.14	Répartition statistique des pluies mensuelles	88
2.15	Répartition statistique des pluies mensuelles	89
2.16	Répartition statistique des pluies mensuelles	90
2.17	Hauteurs de précipitations journalières de récurrences données (Pearson III)	91
3.1	Stations hydrométriques du bassin du Nyong	102
3.2	Caractéristiques de forme du bassin du Nyong à diverses stations	108
3.3	Caractéristiques de formes des principaux affluents du Nyong	109
3.4	Hypsométrie des bassins du Nyong	109
3.5	Indices de pentes	111
3.6	Profils en long	111
3.7	Caractéristique du bassin de l'amont vert l'aval. Gain de superficie du bassin versant	112
3.8	Coefficients de Thiessen	113
3.9	Hauteurs des précipitations moyennes reçues pendant l'année hydrologique sur les bassins du Nyong depuis 1950	114
3.10	Précipitations moyennes annuelles	115
3.11	Précipitations moyennes sur la période d'observations hydraulogiques	116
3.11a	Hauteurs caractéristiques du Nyong à Abong Mbang	119
3.12	Débits moyens mensuels et annuels en m^3/s	121
3.13	Nyong à Ayos – Débits caractéristiques	121
3.14	Nyong à Akonolinga – Débits moyens mensuels	123
3.15	Nyong à Akonolinga – Débits caractéristiques	123
3.16	Débits moyens mensuels du Nyong à Mbalmayo	125
3.17	Débits caractéristiques du Nyong à Mbalmayo	125
3.18	Nyong à Olama – Débits moyens mensuels et annuels	127
3.19	Nyon à Olama – Débits caractéristiques	127
3.20	Nyong à Kaya – Débits moyens mensuels et annuels	129
3.21	Nyong à Kaya – Débits caractéristiques	129
3.22	Nyong à Eséka – Débits moyens mensuels et annuels	131
3.23	Nyong à Eséka – Débits caractéristiques	131
3.24	Nyong à Dehane – Débits moyens mensuels et annuels	133
3.25	Nyong à Dehane – Débits caractéristiques	133
3.26	Méfou à Etoa – Débits moyens mensuels et annuels	135
3.27	Méfou à Etoa – Débits caractéristiques	135
3.28	Méfou à Nsimalen – Débits moyens et annuels	137

N[os] Pages

3.29 Méfou à Nsimalen – Débit caractéristiques 137
3.30 Irrégularité saisonnière 139
3.31 Récapitulation des données de base caractéristiques sur le B.V. du Nyong 140
3.32 Coefficients de tarissement sur le bassin du Nyong 142
3.33 Étiages minimums de grande et petite saison sèche 146
3.34 Moyennes observées des étiages du Nyong et écarts-types correspondants 146
3.35 Date d'apparition du minimum de petite saison sèche 146
3.36 Date d'apparition du minimum de grande saison sèche 147
3.37 Études statistiques des étiages absolus des stations du Nyong et valeurs calculées pour
à 3.42 différentes périodes de retour 149, 151, 152
3.43 Étiages absolus du Nyong – Récapitulation de l'étude statistique 154
3.44 Relations entre étiage absolu et débits caractéristiques d'étiage 156
3.45 Date d'apparition des maximums annuels 157
3.47 Études statistiques des maximums de crue des stations du Nyong et valeurs calculées pour
à 3.51 différentes périodes de retour 158-160-161-162-163
3.52 Récapitulation de l'étude des débits maximums annuels sur le BV du Nyong 163
3.53 Débits spécifiques de crue et hauteur interannuelle de précipitations mensuelles cumulées 164
3.54 Relation entre débit maximum et débits caractéristiques de crue 166
3.55 Rapport QMAX/DCC 167
3.56 Études statistiques des modules station par station sur le bassin du Nyong
à 3.66 169-170-172
3.67 Récapitulation de l'étude statistique des modules 172
3.68 Intervalles de confiance 173
3.69 Prédétermination des modules à Olama et Kaya 173
3.70 Corrélations entre les stations du Nyong 173
3.71 Coefficients d'écoulement et déficit d'écoulement 177
3.72 Bilan mois par mois sur le Nyong 179
3.73 Évolution des réserves 180
3.74 Rapports entre modules, étiages et maximum de crue 180
4.1 Lokoundje à Lolodorf – Débits moyens mensuels et annuels 184
4.2 Lokoundje à Lolodorf – Débits caractéristiques 185
4.3 Études statistiques des étiages absolus, maximums de crue et modules de la Lokoundje à Lolodorf
à 4.9 187-188-189
4.10 Kienke à Kribi : Débits moyens mensuels et annuels 193
4.11 Kienke à Kribi : Débits caractéristiques 193
4.12 Lobe à Kribi – Débits moyens mensuels et annuels 195
4.13 Lobe à Kribi – Débits caractéristiques 195
4.14 Études statistiques de étiages, maximums de crue et modules de la Kienke et de la Lobe
à 4.22 197-198-200
4.23 Ntem à Ngoazik – Débits moyens mensuels et annuels 204
4.24 Ntem à Ngoazik – Débits caractéristiques 204
4.25 Seng à Assoseng – Débits moyens mensuels et annuels 206
4.26 Seng à Assoseng – Débits caractéristiques 206
4.27 Études statistiques des étiages, maximums de crue et modules du Ntem et du Seng
à 4.34 208-209-210-211
4.35 Caractéristiques des régimes hydrologiques au sud du Nyong 212
4.36 Wouri à Yabassi : Débits moyens mensuels et annuels 217
4.37 Wouri à Yabassi : Débits caractéristiques 217
4.38 Nkam à Melong – Débits moyens mensuels et annuels 219
4.39 Nkam à Melong – Débits caractéristiques 219
4.40 Études statistiques des étiages, maximums de crue et modules du Wouri et du Nkam
à 4.47 222-223-224
4.48 Bilan mois par mois pour le Wouri à Yabassi 227
4.49 Mungo à Mundame – Débits moyens mensuels et annuels 229
4.50 Mungo à Mundame – Débits caractéristiques 229
4.51 Études statistiques des valeurs extrêmes et des modules du Mungo
à 4.54 231-232
4.55 Bilan des apports à l'estuaire du Wouri et volumes mensuels des apports fluviatiles,
à 4.58 des précipitations et globaux 234
4.59 Étiages de la Sauje à Idenau 236
4.60 Débits moyens mensuels de l'Ombe River 238

Nos		Pages
4.61	Débit moyens mensuels de le Meme à Bai	239
4.62	Cross-River à Manfe – Débits moyens mensuels et annuels	241
4.63	Étiages de la Cross-River	241
4.64	Maximums de crue de la Cross-River	243
4.65	Modules de la Cross-River	243
4.66	Volumes des apports des fleuves côtiers et de la Sanaga	245
4.67	Comparaison des valeurs caractéristiques	247
4.68	Bilan de l'écoulement dans la région	248
4.69	Comparaison des paramètres caractéristiques du régime des basses-eaux	250
4.70	Comparaison des paramètres caractéristiques du régime des hautes-eaux	252
5.1	Caractéristiques principales du réseau hydrographique	270
5.2a	Caractéristiques des stations pluviométriques et météorologiques	283
5.2b	Caractéristiques des stations pluviométriques et météorologiques (suite)	283
5.3	Vitesse des vents en pourcentages	284
5.4	Direction des vents	285
5.5	Températures	286
5.6	Températures (suite)	287
5.7	Températures extrêmes	289
5.8	Humidité relative	293
5.9	Humidité moyenne	294
5.10	Tension de vapeur	295
5.11	Évaporation Piche (mm)	297
5.12	Évaporation sur bac Colorado type ORSTOM (mm/j)	297
5.13	Évaporation sur bac de Classe « A » (mm/j)	298
5.14	Insolation	298
5.15	Répartition statistique des pluies annuelles	299
5.16a	Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (mm) sur la période d'homogénéisation	300
5.16b	Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (mm) sur la période d'homogénéisation (suite)	301
5.17a	Valeurs classées des pluviométries mensuelles (mm)	304
5.17b	Valeurs classées des pluviométries mensuelles (mm)	305
5.18	Précipitations journalières (mm)	306
6.1	Caractéristiques de forme des bassins	311
6.2	Rappel des valeurs moyennes des débits mensuels et annuels avant mise en service des ouvrages de régularisation	314
6.3	Idem pour les débits caractéristiques	315
6.4	Mape au pont de Magba amont – Débits moyens mensuels et annuels	316
6.5	Mape à Magba – Débits caractéristiques	317
6.6	Mbam à Mantoum – Débits moyens mensuels et annuels	318
6.7	Mbam à Mantoum – Débits caractéristiques	319
6.8	Metchié aux Chutes – Débits moyens mensuels et annuels	320
6.9	Metchié aux Chutes – Débits caractéristiques	321
6.10	Noum à Bamendjing – Débits moyens mensuels et annuels	322
6.11	Mbam à Goura – Débits moyens mensuels et annuels	323
6.12	Mbam à Goura – Débits caractéristiques	324
6.13	Vina Sud au Lahore – Débits moyens mensuels et annuels	325
6.14	Vina Sud au Lahore – Débits caractéristiques	326
6.15	Djerem à Mbakaou – Débits moyens mensuels et annuels	327
6.16	Lom à Bétaré Oya – Débits moyens mensuels et annuels	328
6.17	Lom à Bétaré Oya – Débits caractéristiques	329
6.18	Téré à Ndoumba – Débits moyens mensuels et annuels	330
6.19	Téré à Ndoumba – Débits caractéristiques	331
6.20	Ndjéké à Ngongon – Débits moyens mensuels et annuels	332
6.21	Ndjéké à Ngongon – Débits caractéristiques	333
6.22	Sanaga à Nachtigal – Débits moyens mensuels et annuels	334
6.23	Sanaga à Nachtigal – Débits caractéristiques	335
6.24	Sanaga à Edéa – Débits moyens mensuels et annuels	336
6.25	Sanaga à Edéa – Débits caractéristiques	337
6.26	Valeurs moyennes des coefficients de tarissement	344
6.27	Date d'apparition du débit minimal annuel	346
6.28	Fréquence d'apparition du débit minimal annuel (%)	347
6.29	Valeurs remarquables de l'étiage absolu annuel	347
6.30	Relations entre étiages de différentes stations	349
6.31	Coefficients de corrélation entre le débit d'étiage absolu et les débits caractéristiques	351

N[os]		Pages
6.32	Rapports entre les médianes des étiages absolus et les débits caractéristiques (et paramètres 31a)	351
6.33	Date d'apparition du débit maximal annuel	352
6.34	Débits journaliers maximums annuels aux stations du bassin de la Sanaga	353
6.35	Fréquence d'apparition du débit maximal (%)	354
6.35a	Estimation de la crue décennale	354
6.35b	Paramètre des lois de distribution des crues maximales annuelles	357
6.35c	Paramètres des lois de distribution de crues	357
6.36	Maximums de crues remarquables	358
6.37	Variation du rapport : Crue centennale Crue décennale suivant la superficie du bassin	360
6.37a	Modules : Paramètres des lois de distribution	360
6.38	Modules correspondant à des périodes de retour données	363
6.39	Débits spécifiques des valeurs moyennes et de récurrence décennale des modules	363
6.40	Corrélation entre hauteur moyenne de précipitation annuelle et la lame d'eau annuelle écoulée (mm)	365
6.41	Corrélation entre lames écoulées annuelles à partir de la station d'Edea	366
6.42	Étude des modules – Valeurs des principaux paramètres étudiés	369
6.42a	Comparaison des modules minimums avec ceux observés lors de la récente sécheresse	369
6.43	Déficits et coefficients d'écoulement, valeurs moyennes et extrêmes	373
6.44	Étude fréquentielle des modules	376
6.44a	Différences entre débits moyens des régimes naturel et régularisé	379
7.1	Températures moyennes mensuelles	389
7.2	Répartition statistique des hauteurs de précipitations annuelles	393
7.3a	Précipitations mensuelles et annuelles sur le bassin de la Sangha	394
7.3b	Précipitations mensuelles et annuelles sur le bassin de la Sangha (suite)	395
7.4	Averses journalières de différentes périodes de retour	395
7.4a	Caractéristiques de forme des bassins de la Sangha	398
7.5	Dja à Somalomo – Débits moyens mensuels et annuels	400
7.6	Dja à Somalomo – Débits caractéristiques	401
7.7	Dja à Bie – Débits moyens mensuels et annuels	403
7.8	Dja à Fort Soufflay – Débits moyens mensuels et annuels	404
7.9	Dja à Fort Soufflay – Débits caractéristiques	405
7.10	Boumba à Biwala – Débits moyens mensuels et annuels	407
7.11	Boumba à Biwala – Débits caractéristiques	408
7.12	Doumé à Doumé – Débits moyens mensuels et annuels	410
7.13	Doumé à Doumé – Débits caractéristiques	411
7.14	Kadéi à Batouri – Débits moyens mensuels et annuels	412
7.15	Kadéi à Batouri – Débits caractéristiques	413
7.16	Kadéi à Pana – Débits moyens mensuels et annuels	415
7.17	Kadéi à Pana – Débits caractéristiques	416
7.18	Sangha à Salo – Débits moyens mensuels et annuels	418
7.19	Sangha à Salo – Débits caractéristiques	419
7.20	Sangha à Ouesso – Débits moyens mensuels et annuels	421
7.21	Sangha à Ouesso – Débits caractéristiques	422
7.22	Date d'apparition de l'étiage absolu pendant la grande saison sèche	426
7.23	Étude fréquentielle des étiages absolus	427
7.24	Rapport des valeurs médianes de débits caractéristiques d'étiages	429
7.25	Débits spécifiques d'étiages	430
7.26	Date d'apparition du maximum annuel de crue	431
7.27	Étude fréquentielle des maximums de crue	434
7.28	Coefficient de variation et rapport crue centennale – crue décennale	434
7.29	Débits spécifiques de maximums de crue moyens, médians et décennaux	436
7.30	Rapport débit maximum – Débits caractéristiques de crue	436
7.31	Analyse fréquentielle des modules du bassin de la Sangha	439
7.32	Débits spécifiques	440
7.33	Modules des années communes pour Ngbala, Salo et Ouesso	442
7.34	Comparaison valeurs moyennes et modules des stations de Ngbala, Salo et Ouesso	443
7.35	Bilan hydrologique sur le bassin de la Sangha	444
8.1	Station de Bamenda (climatologie)	450
8.2	Situation des postes pluviométriques, nombre d'années d'observation et pluie moyenne	451
8.3	Étude fréquentielle des précipitations annuelles	451
8.4	Répartition mensuelle des précipitations	451
8.5	Caractéristiques des bassins étudiés	452
8.6	Mezam à Mbengwi – Débits moyens mensuels et annuels	453
8.7	Metchum à Gouri – Débits moyens mensuels et annuels	453

N[os]		Pages
8.8	Valeurs extrêmes des étiages et des crues (Metchum à Gouri)	454
8.9	Valeurs extrêmes de la Mezam à Mbengwi	454
8.10	Débits caractéristiques de la Metchum à Gouri	454
8.11	Étude fréquentielle des débits d'étiages de la Metchum à Gouri	455
8.12	Étude fréquentielle des maximums de crue	455
8.13	Débits bruts et spécifiques pour diverses récurrences	456
8.14	Bilan hydrologique interannuel de la Metchum et de la Mezam	456
8.15	Bilan hydrologique mensuel de la Metchum et de la Mezam	457
9.1	Situation des stations pluviométriques	469
9.2	Vitesse des vents et stations d'observation	471
9.3	Températures	472
9.4	Moyennes mensuelles des valeurs d'humidité relative (%)	476
9.5	Variations de la tension de vapeur mensuelle (mb)	476
9.6	Valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation Piche (mm)	477
9.7	Mesures d'évaporation sur bac (mm)	480
9.8	Insolation moyenne mensuelle	481
9.9	Pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations du Nord-Cameroun	482
9.10	Répartition statistique des pluies annuelles	482
9.11	Étude statistique des averses journalières	483
9.12	Répartition statistique des pluies mensuelles	487
9.13	Répartition statistique des pluies mensuelles (suite)	488
10.1	Caractéristiques de forme des bassins versants	498
10.2	Hypsométrie des bassins principaux	499
10.3	Précipitations sur le bassin de la Bénoué	499
10.4	Bénoué à Buffle Noir – Débits moyens mensuels et annuels	501
10.5	Bénoué à Riao – Débits moyens mensuels et annuels	502
10.6	Mayo-Rey à Tchollire – Débits moyens mensuels et annuels	504
10.6	Mayo-Oulo à Golombe – Débits moyens mensuels et annuels	504
10.6	Mayo-Louti à Figuil – Débits moyens mensuels et annuels	504
10.6a		505
10.7	Mayo-Kébi à Cossi – Débits moyens mensuels et annuels	506
10.8	Débits extrêmes à Riao et Mayo Kébi	508
10.9	Bénoué à Garoua – Débits moyens mensuels et annuels	509
10.9a		510
10.10	Bénoué à Garoua – Débits, étiage et maximum absolu	512
10.11	Faro à Safaïe – Débits moyens mensuels et annuels	513
10.12	Débits extrêmes à Buffle Noir et Faro à Safaïe	514
10.13	Valeurs représentatives des débits caractéristiques	515
10.14	Périodes d'étiages ; caractéristiques	519
10.15	Étiages absolus sur le bassin de la Bénoué	521
10.16	Dates et limites des périodes d'étiages	522
10.17	Récapitulation de l'étude fréquentielle des maximums de crue	526
10.18	Tableau récapitulatif de l'étude fréquentielle des modules	532
10.19	Comparaison des modules de Riao, Cossi et Garoua	534
10.20	Distribution mensuelle des débits	535
10.21	Bilan hydrologique	536
11.1	Caractéristiques des bassins versants tributaires du lac Tchad	548
11.2	Débits moyens mensuels et annuels aux stations de la Vina (Rao, Sora Mboum)	548
11.3	Vina Nord au pont de Berem – Débits moyens mensuels et annuels	549
11.4	Vina Nord à Touboro – Débits moyens mensuels et annuels	550
11.5	Valeurs représentatives des débits caractéristiques	550
11.6	Débits extrêmes – Bini à Berem et Vina Nord à Touboro	551
11.7	Mbéré à Mbéré – Débits moyens mensuels et annuels	552
11.8	Mbéré à Mbéré – Étiage absolu et débit maximum	553
11.9	Période d'apparition des étiages	553
11.10	Période d'apparition des maximums de crue	554
11.11	Lames écoulées et bilan hydrologique	556
11.12	Caractéristiques des régimes hydrologiques de la Bini, de la Vina Nord et de la Mbéré	558
11.13	Caractéristiques géométriques du bassin de la Tsanaga	560
11.14	Débits moyens mensuels du Kalliao à Marova	561
11.15	Débits moyens mensuels de la Tsanaga à Marova	561
11.16	Débits moyens mensuels de la Tsanaga à Bogo	562
11.17	Maximums de crue sur la Tsanaga	562
11.18	Débits bruts et spécifiques des crues médiane, quinquenale et décennale du Mayo Tsanaga	563
11.19	Modules de diverses récurrences de la Tsanaga à Bogo	564

N[os]		Pages
11.20	Bilan hydrologique	565
11.21	Bilan mensuel de la Tsanaga à Bogo	565
11.22	Débits moyens mensuels du Logone à Laï (année moyenne)	566
11.23	Débits moyens mensuels du Logone à Bongor (année moyenne)	566
11.24	Logone à Bongor : débits extrêmes	566
11.25	Logone à Bongor : débits moyens mensuels de la période d'observations	567
11.26	Débits caractéristiques	568
11.27	Débits moyens mensuels du Logone à Logone-Birni (année moyenne)	568
11.28	Débits moyens mensuels de l'El Beïd à Fotokol (année moyenne)	572
11.29	Modules de l'El Beïd à Fotokol (1953-1974)	572
11.30	Débits moyens mensuels du Chari à N'Djaména (année moyenne)	575
11.31	Débits moyens mensuels du Serbewel à Maltam (année moyenne)	575
11.32	Caractéristiques hydrologiques du Chari à N'Djaména	576
12.1	Récapitulation des paramètres de l'écoulement sur les bassins étudiés	586
12.2	Comparaison des paramètres mensuels de l'écoulement en régimes équatorial et tropical de transition	587
12.3	Variations saisonnières de l'écoulement sur le Nyong et les fleuves côtiers	590
12.4	Variations saisonnières de l'écoulement sur la Sanaga	591
12.5	Variations saisonnières de l'écoulement sur la Sangha	592
12.6	Variations saisonnières de l'écoulement sur la Bénoué et le bassin du Lac Tchad	593

Index alphabétique des noms géographiques cités

A

Abangok, 105.
Abe, 103.
Abong Mbang, 33, 67, 119.
Açores (anticyclone), 22.
Adamaoua, 8, 9, 12, 13, 15.
Adoua (mayo), 491.
Adoumri, 494.
Afamba (Dja), 45, 387.
Afamba (Nyong), 103.
Akie, 183.
Akok Nzomossi, 203.
Akom II, 59.
Akono, 104.
Akonolinga, 33, 45, 67, 119, 146, 149, 156, 158, 167, 169.
Akoumokeg (v) en, 104.
Akwaya (plateau), 13, 447.
Akwa Yafe, 10, 238.
Akwem (Akwen), 44, 239.
Alantika (Mts), 14, 20.
Alassion, 387.
Alim (mayo), 493.
Amakousou, 8, 465.
Ambam, Pl 7, 29, 33, 67.
Annobon (Ile d'), 9.
Apan, 387.
Ardo Rey (ouro), 494.
Arenaba, 570.
Assosseng, 45, 206, 209, 210, 211.
Ato, 103.
Atok, 103, 105.
Atoufi, 449.
Avea, 268.
Awae, 262.
Awout, 104.
Ayina, 42.
Ayong, 103.
Ayos, 33, 45, 67, 119, 146, 149, 156, 158, 167, 169.
Ayos (série d'), 6.

B

Baboua, 283.
Babouri, 465.
Bafang, 215.
Bafia, 13, 25, 26, 33.
Bafounda, 269, 314, 347, 358.
Bafoussam, 10, Pl 6, 32, 44, 314, 347, 358, 363.
Bafut, 447.
Bagodo, 263.
Bahouan.
Baï, 44, 238.
Ba Illi, 566.
Baïbokoum, 33, 468, 469.
Bakingele, 235.
Bakoï, 103.
Bakossi (Mts), 226.
Bakossi (trouée), 14.
Balda, 464.
Bali, 447.
Baloum, 59.
Bambalang, 269, 347, 358.
Bambili (lacs), 449.
Bamboutos (Mts), 14, 59, 62, 262.
Bambui, 283, 449.
Bamenda (Mts), 13, 14, 62.
Bamenda, Pl 6, 25, 447.
Bamendjin(g), 44, 262, 314, 322, 347, 358, 377.
Bamessing, 44.
Bamiléké (plateau, pays), 13, 14.
Bam Na, 493.
Bamoun (plateau), 13.
Bamoungoum, 44, 269, 314.
Bamusso, 58.
Bana, 9, 59, 62, 262.
Bandja, 385.
Bangangte, 29, 32.
Bangbel, 265.
Bang Na, 493.
Bangue, 389.
Bano(c)k, 44, 269, 314, 347, 358.
Banso, 283.
Bantadje, 497.
Bantso, 262.
Banyo, 13, 25, 29, 32.
Banyo (mayo), 266.
Baouan, 8, 463.
Bape, 262.
Bape (Mts), 267.
Bare, 215.
Bareko, 215.
Barombi Kang, 80.
Batanga, 107.
Bat(s)chenga, 26, 33, 283.
Batchingou, 262.
Batéké (plateau), 430.
Batibo, 239, 447.
Batie (col de), 14.
Batifo.
Batouri, 19, 25, 33, 45, 412, 427, 434, 439.
Bayomen, 44.
Befang, 451.
Bek (Beuk), 389.
Belabo, 261.
Beli, 263.
Belo, 451.
Bengbis (Mbengbis), 387.
Bengwi (cf. Mbengwi), 45, 453.
Benito (rio), - 201.
Beno Tiko, 80.
Bénoué, 12, 13, 25, 42, 45, 489.
Berbérati, 12, 38.
Berem, 45, 545, 549, 558.
Bertoua, 25, 33.
Berare-Bagodo, 263.
Betare Gongo, 44, 314, 347.
Betare Oya, 25, 33, 44, 328, 347, 358, 363, 378.
Biafra (baie de), 14.
Bidzar, 463.
Bi(e), 45, 387, 403, 427, 434, 439.
Bididia, 190.
Bigoe, 497.
Bimbia, 237.
Binder (mayo), 496.
Bingalewoa, 201.
Bini, 45, 543.
Binossi (Mayo), 491.
Bipindi, 63, 184.
Birma (mayo), 493.
Bitam, 36, 37, 67.
Biwala (Bewala), 45, 389, 407, 427, 434, 439.
Biwoume, 100, 201.
Bocaranga, 543.
Boden, 386.
Bogo, 45, 480, 562.
Boki (ouro), 465.
Boki (mayo), 493.
Bolé (série de la), 6.
Bolgui, 496.
Bomana, 236.
Bombi, 283.
Bonabéri, 80.
Bonepoupa, 63, 233.
Bongola, 201.
Bongor, 33, 469, 565, 567.
Bota, 32, 67.
Bouar, 283.
Boubandjida (pays), 8, 20.
Bouboki (massif), 262.
Bouda, 389.
Bouk(h)ma, 493.
Boula (mayo), 558.
Bouloré (Mt), 560.
Boumba, 45, 389.
Boumbe I, 387.
Boumbe II, 387.
Boura, 465.
Bourrah, 469.
Bouyan'gou, 548.
Bu, 451.
Buea, 67.
Buffle Noir, 45, 493, 501, 514, 521, 526, 532.
Bum, 451.
Bussumbu, 80.
Bwinga (estate), 80.

C

Calabar, 42, 239.
Cameroun (Mt), 9, 10, 14, 19, 26, 29, 85, 233.
Campo, 8, 12, 26, 28, 32, 67.
Campo (rio), 201.
Carnot (grès de), 8.
Chari, 12, 575.
Cholet (chutes), 387.
Choumi, 44.
Chris, 269.
Como, 387.
Congo, 42.
Coquel, 546.
Cossi, 45, 496, 506, 521, 526, 532.
Cross River, Cross, 10, 14, 19, 42, 239.

D

Daga, 572.
Dala (mayo), 496.
Dana, 496.
Danaï (mayo), 570.
Dangar (mayo), 496.
Darle (mayo), 266.
Debundscha, 26, 29, 32, 67.
Dehane, 45, 107, 120, 146, 151, 157, 162, 167, 170.
Demsa, 494.
Deo, 464, 497.
Diaolé, 493.
Dibamba, 53, 57, 63, 232.
Dibombe, 213.
Dipikar (île), 201.
Dizangue, 32, 62, 67.
Dja (série du), 6.
Dja, 19, 42, 45, 383, 387, 399.
Djanga, 215.
Djaoue (Hossere), 262.
Djazya, 263.
Djelepo, 45, 497.
Djerem, 40, 44, 263, 324.
Djim, 265.
Djimtillo, 558.
Djinga (mayo), 266.
Djivorke, 545.
Djombi, 263.
Djombi (riv.), 387.
Djoum, 29, 33, 59, 67, 387.
Doforo, 420.
Donga, 13, 19, 42.
Douala (bassin de), 8, 29.
Douala, 28, Pl 6, 32, 67.
Douala Deido, 80.
Douka (mayo), 491.
Doukoua (mayo), 497.
Doukoula, 469.
Douli, 541.
Douli (Hossere), 494.
Doume, 45, 67, 387, 410, 427, 434, 439.
Doumo (Mt), 494.
Dourbey, 491.
Douroum (mayo), 496.
Douvar, 560.
Dschang, 25, 29, 32, 67.
Dzeng, 103.

E

Ebaka, 265.
Ebo, 233.
Ebolowa, 12, 13, Pl 7, 29, 33, 67.
Ebomane, 203.
Edéa, 32, 44, 67, 336, 347, 358, 363, 377.
Edje, 387.
Edouadouang, 387.
Ekem, 233.
Ekom, 44, 215.
Ekona, 32, 67.
Ekondo Titi, 58.
El Beïd, 45, 571, 572.
Elon, 184.
Eloumangan (massif d'), 111.
El Ouaya, 496.
Einvong (Mts), 103.
Endom, 59.
Eré, 494.
Eséka, 12, 29, 32, 45, 67, 120, 146, 151, 157, 160, 167, 170.
Esuké (Bananes), 80.
Etoa, 45, 139, 154, 162, 172.
Etok Bekpwa, 265.
Evodoula, 283.
Eweng, 266.

F

Fako, 14, 236.
Fala, 65, 103.
Faro, 12, 19, 45, 496, 510.
Fernando Po (île de), 9.
Fianga (lac de), 491.
Fianga, 33.
Figuil, 8, 16, 465, 504, 521, 526.
Fogoum, 560.
Fonfuka, 451.
Fort-Foureau (cf. Kousseri).
Fort-Lamy (cf. N'Djamena).
Fort-Soufflay, 387, 404.
Forunduma, 571.
Fotokol, 45, 572.
Foumban (Vina N.), 548.
Foumban, 21, 25, 32.
Foumbot, 10, 32.
Founela (massif de), 262, 263.
Fundong, 449.

G

Gagal, 494.
Galke (mayo), 45.
Gambarou, 572.
Gamseye, 570.
Gamu, 497.
Gangdala (Tchabal), 491.
Gaou (Mt), 543.
Garoua, 28, Pl 6, 33, 45, 469, 509, 521, 526, 532.
Garoua (grès de), 8.
Garoua Boulaï, 25, 261, 386.
Gauthiot (Chutes), 491, 496.
Gawar (mayo), 496.
Gazawa, 560.
Gobtikere, 496.
Godi (mayo), 491, 493.
Godola, 469.
Golombe, 45, 504, 521, 526.
Golda-Zvelva, 464.
Gondwana, 7, 8, 14.
Gotel (Mts), 9, 14, 262.
Goulongo (mayo), 491, 494.
Gounou-Gaya, 494.
Goura, 44, 323, 347, 358, 363, 379.
Gouri, 45, 449, 453, 455.
Goyoum, 44, 314, 347, 358, 363.
Grassfields, 447.
Grea, 464.
Guerleou, 568.
Guetale, 33, 469.
Guider, 16, 463, 469.
Guirvidig, 570.
Guoro (rio), 201.

H

Herbert (rapides), 266.
Ho, 545.
Holum, 560.
Hoye, 7, 463.

I

Idamsay (mayo), 560.
Idenau, 29, 32, 44, 67, 236.
Isongo, 29, 235.
Isselou (mayo), 497.
Ivie, 570.
Ivindo, 42.

J

Jakiri, 278.
Japoma, 233.
Jide, 226.
Joaka, 449.

K

Kabi, 491, 494.
Kabia (lac), 494.
Kadei, 40, 42, 45, 386, 409.
Kaele, 9, 16, 25, 469.
Kahalla, 538.
Kalia, 558.
Kalliao, 560.
Kama, 104.
Kan, 266.
Kapsiki, 9, 13, 14.
Karioka, 545.
Karoo, 7.
Kasaï, 430.
Katiau (Hossere), 496.
Katoa, 568.
Katsena ou Katsina, 13, 19, 42, 449.
Katsena Ala (idem).

Kaya, 45, 120, 154, 162, 170.
Kébi (mayo), 9, 12, 45, 505.
Keineï, 541.
Kelle, 107.
Kelo, 464..
Keule (Mts), 201.
Kienké, 45, 190, 193, 197, 198.
Kikot, 266.
Kim, 266.
Kinada, 541.
Ko, 545.
Koka (grès de).
Kola, 496.
Kom (plateaux de), 447.
Kom, 103, 201.
Kombo, 103.
Kombon, 262.
Kompina, 62.
Kongolo (Massif), 277.
Kontcha, 8, 463.
Koubou, 386.
Koudou, 387.
Koum, 465.
Koumbala, 107.
Koumban, 545.
Kounden, 32.
Koundini, 545.
Koundja, 32.
Koupe (Mt), 9, 10, 14, 62.
Kousseri, 25, 26, 28, Pl 7, 469, 558.
Kratéi, 80.
Kribi, 28, Pl 6, 29, 32, 45, 67, 190.
Kumba, 32, 62, 67, 226.
Kumbi, 449.
Kumbo, 14, 29, 262, 447.
Kumfutu, 451.
Kwi (mayo), 263.
Kyé, 201.

L

Labare (Ouro), 496.
Lagdo, 45, 464, 494.
Lahore, 44, 325.
Laï, 543, 565.
Lainde (mayo), 493.
Laka (plateau), 493, 494.
Lala, 103.
Lamoudan, 464.
Lamourde, 463.
Lancrenon, 545.
Larbak (mayo), 496.
Lefo (Mt), 14, 262, 447.
Léré (lac de), 7, 8.
Léré, 33, 469.
Libii, 387.
Lidi (mayo), 493.
Life (mayo), 497.
Likomba, 80.
Likombe, 237.
Likouala aux Herbes, 383.
Likouala Mossaka, 383.
Lim, 543.
Limani, 465.
Limba, 386.
Limboh Point, 235.
Linkfluss, 80.
Linte (Mts), 262.
Litala, 265.
Liyeke, 104.
Lobaye, 8.
Lobe, 42, 45, 190, 195, 197, 198, 200.
Lobeke, 386.
Lobo, 103, 387.
Logbadjeck (série de), 62.
Logomatia, 568.
Logone, 12, 42.
Logone Birni, 466, 565.
Logone Gana, 566.
Logone Mazra, 570.
Loka, 494.
Lokodja, 489.
Lokomo, 389.
Lokoundje, 42, 184.
Lokoundje (série de la), 5.
Lolodorf, 32, 45, 67, 184, 187, 188, 189.
Lom, 44, 265, 324.
Lom (série du), 6.
Lomie, Pl 6, 33, 387.
Long, 103.
Long (Lomie), 387.
Long Mafok, 103.
Loum, 32, 67.
Loum (Chantiers), 82.
Louti (mayo), 45, 491, 496.
Lysoka, 80.

M

Ma'an, 201.
Mabas, 496.
Mabe, 266.
Mabeta (Beach), 80.
Machu, 449.
Madabron, 560.
Magba, 44, 316, 347, 358, 363.
Magoumaz, 560.
Maiduguri, 571.
Mainyu, 44, 239.
Makabaï (Hossere), 560.
Makaï, 105.
Makak, 29, 33, 67.
Makary (Makari), 25, 29, 575.
Makombe, 85, 213.
Makoum, 387.
Malape, 541.
Mali, 489.
Maloume, 105.
Maltam, 575.
Mambaka, 545.
Mambere, 385.
Mambila (plateau et Mts), 13, 14, 262.
Mamfe (cuvette), 10, 26.
Mamfe, 32, 44, 67, 239, 241.
Mammelles (massif des), 190.
Manang, 496.
Mandara (Mts), 12, 13, 14, 20, 558.
Mandim, 545.
Manengouba (Massif du), 13, 14, 59, 62.
Manfala, 103.
Mangbeï (série), 7.
Mangouan, 262.
Mani, 575.
Manjo, 63.
Mankim, 283.
Manoka, 283.
Mantoum, 44, 318, 347, 358.
Manyanga, 105.
Maouor, 263, 314, 347.
Mape, 44, 313.
Mari, 276.
Maroua, 9, 12, 25, 28, Pl 7, 33, 45, 469, 560, 561.
Marra (Djebel), 494.
Massaky, 575.
Matakam (Mts), 496, 560.
Matomb, 12, 107.
Mayo Darlé, 9, 32.
Mazele, 493.
Mba, 265.
Mbabo (Tchabal), 9, 13, 14, 262.
Mbakana, 496.
Mbakaou, 44, 314, 327, 347, 358, 363, 377.
Mbala, 102.
Mbala (riv.), 103.
Mbalmayo, 33, 45, 67, 120, 146, 151, 156, 160, 167, 169.
Mbalmayo-(M)Bengbis (série de), 6.
Mbam (massif du), 13, 14, 262.
Mbam (rivière), 12, 44, 313.
Mbam (mayo), 493.
Mbam Menkoum, 103.
Mbamilong, 100.
Mbamti (mayo), 266.
Mbande, 451.
Mbang (Mts), 14.
Mbang (riv.), 386.
Mbanga, 32, 58, 67.
Mbankomo, 104.
Mbapit (massif du), 14, 262.
Mbaw (plaine), 262.
Mbay (mayo), 493.
Mbe, 493.
Mbem, 449.
(M)bengwi, 45, 449.
Mbere (fossé de la), 8.
Mbere (riv.), 42, 552.
Mbéré, 552, 558.
Mb(g)anda, 105.
Mbia, 201.
Mbikal (Mt), 103.
Mbingo, 451.
Mbitom, 44.
Mbombo Ngouima, 107.
Mboro, 201.
Mbos (plaine des), 9, 13.
Mboukou, 265.
Mboutou, 9.
Mbu, 239.
Mé, 239.
Medoum, 389.
Mefou, 45, 139.
Megangme, 44, 314, 347, 358.
Meiganga, 13, 25, 32.
Meinari, 572.
Mekay, 263.
Mekie (Mehe), 263.
Melangue, 186.

Méléfan, 262.
Mélong, 44, 63, 219, 222, 223, 224.
Mémé, 42, 238.
Meng, 263.
Ménoua, 215.
Menyii, 387.
Mere, 497.
Meri, 560.
Merou, 263.
Metchem (Metchum), 42, 45, 452.
Metchie, 44, 320, 347, 358.
Mete, 449.
Mev, 387.
Mezam, 45, 449.
Mfi, 239.
Mfoumou, 103.
Mfoundi, 102.
Mfouom, 100.
Mifi-Nord, 266.
Mifi-Sud, 44, 266.
Mile Six River, 235.
Mindourou, 386.
Minglia, 560.
Minim Martap.
Minta, 103.
Mintélé, 103.
Minsoum, 190.
Mireo, 560.
Misoumtouo.
Missong, 451.
Mododrof, 560.
Moko, 53, 238.
Mokolo, 13, 14, 29, 33, 469, 560.
Moliwe, 80, 237.
Moloundou, 33, 387.
Momo, 387.
Mondoni, 226.
Monkie, 44, 269, 347, 358.
Mopfou, 102.
Mora, 9, 12, 16, 25, 469.
Mossaka, 383.
Motorsolo, 466, 558.
Mouankeu, 215.
Mouanko, 267.
Mouila-Moge, 105.
Mou(n)gue, 184.
Moundou, 468, 469.
Moum, 215.
Movum, 449.

N

Nachtigal, 44, 265, 334, 347, 358, 363, 379.
Namchis (pays des), 491.
Nana, 385.
Nanga Eboko, Pl 7, 33, 44, 314, 347, 358, 363.
Nangue, 263.
Nat, 269.
Nda Ali, 62.
Nde, 267.
Ndian, 26, 42, 238.
Ndikinimeki, 13, 32, 59, 213.
Ndjamena, 33, 469.
Ndjo'o, 203.
Ndjim, 267.
Ndjou, 387.
Ndjoua, 560.
Ndjwe, 389.
Ndok, 477, 545.
Ndom, 283.
Ndongo, 237.
Ndop, 9, 13, 266.
Ndou, 103.
Ndou (Dja), 387.
Ndoumba, 44, 330, 347, 358.
Ndzi, 259.
Ngambe, 33, 40.
Nganha (Tchabal), 9, 14, 262.
Ngaou Djam, 543.
Ngaou Ko, 545.
Ngaou Koumban, 545.
Ngaou Latoura, 545.
Ngaou Ndal, 265.
Ngaoundal, 261.
Ngaoundéré, 14, 25, Pl 6, Pl 7, 32, 283, 469.
Ngbala, 387, 404, 427, 434, 439.
Ngoazik, 45, 201, 204, 209, 210, 211.
Ngodeni, 570.
Ngodi, 266.
Ngoïla, 387.
Ngoko, 383, 399.
Ngomedzap, 104.
Ngongon, 44, 332.
Ngoro (massif), 262.
Ngou, 545.
Ngoua, 103.
Ngoulemakong, 103.
Ngouma, 575.
Ngoumou, 104.
Ngoundou, 103.
Ngouongsie, 103.
Ngoura, 386.
Ngourkoula, 568.
Ngovayang (massif du), 111, 184.
Nguelemendouka, 103.
Nguti, 239.
Niali, 497.
Nianiang, 44.
Niete, 190.
Niger, 42, 489.
N(d)jeke, 44, 330.
Njinikom, 449.
Njitapon, 269.
Njock, 102, 105.
Nkam, 44.
Nkambe, 14, 25, 447.
Nki, 385, 387.
Nkobiseke, 103.
Nkoemvon(e), 33, 67.
Nkogam (Mt), 13, 14, 29, 262.
Nkolbisson, 298.
Nkolbiyon, 186.
Nkolebengue, 190.
Nkolmaka, 104.
Nkolondom, 103.
Nkoltom, 190.
Nkondjok, 32, 67, 213.
Nkondkwala, 266.
Nkongsamba, 14, 32, 67.
Nkwi, 266.
Nlonako, 9, 62.
Nlongo, 190.
Nola (série de), 6.
Nola, 386.
Nolti (mayo), 497.
Nono, 213.
Noun, 18, 44, 266, 313.
Nsimalen, 45, 139, 154, 162, 172.
Ntale (plateau de), 64.
Ntem (complexe du), 5, 6.
Ntem, 12, 45, 201.
Ntiou, 265.
Ntni, 265, 283.
Nya, 543.
Nyabessan, 12, 29, 32, 45, 67.
Nye, 203.
Nyobesse, 387.
Nyombe, 82.
Nyong, 12, 42, 45, 99.

O

Obala, 283.
Ober Nyong, 104.
Odou (Mt), 103.
Oku (Mt), 13, 14, 19, 449.
Olama, 45, 120, 154, 162, 170.
Oldiri (mayo), 493.
Ombe, 44, 237.
Ombe river, 237.
Ondongo (Mt), 190.
Onitsha, 489.
Onmpoul, 100.
Opala, 104.
Ossa (lac), 267.
Ottotomo, 102.
Ouade (Tchabal), 262.
Ouak (*cf.* Wak).
Oubangui, 383.
Oudou, 386.
Ouem, 266.
Ouesso, 33, 383, 420, 427, 434, 439.
Ouham, 262.
Oulo (mayo), 8, 45, 496.
Oulti (mayo), 497.
Oveng, 59.
Oyem, 203.

P

Paha (mayo), 496.
Pala, 469.
Pana, 45, 415, 427, 434, 439.
Pandama, 387.
Pangar, 44, 265.
Panharan, 265.
Pawe (massif de), 262, 266.
Pende, 543, 565.
Penja, 10.
Peo, 103.
Perma, 541.
Peske Bori (Mts de), 491.
Pitoa, 466, 494.
Poli (série de), 6.
Poli (Massif de), 9, 14.

Poli, Pl 7, 469.
Pouma, 107.
Pouss, 469, 568.
Poussoum, 493.
Powo (Palms), 80.
Principe (île), 9.

R

Raneo (Mayo), 558.
Rao, 545, 548.
Rem, 496.
Rey (mayo), 8, 45, 493.
Rey Bouba, 464, 469.
Riao, 45, 494, 502, 508, 521, 526, 532.
Rio (del Rey), 17.
Risso, 477, 480, 545.
Ro, 496.
Rumpis (Mts), 14, 62.
Rumsiki (Roumsiki) (Mts), 14, 464.

S

Saa, 283.
Sabon Gari, 9.
Sahao, 545.
Sainte Hélène (anticylone), 22.
Sainte Hélène (île de), 9.
Safaï (Safaïe), 45, 469, 497, 513, 521, 526, 532.
Sagba, 449.
Sakbayeme, 44, 266.
Sala (mayo), 493.
Salak (Maroua), 469.
Salo, 386, 418, 427, 434, 439.
Sanaga, 12, 42, 44, 309, 324.
Sangha, 8, 42, 383, 409.
Sangmélima, 30, 33, 45, 67.
Sangola (Mt), 262.
Sanguere, 464, 480.
Sanje, 44, 236.
Santa (Pic de), 14, 262, 447.
Saoumbaï, 545.
Sao Thomé (île de), 9.
Sarki, 283.
Sele, 267.
Sembe-Ouesso (série de), 6, 385.
Sembe, 387.
Senabou, 493.
Senaroua, 493.
Seng, 45, 203.
Serbewel, 575.
Sesse, 267.
Seute (Hossere), 263.
Sibakou, 102.
Sina (mayo), 493.
Soden, 80.
Sokoy (mayo), 496.
Solle, 215.
Somalomo, 45, 387, 400, 427, 434, 439.
Song Dong, 266.
Song Loulou, 44, 266, 379.
Soo, 65, 104.
Sora Mboum, 464, 548.
Sorawel, 465.
Souanke, 385.
Soueram, 572.
Soumou, 104.
Stanley-Pool, 430.

T

Taf-Taf, 575.
Tandjilé, 494.
Tapare Pete, 269.
Taraba, 489.
Taram (mayo), 266.
Tatou, 464.
Tchad (lac), 12, 42, 577.
Tchamba, 464, 497.
Tchangue, 63, 184.
Tcheboa, 465.
Tchegui, 9.
Tchevi, 496.
Tchina (mayo), 493.
Tchollire, 45, 469, 504, 521, 526.
Tchontchi, 465.
Tekele, 570.
Teleki (mayo), 496.
Tembo (Mt), 201.
Tere, 44, 330.
Tibati, Pl 7, 32, 314, 347, 358, 363.
Tibesti, 9.
Tiel (mayo), 464.
Tignere, 13, 283.
Tikem, 491, 496.
Tik(kar) (plaine), 12, 13.
Tiko, 32, 67, 234, 237.
Tilde, 45, 558, 572.
Tinguelin (massif du), 8, 464.
Tole, 80.
Tole river, 237.
Tole Tea, 237.
Tombel, 80.
Tombouctou, 489.
Tossaye, 489.
Touboro, 45, 469, 550, 558.
Toubouri, 496.
Touki, 386.
Touldoro, 545.
Toungo, 497.
Tourake, 265.
Tourou (massif du), 14.
Touroul (mayo), 464.
Trené (lac), 496.
Tsanaga (mayo), 45, 558.
Tungo, 489.

V

Vaimba (mayo), 493.
Vi, 266.
Victoria, 80, 236.
Vina-Nord, 12, 42, 45.
Vina-Sud, 10, 18, 44, 324.
Vinede Douloumi, 494.
Vokre (Hossere), 14.

W

Wak, 493.
Wakwa, 468.
Wal (Mt), 491.
Waza (Parc National de), 571.
Waza, 38, 464, 558.
Weh, 451.
Widekum, 447.
Wouri, 12, 17, 42, 213.
Wum, 10, 13, 19, 451.

Y

Yabassi, 32, 43, 44, 58, 67, 217, 222, 223, 224.
Yadé (massif), 543.
Yaere, 9, 12, 20, 42, 558.
Yafa (Mt), 262.
Yagoua, 25, 38, 469, 570.
Yanga, 103.
Yangamo, 265.
Yangba (Massif), 262.
Yaoundé, 12, 13, Pl 6, Pl 7, 33, 67.
Yamene, 387.
Yembe, 103.
Yerap, 103.
Yi, 103.
Yingui, 32, 67, 213.
Yokadouma, 12, 30, 33.
Yoko, 13, 25, Pl 7, 32.
Yoko (Mts), 262.
Yola, 469.
Yong, 265.
Yoyo, 386.

Z

Zaïre, 42.
Zakaya, 560.
Zale, 190.
Zambèze, 42.
Zina, 571.
Zingui, 190.
Ziver (Hossere), 560.
Zoételé, 59, 103.
Zomo (massif du), 103, 262.
Zouwoul (mayo), 496.

N.B. : On a retenu ici les orthographes les plus couramment employées dans la toponymie du Cameroun. Les nombres se rapportent aux numéros de pages du texte, les références principales étant indiquées en plus grands caractères.

Annexes

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES, HISTORIQUE ET ÉTALONNAGE DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES DU RÉSEAU NATIONAL CAMEROUNAIS

Introduction

Dans l'étude qui précède, on a indiqué en première partie la liste des stations hydrométriques telle qu'elle apparaît dans les Annuaires Hydrologiques de la République Unie du Cameroun [1]. Dans cette partie annexe, on a repris la plupart de ces stations dans l'ordre de leur analyse dans le corps de l'étude : c'est-à-dire en commençant par le Nyong et en terminant par le Lac Tchad.

Certaines stations n'apparaissent pas ici pour n'avoir pas été exploitées dans l'étude soit que l'étalonnage était insuffisant, soit que les données portaient sur une trop courte période ou étaient douteuses. C'est le cas des stations de la Cross à Mayniu, de la Munaya à Akwem, du Pangar à Mbitom. D'autres stations du bassin de la Sanaga ne sont pas mentionnées, leurs résultats déjà publiés dans la Monographie de la Sanaga (op. cit.) n'apparaissant que de manière secondaire. Par ailleurs sont également absentes de cette annexe les stations des pays voisins gérées par des services hydrologiques nationaux ou autres (ORSTOM) et dont nous avons eu à utiliser les résultats. Cela n'exclut pas pour autant une critique de fond des mesures et observations qui y ont été faites.

En définitive, avec soixante-deux stations, le dossier que nous présentons ici ne prétend pas être exhaustif et ne doit pas être assimilé à un « Dossier général des stations hydrométriques du Cameroun » qui se devrait de reprendre aussi l'ensemble des stations exploitées dans le passé et abandonnées depuis (total proche de 100 stations).

Pour chaque station, nous avons donné les numéros d'identification ORSTOM et OMM (dont les règles ont été définies ultérieurement) pour accès aux banques de données (seule la banque ORSTOM étant opérationnelle). Le numéro ORSTOM prévoit 2 chiffres pour définir le Cameroun (05), 2 autres pour le bassin hydrographique, 2 pour la rivière et 2 pour la station. Le numéro OMM prévoit 2 chiffres pour définir le bassin hydrographique (répertoire existant pour l'Afrique), 1 chiffre pour le pays concerné par le bassin hydrographique (Cameroun : 3), et 3 chiffres pour la rivière et la station.

Après indication du nom de la station, de ses coordonnées géographiques, de son altitude et de la superficie [1] du bassin versant contrôlé, une rapide description donne les caractéristiques des implantations limnimétriques (zéro de l'échelle, etc.) et un aperçu de l'historique de la station.

L'étalonnage de la station est ensuite abordé avec en particulier l'indication des jaugeages effectués, des différentes courbes retenues et en général du barème hauteurs-débits utilisé lors des dernières années d'exploitation. Sauf indication contraire (flotteur, jaugeage chimique), les mesures de débit ont été faites par exploration du champ de vitesses dans la section de mesures. Trois mille mesures de débit ont été mentionnées dans cette annexe [2]. Des tableaux et figures hors-texte complètent cette information.

Enfin quelques précisions sont apportées sur la qualité des mesures, en particulier lorsque des problèmes se posent.

(1) Ces annuaires publiés régulièrement depuis 1962 étaient jusqu'à 1974 des annuaires de hauteurs d'eau. Depuis cette date, nous nous sommes orienté vers un recueil annuel de débits qui préludait à la synthèse générale des régimes hydrologiques proposée ici.

(1) Les superficies ont été déterminées sur la base des documents cartographiques les plus récents. Les valeurs indiquées corrigent certaines données anciennes entachées d'erreurs.

(2) Ces mesures sont dues à différentes équipes qui se sont succédées entre 1946 et 1980 et ne représentent que le 1/3 de l'ensemble réalisé au Cameroun sur cette période. Parmi les principaux artisans de ces mesures, chercheurs, ingénieurs, techniciens et aides-techniques, on peut citer par ordre alphabétique : Aldegheri M., Andiga J., Awoa G., Ayangma A., Berthault C., Borel Y., Bouchardeau A., Bresson Y., Cadier E., Callède J., Carre P., Casenave A., Delfieu G., Edoa G., Girerd P., Guiscafre J., Hoorelbecke R., Lefèvre R., Le Gourières D., Mailhac P., Menzemonou A., Nguèle J.P., Nouvelot J.F., Nwalal J., Nzie J.C., Olivry J.C., Pelleray H., Rochette C., Samboel N., Séchet P.

STATIONS DU BASSIN DU NYONG

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 09
OMM : 39 3 012

Station	:	Nyong à Ayos
Coordonnées	:	Lat. : 3° 53′ N Long. : 12° 31′ E
Altitude (station)	:	646 m environ
Superficie du B.V.	:	5 300 km²

La station est située en amont du pont Ayos-Abong Mbang en rive droite.
Elle a été installée le 23 mars 1951 par l'ORSTOM et était composée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m. Le zéro est à 8,194 m sous une borne IGN n° 25 et cotée 653,794 m. Le zéro est donné à 4,624 m sous un repère « Hydro » pris sur une roche en bordure de piste à la sortie du pont côté Ayos.
Le 29 mars 1956, la station est complétée par un élément de 5 à 6 m et remise en état (l'élément 2-3, incliné, présentant un décalage vers le bas de 138 mm).
Le 4 mars 1965, après réfection de la station, calée sur le même zéro, il est procédé à la mise en place d'une borne hydro au droit des échelles, 5,91 m au-dessus du zéro.
Cinquante jaugeages ont été effectués entre mars 1951 et juin 1977. Ces jaugeages réalisés entre les cotes 2 et 462 donnant respectivement 4,6 et 193 m³/s, ont permis l'étalonnage de la station. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau I.
Deux courbes d'étalonnage ont été ajustées à l'échantillon de mesures de débit, un détarage ayant été constaté entre 1963 et 1964.
Le graphique donne ces courbes (figure A1).
Les barèmes de traduction hauteur-débits ont été obtenus par extrapolation des courbes pour les débits extrêmes.

Barème à utiliser de 1951 à 1963

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
- 10	4	100	18	250	50	400	139
0	7	150	28	300	68,3	450	181
50	12	200	38	350	98	500	-

Barème à utiliser depuis 1964

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
- 10	20	100	16,9	250	48,0	400	131,5
0	4,0	150	24,9	300	70,0	450	172,5
50	9,6	200	34,0	350	98,5	500	219,5

Les lectures d'échelle effectuées deux fois par jour sont régulières. Absence de relevés du 1/11 au 7/12/1962, du 8 au 19/2/1963. En 1964, hauteurs supérieures à 5 m entre le 27/10 et le 4/11 non relevées, mais maximum nivelé.

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 06
OMM : 39 3 011

Station	:	Nyong à Akonolinga
Coordonnées	:	Lat. : 3° 47′ N Long. : 12° 15′ E
Altitude (station)	:	643 m environ
Superficie du B.V.	:	8 350 km²

Installée le 22 janvier 1954 par l'ORSTOM, le zéro des échelles était à l'altitude 642,859 m, 3,482 m sous un rivet « 37,1 » (système IGN) coté 646,341 m et placé sur la culée rive droite de l'ancien pont côté aval. Le 23/12/1958, un léger décalage apparaît (0,6 cm) par rapport au macaron IGN d'altitude 647,617 (placé sur culée rive gauche amont) (zéro à 4,742 m sous le macaron).
Les échelles sur l'ancien pont ont été détruites par le bac dont la remontée a exigé la destruction du pont le 2 juin 1963.
Le 31 juillet 1963, de nouvelles échelles sont installées en aval, rive droite de l'ancien pont. Le zéro est placé 1 m plus bas que le précédent (3,485 m sous repère « 37,1 »).
La station est alors composée d'éléments de 0 à 6 m.
Le 28 janvier 1964, le zéro des échelles est recalé dans l'ancien système à l'altitude de 642,855 m.

Le 14 juillet 1971, après la construction d'un nouveau pont (1er semestre 1971), une nouvelle station est implantée à 40 m en amont du pont en rive droite, légèrement en amont de l'accès de l'ancien bac. Le zéro des échelles a été conservé à la même altitude ; il est à 9,614 m sous des repères constitués par des vis soutenant le 1er support des mains courantes gauche et droite du pont (boulons extérieurs).
Le 30 janvier 1973, la station est refaite en rive gauche à l'amont du pont (élément de 0 à 3 m et élément négatif 9-10) ; puis le 6 août 1973, éléments de 3 à 5 m.
Signalons qu'une précédente échelle a été installée en 1946 par les T.P., et lue jusqu'en 1948. Les relevés n'ont pas pu être rapportés valablement à l'échelle ORSTOM.
De janvier 1954 à juin 1978, quarante-cinq jaugeages ont été effectués entre les cotes — 60 et 408 pour des débits compris entre 6,1 et 295 m³/s.
La liste des jaugeages est donnée dans le tableau I.
Trois jaugeages ont été faits avant 1954 (deux en 1946, un en 1947). Ils indiquent pour une même hauteur d'eau des débits nettement inférieurs à ceux de la période 1954-1977, ce qui implique vraisemblablement un changement du zéro et d'implantation en 1954.
Les jaugeages s'ordonnent sans dispersion notable autour d'une unique courbe de tarage (figure A1). L'étalonnage est de bonne qualité. Le barème suivant a été utilisé :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
-50	4	50	24	150	52	250	118	350	222
-25	7	75	29,3	175	63,5	275	141	400	285
0	14	100	35,1	200	78	300	166	450	348
25	19	125	41,8	225	97	325	192	500	411

Les lectures sont de bonne qualité en dépit d'un nombre important de lacunes : du 1er au 7 janvier, du 1er au 22 mars, mai, juillet, et du 13/11 au 24/12, en 1955. En 1956, du 19 au 31/1, février, mars, du 1er au 6/4, du 18/5 au 15/6, du 18/8 au 13/10.
En 1957, février, mars, avril, mai, 21 au 24/10 et 27 au 29/10. En 1958, du 13 au 24/2, du 17/3 au 13/4, et du 13 au 31/8. En 1959, du 13 au 24/3, du 17/4 au 19/5, du 13 au 30/9. En 1963, du 21 au 30/6. En 1964, du 16 au 28/1, du 20 au 25/2, du 11 au 17/3. En 1966, du 4 au 15/3. En 1972, du 1/2 au 5/3.
Les correspondances d'échelles, avec Ayos et Mbalmayo permettent de reconstituer les relevés manquants à l'échelle du jour pour les lacunes de courte durée, ou du mois pour les lacunes plus importantes.

BASSIN DU NYONG

N°s d'identification :

ORSTOM : 05 60 01 21
OMM : 39 3 016

Station : Nyong à Mbalmayo
Coordonnées : Lat. : 3° 31' N
Long. : 11° 30' E
Altitude (station) : 633 m environ
Superficie du B.V. : 13 555 km²

Une première station a été installée en 1940, sur la culée, rive droite côté amont, du pont. L'échelle limnimétrique était constituée d'un chevron en bois encoché tous les 5 cm. Elle a été observée de manière discontinue de 1940 à 1947.
Le 1er février 1951, l'ORSTOM cale au même zéro sur le chevron des éléments de tôle émaillée. Le 17 mars 1951, une nouvelle station est installée en rive droite et à 50 m en amont du pont. Le zéro de l'échelle est à 35 cm en dessous du zéro de l'ancienne station, à l'altitude 633,507 m, soit à 7,741 m sous le repère IGN, constitué par un piton situé à l'entrée du pont côté amont, rive gauche sur la partie extérieure de la maçonnerie (641,248 m) (avril 1954). Un nivellement de contrôle le 26/02/1964 confirme l'altitude du zéro.
Cette station donne le zéro à 633,467 m, soit 4 cm plus bas. Par suite de la détérioration continuelle des éléments d'échelle par la manipulation des grumes du parc à bois, la station a été déplacée vers l'amont de 200 m. Tous les éléments ont été scellés sur le quai. Le zéro actuel est à 633,47 m (15/12/1971).
Cinquante-neuf jaugeages ont été effectués depuis l'origine jusqu'à juin 1978, entre les cotes — 005 et 556, correspondant respectivement à des débits de 12,4 et 551 m³/s. Les cotes étant ramenées à l'échelle 1971, la liste des jaugeages est donnée dans le tableau II.
Une seule courbe de tarage a été retenue. Elle est obtenue avec une bonne précision, en dépit d'une certaine dispersion. Les mesures de 1951 et 1953 en hautes-eaux paraissent sous-estimées, mais ne justifient pas d'envisager un tarage évolutif (Yayer), la section étant stable. La figure A3 reproduit la courbe d'étalonnage de la station. A noter que l'extrapolation faite pour les débits extrêmes est minimale.
Le barème employé est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
		75	77	175	157	275	247	450	414
0	17	100	97	200	180	300	270	500	485
25	37	125	117	225	202	350	315	550	565
50	57	150	137	250	225	400	361	600	

Les lectures effectuées une fois par jour sont régulières et de bonne qualité. Les lacunes sont relativement peu nombreuses :
En 1955, manque du 10 au 12/3 ; en 1957, manque le 5 août.
En 1959, lacune du 1er au 24/2 ; en 1961, lacune du 10 au 31/3.
En 1962, lacune du 5/2 au 4/3 ; en 1966, manque 14 et 15 janvier.
En 1969, lacune du 1er au 14/1.
En 1971, lacune du 22 au 29/1.
En 1972, manque le 15/6.

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 27
OMM : 39 3 017

Station : Nyong à Olama
Coordonnées : Lat. : 3° 26′ N
Long. : 11° 17′ E
Altitude (station) : 628 m environ
Superficie du B.V. : 18 510 km^2

La station est située 30 m en amont du bac de la route Mbalmayo-Lolodorf. Les échelles ont été installées sur la 2^e pile rive gauche du pont en construction, le 7 novembre 1965, et complétées pendant l'étiage 1965. Des décalages entre les éléments ont été corrigés le 20 avril 1965. La station définitive a son zéro à 2,953 m sous un repère hydro constitué par un crochet scellé dans la pile et à 4,328 m, sous une borne IGN n° 308 (632,62 m) (15/2/1971). Le zéro est à l'altitude 628,30 m. La station est composée d'éléments d'échelle de 0 à 6 m.
Vingt-six mesures complètes de débit ont été effectuées entre novembre 1964 et mars 1977. Les jaugeages sont compris entre les cotes 78 et 545, correspondant respectivement à des débits de 21,4 et 750 m^3/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau II.

La courbe de tarage est obtenue avec une bonne précision, sans dispersion notable. Les jaugeages extrêmes limitent à très peu de chose l'extrapolation vers les basses et très hautes eaux (figure A1). Le barème utilisé est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
70	18	125	40	200	99	350	318	500	645
80	22	150	54	250	156	400	418	550	771
100	29	175	74	300	228	450	528		

Les lectures d'échelle effectuées une fois par jour sont régulières et de bonne qualité. En 1968, on observe une lacune sur le mois de mai.

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 18
OMM : 39 3 015

Station : Nyong à Kaya
Coordonnées :Lat. : 3° 32′ N
Long. : 11° 17′ E
Altitude (station) :617 m environ
Superficie du B.V. :19 985 km^2

La station, installée le 14 juillet 1965, est située à 3 km du centre sanitaire de Kaya, au passage des pirogues en rive droite du Nyong.
Elle est constituée d'éléments d'échelle de 0 à 400 placés en trois tronçons 0-1, 1-3, 3-4, sur UPN de 180 mm. Le zéro est à 3,585 m, sous une borne hydrologique située dans le prolongement des échelles sur la berge.
Un décalage de 4 cm vers le bas des éléments inférieurs en 1967 a été corrigé.
Vingt-sept jaugeages ont été effectués de juillet 1965 à mars 1977, entre les cotes 1 et 304 correspondant respectivement aux débits 24 et 765 m^3/s. La liste de ces jaugeages figure dans le tableau III.

La courbe d'étalonnage est obtenue avec une bonne précision (fig. A2). On en déduit le barème suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	22	75	140	150	328	225	532	300	754
25	47	100	196	175	396	250	610	325	834
50	92	125	259	200	467	275	682		

Les lectures sont effectuées 2 fois par jour. Elles sont régulières mais souvent imprécises (bâtillage).
Lacune 23 et 24/1/1967. Lectures fausses du 22/1 au 28/2/1971.

N[os] d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 15
O.M.M. 39 3 014

Station : Nyong à Eséka
Coordonnées : Lat. : 3° 41' N
Long. : 10° 42' E
Altitude (station) : 146 m environ
Superficie du B.V. : 21 600 km².

La station est située en rive droite légèrement en amont du bac de la route Eséka-Lolodorf, à 15 km d'Eséka. Comprenant initialement des éléments d'échelle de 0 à 4 m, la station ouverte le 13 mai 1951, a été revue en avril 1956 et comprend depuis des éléments de 0 à 6 m.
Le zéro est à 9,179 m sous une borne hydrologique placée sur l'embase du plot d'amarrage du câble du bac en rive droite.
Le zéro est à 8,12 m sous la borne IGN (rivet sur pilier du bac) cotée à 146,46 m.
Le 24/3/1971, un décalage de 3 cm vers le bas est constaté pour l'élément 5-6.
Vingt-quatre jaugeages ont été réalisés de 1954 à 1976, entre les cotes 16 et 480, correspondant aux débits 28,5 et 1 020 m³/s.
La meilleure section de jaugeage reconnue se situe à l'aval du bac mais n'est pas excellente à cause de l'irrégularité du profil qui présente par endroit de grandes profondeurs et ne se prête pas à des mesures très précises. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau III.
L'étalonnage est cependant satisfaisant (cf. fig. A3) bien que ne s'appuyant que sur un seul jaugeage pour les très hautes-eaux.
Le barème est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	20	75	72,5	150	166	250	338	400	710
25	32,9	100	100	175	204	300	445	450	900
50	50	125	132	200	245	350	565	500	1110

Les lectures d'échelle effectuées une fois par jour de 1951 à 1961 sont relevées deux fois par jour en 1962. La qualité des observations est bonne. Les lacunes sont peu nombreuses. En 1951, hauteurs supérieures à 400 du 17/10 au 7/11, non mesurées. Même chose en 1955 du 3 au 5 novembre. En 1957, lacune du 13 au 15/1 et pour tout le mois d'août. En 1962, les relevés de février et de juillet sont faux. En 1964, lacune du 1/1 au 12/3.
Relevés de très bonne qualité depuis cette date jusqu'en 1977 (décès de l'observateur Bikoun Alexandre).

N[os] d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 01 12
O.M.M. 39 3 013

Station : Nyong à Dehane
Coordonnées : Lat. : 3° 34' N
Long. : 10° 07' E
Altitude (station) : 35 m environ
Superficie du B.V. : 26 400 km².

La station se trouve à 5 km en amont du pont de la route Edéa-Kribi en rive droite ; elle est située dans la concession de la S.P.R.O.A, légèrement en amont de l'ancienne prise d'eau de l'usine. Comportant initialement 4 éléments d'échelles, la station installée le 17/1/1951, a son zéro à 5,769 m sous un repère hydrologique (nivelé le 12/3/1951). Le 27/4/1956, un élément de 4 à 5 mètres est ajouté sans modification du zéro. Le 20 février 1973, un élément de basses-eaux (9 à 10) a été calé par rapport à l'élément supérieur 0 à 2 m.
Dix-huit jaugeages ont été réalisés de 1951 à 1977 entre les cotes – 53 et 310. L'éventail des débits mesurés se situe entre 38,8 et 975 m³/s. Comme pour la station d'Eséka, le choix d'une section de mesure s'est révélé difficile par suite de la configuration accidentée du lit rocheux. La précision des mesures n'est pas entièrement satisfaisante notamment pour les très basses-eaux. La liste des jaugeages est indiquée au tableau III.
La courbe d'étalonnage est obtenue avec une bonne précision entre 100 et 1 000 m³/s (un jaugeage erroné H : 154 Q : 528). L'extrapolation de la courbe vers les très hautes-eaux est importante et a été déduite de la forme générale de la courbe et de la configuration de la section. Pour les basses-eaux, la courbe s'appuie sur les trois jaugeages les plus bas sans extrapolation (cf. fig. A3).
Le barème suivant a été utilisé :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
-	-	25	91,5	125	307	225	632	400	1456
-50	33,2	50	128	150	382	250	728	450	1750
-25	51,5	75	178	175	460	300	944	500	2050
0	62,0	100	238	200	546	350	1192		

Les lectures sont effectuées deux fois par jour. Les relevés sont réguliers, mais de qualité moyenne (quelques relevés douteux). Les lacunes sont peu nombreuses. En 1951, manque le mois de septembre ; en 1962, lacune du 21/2 au 4/3. En 1964, il manque les mois d'août, septembre, octobre et novembre. En 1966, des observations n'ont pu être effectuées du 3 au 12/3 cotes en dessous du zéro. Parmi les relevés douteux, on notera notamment, les relevés de 1962, et des basses-eaux 1964.

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 20 03
O.M.M. 39 03 201

Station	:	Mefou à Etoa
Coordonnées	:	Lat. : 3° 46' N
		Long. : 11° 29' E
Altitude (station)	:	672 m environ
Superficie du B.V.	:	235 km^2.

La station a été installée le 29 janvier 1966. Elle est située légèrement en amont du ponceau de la piste allant de Yaoundé à Etoa et en rive droite, et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 3 m. Le zéro est à 3,787 m sous un repère matérialisé par un clou de fixation côté amont de la 8^e traverse du pont en venant de Yaoundé.
Cinquante-six jaugeages ont été effectués de 1966 à 1977 entre les cotes 35 et 242 dont les débits respectifs sont 0,337 et 15,8 m^3/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau V.

Ces mesures de débits montrent un détarage chronique au cours des premières années. L'étalonnage acquis depuis 1970 ne semble pas s'être modifié depuis. Plusieurs courbes de tarage ont été retenues, mais il convient d'ajouter que les débits sont obtenus avec une relative imprécision.
Les lectures sont effectuées deux fois par jour. Elles sont régulières, mais de qualité moyenne. On relève quelques lacunes : en 1970, du 23 mai au 2 juin et en 1972 au mois de mai.

N^{os} d'identification : BASSIN DU NYONG

ORSTOM : 05 60 20 09
O.M.M. 39 03 202

Station	:	Mefou à Nsimalen
Coordonnées	:	Lat. : 3° 44' N
		Long. : 11° 32' E
Altitude (station)	:	650 m environ
Superficie du B.V.	:	425 km^2.

Installée le 26 décembre 1962, sur la culée rive droite du pont de la route Yaoundé-Mbalmayo, la station se compose d'éléments d'échelle de 0 à 3 m. Le 11 février 1964, le zéro a été descendu de 50 cm.
Quarante et un jaugeages ont été effectués de 1962 à 1977 entre les cotes 15 et 203, pour les débits respectifs de 1,03 et 15,9 m^3/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau IV.
La courbe de tarage est obtenue avec une bonne précision et sans extrapolation importante.
Le barème utilisé est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
10	0.80	75	3.65	150	9.25	225	19.2
25	1.40	100	5.05	175	12.05	250	22.8
50	2.45	125	6.90	200	15.35		

L'année 1963 est marquée par de nombreuses lacunes d'observations. Mais depuis 1964, les lectures sont régulières et de bonne qualité.

Tableau I. – Jaugeages du Nyong à Ayos.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	23.03.51	23	5,6	26	16.07.68	300	56,2
2	07.11.53	370	95,5	27	09.03.71	16	5,85
3	21.01.54	88	12,1	28	08.11.71	438	155,0
4	12.10.54	344	96,5	29	14.02.71	33	9,64
5	08.12.54	352	83,5	30	19.03.72	20	8,04
6	20.12.55	300	68,5	31	18.05.72	163	29,1
7	23.10.57	462	193	32	30.01.73	46	13,6
8	11.12.57	352	95,5	33	21.02.73	15	7,76
9	13.12.57	346	92,5	34	05.03.73	10	5,9
10	21.01.58	190	33,0	35	12.03.73	2	4,6
11	07.11.58	385	154,0	36	19.11.73	412	150
12	03.12.58	330	98,0	37	26.01.74	88	24,6
13	22.12.58	269	60,0	38	11.03.74	14	8,31
14	18.02.59	46	15,8	39	06.11.74	429	161
15	14.02.61	142	23,4	40	22.11.74	425-426	138
16	13.07.62	324	83,0	41	03.02.75	75	13,45
17	05.10.62	316	85,5	42	11.11.75	414	141
18	08.12.62	382	116,0	43	?	45	6,55
19	21.02.63	159		44	24.01.76	209	35,2
20	15.04.65	193	31,2	45	15.07.76	190	28,5
21	31.05.65	309	68,0	46	23.09.76	168	29,7
22	25.08.65	257	48,1	47	10.11.76	365	105
23	22.10.65	410	129,0	48	16.12.76	282,5	50,5
24	09.11.65	402	128,0	49	12.03.77	4	4,6
25	25.03.66	24	7,85	50	13.06.77	190	30,3

Jaugeages du Nyong à Akonolinga.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	22.01.54	100	26,2	23	13.07.71	223	96,0
2	08.07.54	236	104,5	24	08.11.71	385	252,0
3	08.12.54	286	149,5	25	14.02.72	64	25,0
4	21.12.55	249	121,0	26	19.03.72	- 7	11,92
5	20.09.57	248	111,0	27	21.08.72	162	56,0
6	25.10.57	408	295,0	28	30.01.73	40	20,8
7	12.12.57	323	183,0	29	21.02.73	(-15,5)	12,3
8	21.01.58	196	73,0	30	05.03.73	(-28,5)	9,3
9	08.09.58	20	19,0	31	12.03.74	(-36)	6,1
10	08.11.58	320	211,0	32	26.01.74	98	35,8
11	04.12.58	287	174,0	33	12.03.74	- 20	11,8
12	23.12.58	238	118,0	34	05.11.74	356	238
13	19.02.59	11	18,0	35	23.11.74	371	250
14	15.02.61	157	54,4	36	03.02.75	106	39,6
15	12.07.62	244	120,0	37	08.04.75	6	18,6
16	05.10.62	203	83,2	38	11.11.75	344	215
17	05.12.62	333	200,0	39	24.01.76	213	75,6
18	20.02.63	150	52,0	40	24.09.76	133	52,4
19	03.03.65	170	63,0	41	10.11.76	322-323	170
20	16.03.66	- 19	12,0	42	13.06.77	164	62,8
21	07.03.67	- 8	13,7	43	15.12.77	227-226	95,4
22	15.07.68	248	118,0	44	22.01.78	67	35,2
				45	03.03.78	- 60	6,89

Tableau II. – Jaugeages du Nyong à Mbalmayo.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	10.09.47	20(55)	78	30	12.12.64	287	251
2	04.02.51	50	53,5	31	17.12.64	334	314
3	17.03.51	16	27,7	32	30.12.64	231	207
4	29.05.51	130	114	33	28.01.65	138	139
5	02.06.51	138	119	34	10.02.65	112	112
6	08.06.51	113	102	35	16.04.65	83	86
7	07.10.51	334	240	36	21.04.65	144	132
8	25.10.51	423	308	37	23.04.65	141	132
9	20.11.53	368	291	38	26.04.65	153	139
10	09.03.55	14	35,3	39	29.04.65	178	139
11	24.05.55	74	76	40	06.01.66	140	127
12	31.05.56	182	157	41	13.01.66	120	113
13	04.12.56	328	286	42	20.01.66	118	112
14	23.02.57	16	36	43	21.01.66	115	113
15	24.04.57	40	48,6	44	28.02.66	13	29,5
16	29.10.57	445	389	45	09.03.66	6	22,7
17	09.11.57	482	426	46	19.03.66	7	20,7
18	06.12.57	410	356	47	12.02.71	16	30,9
19	21.11.58	337	295	48	22.02.72	13,5	25
20	09.12.58	256	223	49	02.03.72	11	25,9
21	17.02.59	16	31	50	26.02.73	4	13,7
22	10.09.62	115	113	51	27.02.73	5	17,6
23	17.11.62	435	403	52	13.03.73	- 5	12,4
24	28.12.62	253	234	53	13.03.74	9	18,8
25	25.03.63	75	83	54	23.01.75	95	91,6
26	10.11.64	556	551	55	01.11.76	300	262
27	21.11.64	532	532	56	10.12.76	177	157
28	28.11.64	502	509	57	08.03.77	0	14,08
29	10.12.64	400	371	58	03.06.77	74	70,3
				59	06.03.78	6	15,6

Jaugeages du Nyong à Olama.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	07.11.64	554		14	05.02.66	206	109
2	12.11.64	545	750	15	01.03.66	106	35.8
3	21.11.64	507	655	16	11.03.66	141	51.5
4	27.11.64	484	611	17	21.03.66	136	40.4
5	09.12.64	413	447	18	01.04.66	145	47.2
6	24.12.64	333	287	19	25.02.67	169	73.9
7	29.12.64	307	241	20	06.12.69	383	389
8	12.01.65	279	201	21	15.02.71	144	49.1
9	29.01.65	230	142	22	02.03.72	116	25.0
10	09.02.65	222	127	23	13.03.73	78	21.4
11	24.02.65	238	142	24	06.01.76	265	184.8
12	18.03.65	269	180	25	23.02.76	182	85.
13	20.04.65	264	169	26	19.03.77	109	23.4

Tableau III. – Jaugeages du Nyong à Kaya.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	13.07.65	112	239	15	04.03.71	61	102
2	14.07.65	108	228	16	22.03.71	82	153
3	20.07.65	105	206	17	01.07.71	112	209
4	30.07.65	88	161	18	23.07.71	117	214
5	01.09.65	96	191	19	28.10.71	304	765
6	27.10.65	209	486	20	07.02.72	54	96
7	04.11.65	232	560	21	29.02.72	10	23,2
8	08.02.66	59	110	22	03.02.72	22	38
9	24.02.66	29	54	23	14.02.73	25,5	56
10	08.03.66	16	26,5	24	13.03.73	- 1	24
11	18.03.66	31	60,5	25	17.09.75	61	109
12	26.02.68	28	51	26	31.10.75	200	435
13	11.02.69	(159)	362	27	18.03.77	10,5	25,9
14	17.02.71	38	63				

Jaugeages du Nyong à Eseka.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	08.01.54	153	108	13	08.12.69	276	398
2	05.02.56	90	88,5	14	11.08.70	200	227
3	03.11.62	395	669	15	15.09.70	297	472
4	27.07.65	172	176	16	07.10.70	365	642
5	13.08.65	195	265	17	05.11.70	480	1020
6	31.08.65	190	249	18	28.11.70	342	523
7	26.02.66	57	62,5	19	16.12.70	246	332
8	09.03.66	42	43,5	20	17.02.71	77	57
9	22.03.66	66	55	21	14.02.73	58	58
10	24.02.67	96	101	22	14.03.73	16	28,5
11	01.02.68	85	93,5	23	25.01.74	101	101
12	11.03.68	74,5	85,5	24	06.01.76	181^{5}-181	215

Jaugeages du Nyong à Dehane.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	13.03.51	58	141	10	20.02.73	- 9	59
2	n -	-	-	11	15.03.73	- 43	38,8
3	25.08.62	95-94	211	12	19.11.74	258	762
4	06.11.62	310	975	13	09.12.74	193	525
5	18.01.68	77	190	14	13.09.75	145	356
6	03.08.68	88	200	15	20.10.75	278	890
7	09.12.69	154	528	16	07.01.76	117	253
8	23.11.70	290	920	17	04.02.77	0,04	95
9	04.03.71	61	152	18	12.03.77	- 53	42,2

Tableau IV. – Jaugeages de la Mefou à Nsimalen.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	26.12.62	100.5	4.75	21	13.09.65	156	10.3
2	19.01.63	68.5	3.29	22	14.09.65	185	13.7
3	05.02.63	76	3.72	23	07.10.65	165	10.9
4	14.02.63	60.5	3.04	24	18.10.65	194	14.1
5	06.03.63	96.5	4.80	25	19.10.65	203	15.9
6	11.02.64	78	3.88	26	27.01.66	91	4.48
7	19.02.64	36.5	2.03	27	28.01.66	66	3.13
8	05.03.64	35	1.76	28	03.02.66	40	1.95
9	10.03.64	43	2.18	29	04.02.66	40	2.04
10	11.02.64	55	2.58	30	12.02.66	32	1.67
11	28.04.65	84	4.19	31	18.02.66	26	1.54
12	30.04.65	154	10.3	32	22.02.66	25	1.30
13	03.05.65	164	10.3	33	28.02.66	19	1.30
14	05.05.65	100	5.6	34	03.03.66	16	1.07
15	10.05.65	112	5.9	35	08.03.66	15	1.03
16	31.05.65	115	6.1	36	05.08.68	47	1.93
17	31.05.65	123	6.7	37	11.09.70	136	8.02
18	01.06.65	153	9.8	38	30.08.72	55-53	2.40
19	02.06.65	134	7.7	39	15.02.73	0.535	2.40
20	18.06.65	157	10.0	40	31.03.73	135	8.09
				41	02.03.77	0.29	1.33

Tableau V. – Jaugeages de la Mefou à Etoa.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	29.01.66	80	1.007	29	01.04.68	78	1.12
2	03.02.66	72	0.785	30	05.04.68	77	1.07
3	05.02.66	72	0.741	31	19.04.68	110	2.38
4	07.02.66	71	0.732	32	25.04.68	110	2.83
5	09.02.66	68	0.628	33	25.05.68	148	4.36
6	18.02.66	64	0.580	34	05.06.68	134	3.56
7	22.02.66	60	0.463	35	26.07.68	75	1.11
8	28.02.66	55	0.395	36	16.08.68	65	0.815
9	03.03.66	54	0.367	37	30.08.68	61	0.660
10	08.03.66	50.5	0.337	38	07.10.68	173.5	6.07
11	22.06.66	168.5	5.500	39	14.10.68	174	6.34
12	23.06.66	144.5	4.050	40	15.10.68	195	7.65
13	08.07.66	157	4.610	41	16.10.68	184.5	7.21
14	09.07.66	187.5	6.530	42	28.10.68	152	5.05
15	23.03.67	87.5	1.410	43	01.11.68	229	12.2
16	22.09.67	158.5	5.76	44	02.11.68	237.5	13.35
17	26.09.67	169	6.23	45	04.11.68	224	11.65
18	27.10.67	242.5	15.8	46	05.11.68	212	9.44
19	30.10.67	229.5	12.4	47	06.11.68	198	7.74
20	02.11.67	182	7.02	48	14.11.68	234	12.3
21	08.11.67	142	4.38	49	29.11.68	147.5	4.50
22	21.11.67	121	2.78	50	11.09.70	123.5	3.94
23	13.12.67	94	1.57	51	13.02.71	86	1.80
24	05.02.68	71	1.02	52	04.03.72	134-136	5.04
25	05.02.68	78	1.36	53	09.06.72	137	5.50
26	17.02.68	87	1.32	54	30.08.72	68-70	1.54
27	08.03.68	98	1.81	55	07.09.72	80-82	2.30
28	13.03.68	74	1.04	56	02.03.77	35	0.715

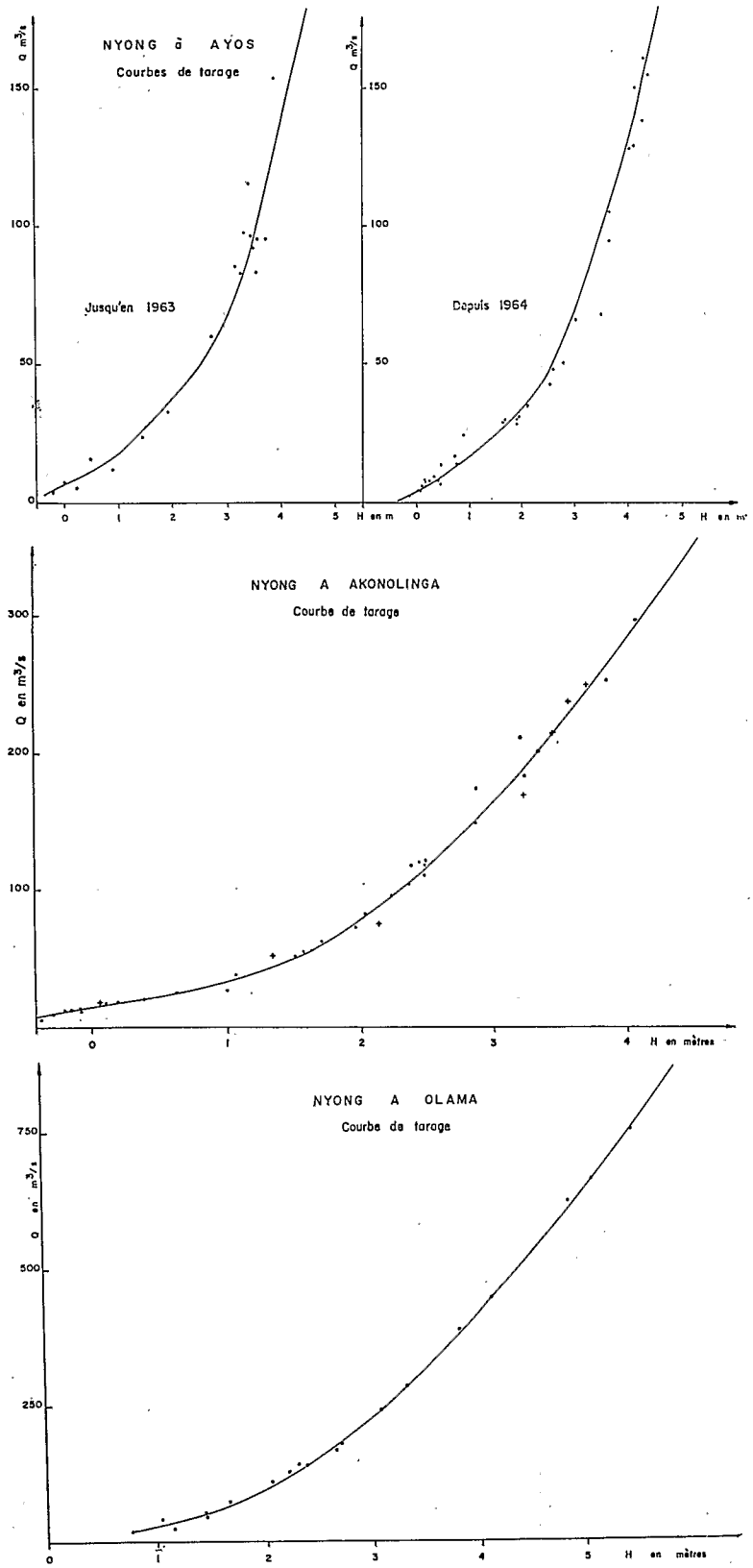

NYONG à AYOS
Courbes de tarage
Q m³/s
150
100
50
0
Jusqu'en 1963
Depuis 1964
0 1 2 3 4 5 H en m
NYONG A AKONOLINGA
Courbe de tarage
Q en m³/s
300
200
100
0 1 2 3 4 H en mètres
NYONG A OLAMA
Courbe de tarage
Q en m³/s
750
500
250
0 1 2 3 4 5 H en mètres

Fig. A1.

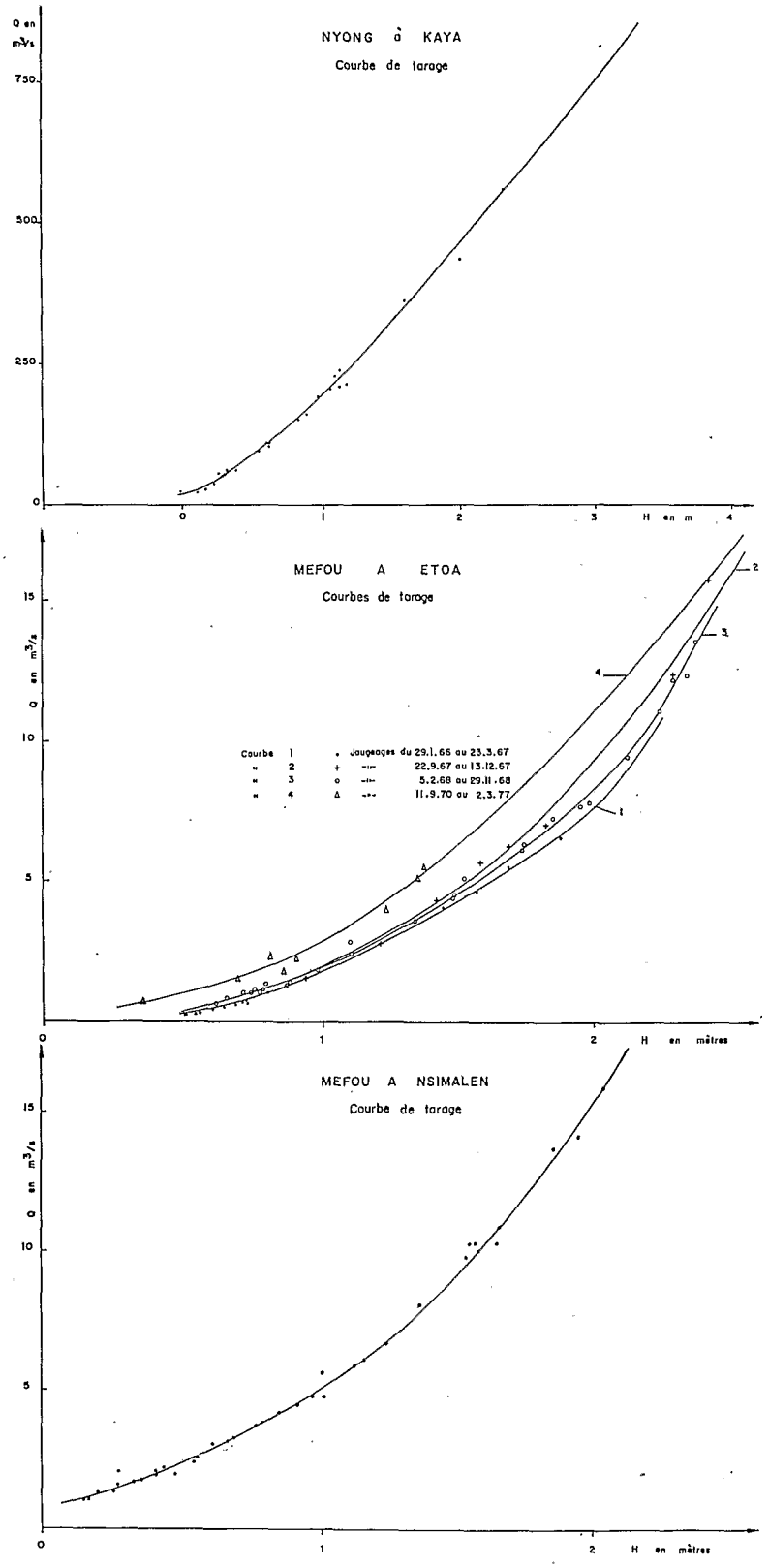

NYONG à KAYA
Courbe de tarage
Q en m³/s
750
500
250
0
0
1
2
3
H en m
4
MEFOU A ETOA
Courbes de tarage
Q en m³/s
15
10
5
0
1
2
H en mètres
Courbe 1 • Jaugeages du 29.1.66 au 23.3.67
" 2 + " 22.9.67 au 13.12.67
" 3 o " 5.2.68 au 29.11.68
" 4 Δ " 11.9.70 au 2.3.77
MEFOU A NSIMALEN
Courbe de tarage
Q en m³/s
15
10
5
0
1
2
H en mètres

Fig. A2.

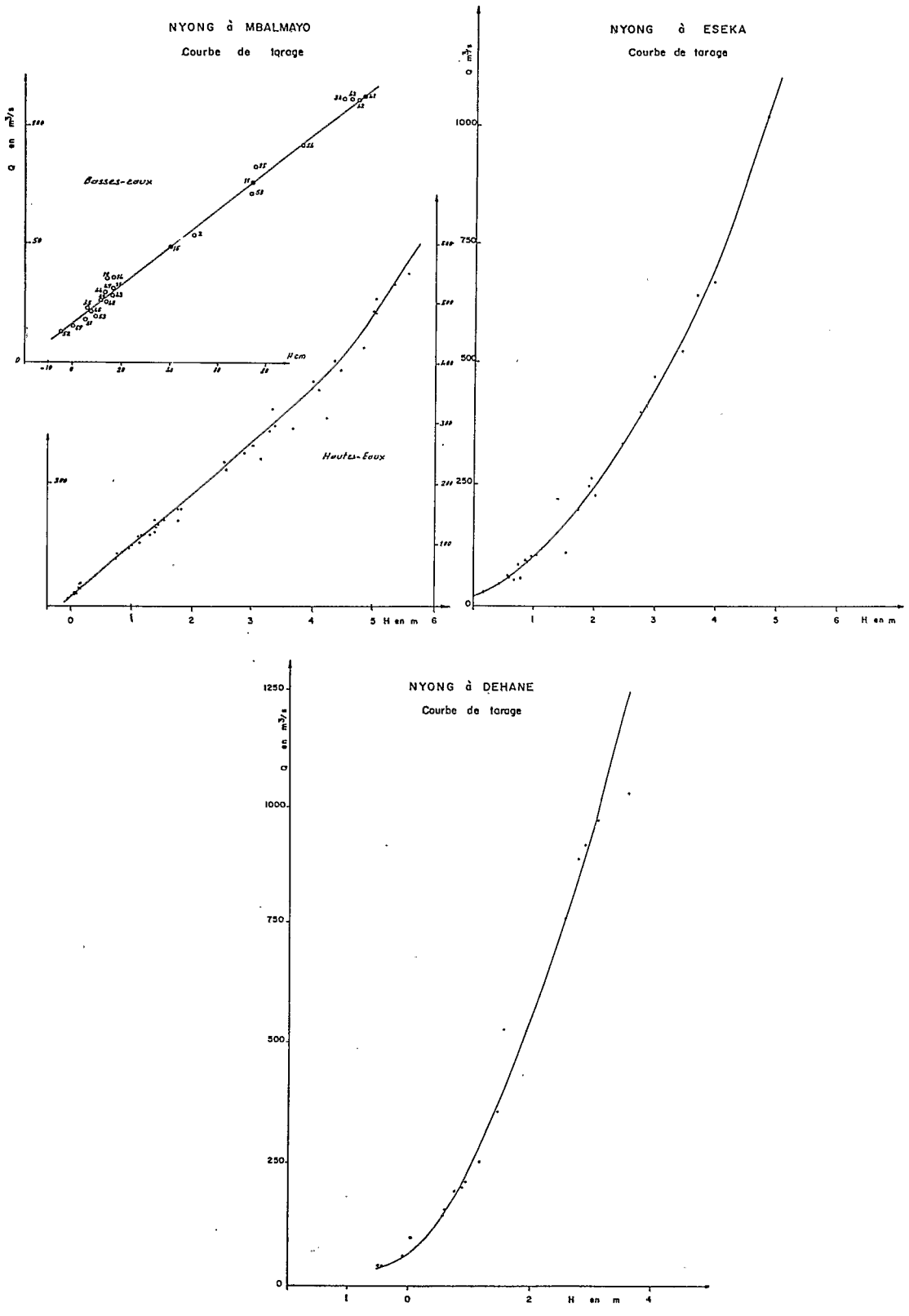

NYONG à MBALMAYO
Courbe de tarage
Q en m³/s
Basses-Eaux
H cm
Hautes-Eaux
H en m
NYONG à ESEKA
Courbe de tarage
Q m³/s
1000
750
500
250
0
1 2 3 4 5 6 H en m
NYONG à DEHANE
Courbe de tarage
Q en m³/s
1250
1000
750
500
250
0
1 0 2 H en m 4

Fig. A3.

LES FLEUVES CÔTIERS AU SUD DU NYONG

N^{os} d'identification : BASSIN DE LA LOKOUNDJE

ORSTOM : 05 40 10 05
O.M.M. 26 3 701

Station : Lokoundje à Lolodorf
Coordonnées : Lat. : 3° 14′ N
Long. : 10° 44′ E
Altitude (station) : 436 m environ
Superficie du B.V. : 1 150 km^2.

Les relevés d'une première station installée en 1945 n'ont pas été exploités, le zéro des échelles n'ayant pu être recalé lors de l'installation en 1951 d'une nouvelle station par l'ORSTOM, et les relevés étant très suspects.
Le 15 mars, une station hydrométrique est installée côté aval de la première pile du pont en rive droite ; elle est composée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m, dont le zéro est à 5,788 m sous une borne IGN cotée 442,396 m. Le 6 mars 1971, le zéro de l'échelle est descendu à 5,895 m sous la borne.
Une réfection complète de la station est effectuée en 1977 avec même calage du zéro. Le zéro actuel est à l'altitude 436,501 m.
Trente-neuf jaugeages ont été faits de 1951 à 1977 (tableau VI) entre les cotes 033 et 201, pour les débits variant de 3,36 à 99,4 m^3/s.
Un léger détarage de la section est apparu pour les moyennes-eaux depuis 1975. La figure A4 donne les deux courbes d'étalonnage de la relation hauteur-débit.
Les barèmes utilisés sont les suivants : H cm Q en m^3/s :

De 1951 à 1974 inclus :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0.20	1.00	100	20.9	175	75	250	150
0.50	5.5	125	36.0	200	99	275	175
0.75	11.4	150	54.0	225	125	300	200

Depuis 1975 :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0.20	1.00	100	19.4	175	70.5	250	150
0.50	4.3	125	32.8	200	96.2	275	175
0.75	10.0	150	51.1	225	125.5	300	200

On notera une extrapolation importante de la courbe de tarage, au-dessus de 100 m^3/s, soit H = 200 environ extrapolation rendant imprécise la détermination des forts débits de crue.
Les lectures d'échelle effectuées deux fois par jour sont dans l'ensemble bonnes. On note cependant quelques relevés douteux ou incomplets en 1968, 1969 et 1971.

N^{os} d'identification : BASSIN DE LA KIENKÉ

ORSTOM : 05 35 10 05
O.M.M. 26 3 802

Station : Kienké à Kribi
Coordonnées : Lat. : 2° 56′ N
Long. : 9° 54′ E
Altitude (station) : 10 m environ
Superficie du B.V. : 1 435 km^2.

La station a été installée le 5 juin 1955 par l'ORSTOM en rive droite, au droit de la scierie (SEFA) aujourd'hui désaffectée, située près du marché. Elle est composée d'éléments de 0 à 5 m.
Une autre station installée à la Mission catholique a été abandonnée.
Vingt jaugeages ont été effectués de 1962 à 1977, entre les cotes 208 et 404, pour des débits variant de 8,93 à 149 m^3/s et ont permis de tracer une courbe d'étalonnage acceptable. La liste des jaugeages est donnée au tableau VI.
Le seul barème de traduction hauteurs-débits retenu à cette station est repris ci-après.
L'extrapolation de la courbe de hautes-eaux est relativement importante. Celle des basses-eaux s'appuie sur les jaugeages les plus bas, mais reste imprécise. (On se reportera aux remarques faites à la fin de l'étude des basses-eaux

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
180	5,4	260	37,6	340	96,2	420	161
200	7,6	280	52,0	360	112	440	177
220	11,7	300	66,2	380	128	460	193
240	23,0	320	80,8	400	145	480	(209)
						500	(225)

relatives à une estimation différente de la relation Hauteurs-Débits.)
Les lectures sont effectuées une fois par jour. Les relevés de 1961 à 1965 (5 ans) visiblement douteux n'ont pas été pris en compte ici. Le lecteur a été remplacé et les relevés quoique de meilleure qualité montrent quelques lacunes et sont parfois approximatifs.

N^{os} d'identification :

ORSTOM : 05 38 10 05
O.M.M. 26 3 901

BASSIN DE LA LOBE

Station : Lobe à Kribi
Coordonnées : Lat. : 2° 52′ N
Long. : 9° 53′ E
Altitude (station) : 7 m environ
Superficie du B.V. : 2 305 km^2.

La station est située en rive droite à l'amont du bac de la route Kribi-Campo, à environ 10 km de Kribi et à 500 m des chutes et de la mer.
Une première station implantée par ENELCAM (potentiel hydro-électrique des chutes) a été suivie du 15 janvier 1950 au 10 mai 1952, date à laquelle elle a été détruite.
Une seconde station a été installée par l'ORSTOM, le 12 avril 1953. Elle est composée d'éléments d'échelle de 0 à 4 m. Son zéro est à 3,439 m sous une borne repère. Le zéro de la première station n'a pu être rattaché au zéro de l'échelle actuelle. Il semblerait cependant que la cote 100 actuelle corresponde à la cote 664 de l'ancienne échelle. Les relevés de 1950-1951 n'ont pas été utilisés.
Six mesures de débit ont été effectuées en 1950 et 1951 et recalées en hauteurs de la nouvelle échelle suivant la correspondance probable. Trente trois jaugeages, effectués depuis 1953 entre les cotes 71 et 264, pour des débits variant de 12,2 à 331 m^3/s, permettent de tracer une courbe d'étalonnage précise sans dispersion notable (voir tableau des jaugeages ci-après et fig. A4), sauf pour les basses-eaux (se reporter également au barème proposé dans l'étude des basses-eaux).

Le barème utilisé est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
30	2,00	100	20,0	175	114	250	308	325	516
50	4,40	125	42,6	200	171	275	377	350	586
75	8,90	150	74,0	225	239	300	446		

Les lectures sont effectuées deux fois par jour. Elles sont régulières et paraissent de bonne qualité. Les lacunes sont relativement peu nombreuses. Signalons aussi l'existence pendant plusieurs années de deux stations amont, installées à la demande de la Direction des Mines et de la Géologie, qui prospectait le massif des Mamelles, sur la Niète et sur la Lobe en amont du confluent de la Niète. Ces stations dites « au Bac des Mines » et « au Bac D.M.G. » ont fonctionné plus ou moins régulièrement de 1957 à 1964 pour la Niète et 3 jaugeages sur la Lobe supérieure n'ont pas permis une exploitation des relevés effectués.

N^{os} d'identification :

ORSTOM : 05 55 01 05
O.M.M. 40 3 011

BASSIN DU NTEM

Station : Ntem à Ngoazik
Coordonnées : Lat. : 2° 18′ N
Long. : 11° 18′ E
Altitude (station) : 535 m environ
Superficie du B.V. : 18 100 km^2.

Installée par l'ORSTOM le 17 juin 1953, en rive droite à l'amont du bac de la route vers la Guinée Équatoriale, à 13 km d'Ambam, la station est équipée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m. Son zéro est à 3,765 m, sous une borne repère, et n'a pas varié au cours de la période d'observation. D'anciennes observations faites en 1947, et un jaugeage au flotteur (1946) n'ont pu être rattachés à l'échelle actuelle.

Un limnigraphe OTT type X a été installé le 8 juillet 1980 en amont du bac.
Quarante-deux jaugeages effectués de 1954 à 1981 entre les cotes 28 et 311, pour une variation des débits de 32 à 770 m^3/s (tableau VII, page 25) ont permis de définir la relation hauteurs-débits de la station, la courbe d'étalonnage est obtenue avec une bonne précision.
L'extrapolation de la courbe, peu importante pour les

basses-eaux, a été prolongée jusqu'à plus de 1 300 m³/s pour les hautes-eaux, ce qui constitue un facteur d'imprécision notable pour la plus forte crue observée.
Le barème hauteurs-débits est indiqué ci-après.
Les lectures sont régulières et de bonne qualité. Elles sont contrôlées par correspondance des variations avec la station aval de Nyabessan. En 1958, les cotes négatives ont été déterminées par mesures directes sous le zéro de l'élément inférieur.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
-40	14	75	77	175	289	275	654
0	21	100	108	200	375	300	747
25	34,5	125	152	225	466	350	939
50	54,0	150	213	250	560	400	1138

N[os] d'identification : BASSIN DU NTEM

ORSTOM : 05 55 01 08
O.M.M. 40 3 012

Station : Ntem à Nyabessan
Coordonnées : Lat. : 2° 24' N
Long. : 10° 24' E
Altitude (station) : 365 m environ
Superficie du B.V. : 26 350 km².

La station a été installée, une première fois, le 7 septembre 1957 en rive droite, au passage des pirogues vers la Guinée Équatoriale. Elle se composait d'éléments d'échelle de 0 à 5 m. Le zéro était jusqu'en 1973 à 5,66 m sous la borne S.H. Lors des travaux de réfection du 16 février 1973, le zéro a été placé à 5,58 m sous cette borne. En 1978, une autre échelle composée d'éléments 0 à 4 m a été installée aux voisinages de l'ancienne échelle abandonnée. Son zéro est à 4,60 m sous la borne S.H.
Un limnigraphe OTT type X a été installé le 19 juillet 1980.
Dix-huit jaugeages ont été effectués entre 1957 et 1981 dont 3 réalisés dans les mois qui ont suivi l'installation de l'échelle (C. Rochette). Les mesures ont été réalisées entre les cotes 175 et 387, pour des débits variant entre 91 et 1 095 m³/s.
La liste des jaugeages est reproduite ci-après.

La courbe de tarage a permis de dresser le barème Hauteurs-Débits suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
170	70	260	340	360	912	460	1850
180	88	280	433	380	1065	480	2075
200	135	300	535	400	1225	500	2310
220	190	320	652	420	1415		
240	260	340	724	440	1620		

Les lectures, relevées par les chefs successifs du poste des Douanes, sont de bonne qualité.
La station de Nyabessan a été utilisée aux seules fins de contrôle de Ngoazik. Les cotes extrêmes relevées sont 114 et 498.

N[os] d'identification : BASSIN DU NTEM

ORSTOM : 05 55 50 03
O.M.M. 40 3 501

Station : Seng à Assosseng
Coordonnées : Lat. : 2° 50' N
Long. : 11° 09' E
Altitude (station) : 570 m environ
Superficie du B.V. : 440 km².

La station a été installée le 13 avril 1955 ; elle est située sur la culée du pont de la route Ebolowa-Ambam, côté rive droite et en aval. Elle est composée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m depuis 1965. Le zéro des premières échelles a été descendu de 1 m le 6 février 1959. Un élément de 4 à 5 m est rajouté en 1965. Le zéro est à 6,503 sous une borne repère ORSTOM située en rive droite et à 5,897 m sous une borne située en rive gauche.

Trente et un jaugeages ont été effectués de 1955 à 1978. Réalisés entre les cotes 73 et 338, ils permettent un étalonnage précis, compris entre les débits 0,33 et 23,5 m³/s (tableau ci-dessous, fig. A5). L'extrapolation de la courbe a dû être faite jusqu'à 38 m³/s pour une cote de 460.
Le barème d'étalonnage unique sur toute la période est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
30		125	2,70	225	11,25	325	21,85
50	0,110	150	4,40	250	13,7	350	24,9
75	0,335	175	6,65	275	16,2	375	30,9
100	0,925	200	8,90	300	18,8	400	27,9
						460	38,1

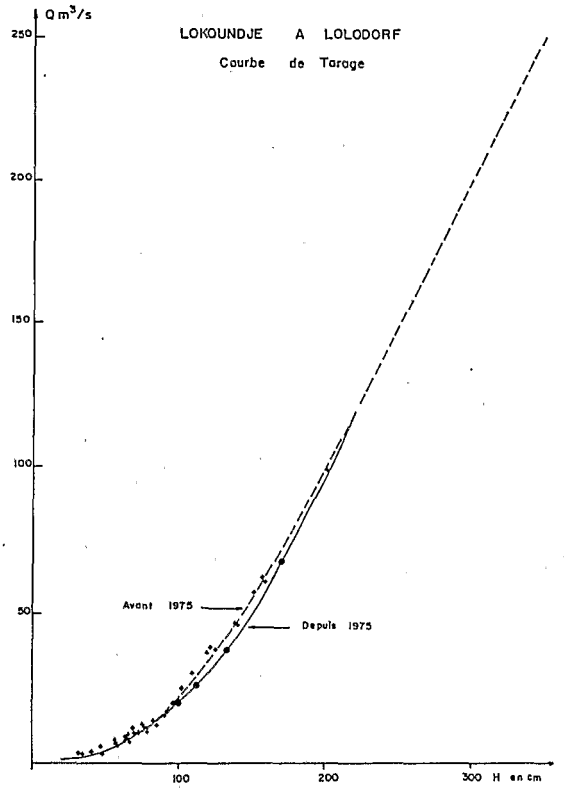
Les lectures sont régulières mais imprécises, les premières années, compte tenu des installations initiales insuffisantes pour couvrir l'amplitude des variations annuelles. Depuis 1965, le problème des amplitudes ayant été réglé, les relevés sont de meilleure qualité, mais souvent irréguliers.
Signalons qu'un petit affluent du Seng, le Mfiande à Ebolowa, utilisé pour l'adduction d'eau de cette ville a été suivi pendant les basses-eaux de 1975 à 1976.

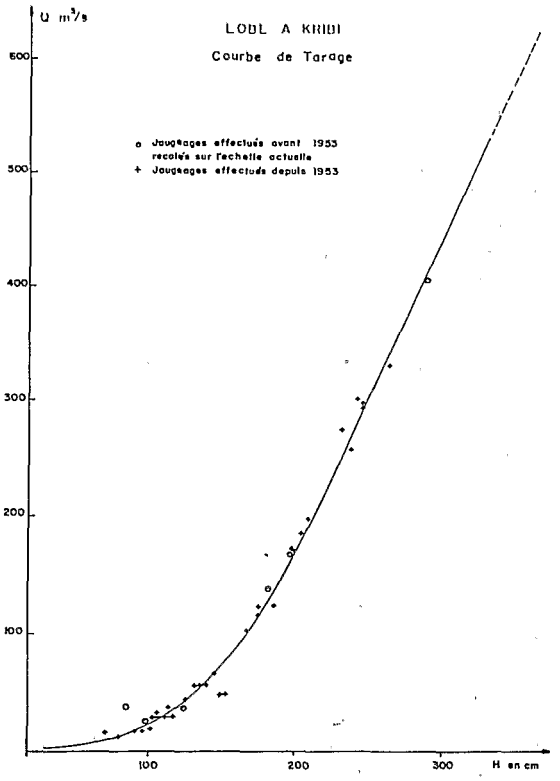
Tableau VI. – Jaugeages de la Lokoundje à Lolodorf.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	15.03.51	70	11,4	21	08.12.67	92	15,3
2	23.10.51	152	57,1	22	15.01.68	64	7,6
3	03.04.52	57	7,8	23	27.02.68	64	8,5
4	01.53	47	5,1	24	26.11.69	112	25,1
5	22.11.53	140	46,6	25	29.12.70	84	13,3
6	24.11.53	120	36,4	26	06.03.77	65	8,22
7	07.11.53	58	6,3	27	23.02.72	37,5	3,36
8	14.04.54	76	12,9	28	18.02.73	41	3,82
9	31.10.54	158	62,9	29	23.01.74	57	7,00
10	28.05.55	110	28,3	30	31.10.74	200-201	99,4
11	28.05.56	123	38,4	31	09.02.75	67	7,0
12	07.12.56	103	24,1	32	15.03.75	71,5	9,30
13	27.02.57	33	3,6	33	08.01.76	74	9,40
14	07.02.61	79	11,9	34	01.02.76	58	6,3
15	27.08.62	66	9,2	35	27.09.76	133-134	37,6
16	10.11.62	126	37,7	36	06.02.77	0,86	12,2
17	14.08.65	93	16,7	37	14.03.77	0,79	10,95
18	30.07.65	77	12,5	38	25.06.77	97	19,3
19	29.10.65	160	61,0	39	01.11.77	171,5	67,2
20	11.11.65	141	46,0				

Jaugeages de la Kienké à Kribi.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	26.08.62	225	13,6	11	30.11.71	283	54,0
2	26.03.64	229-231	19,8	12	18.10.73	404	146
3	31.03.64	246	29	13	18.10.73	403	149
4	19.01.68	227	18,9	14	31.10.74	364	121
5	01.08.68	210	9,45	15	09.02.75	226	16,2
6	28.11.69	302	65,8	16	12.09.75	250	31,8
7	05.04.70	297-295	53,6	17	28.10.75	400	138
8	22.11.70	304	69,0	18	07.01.76	238	13,8
9	05.03.71	226	10,30	19	25.06.77	255	33,3
10	19.02.73	208	8,93	20	02.11.77	341^{5}-341	104,5


Q m³/s
LOKOUNDJE A LOLODORF
Courbe de Tarage
250
200
150
100
50
Avant 1975
Depuis 1975
100
200
300 H en cm


Q m³/s
LODL A KRIBI
Courbe de Tarage
o Jaugeages effectués avant 1953 recalés sur l'échelle actuelle
+ Jaugeages effectués depuis 1953
600
500
400
300
200
100
100
200
300 H en cm

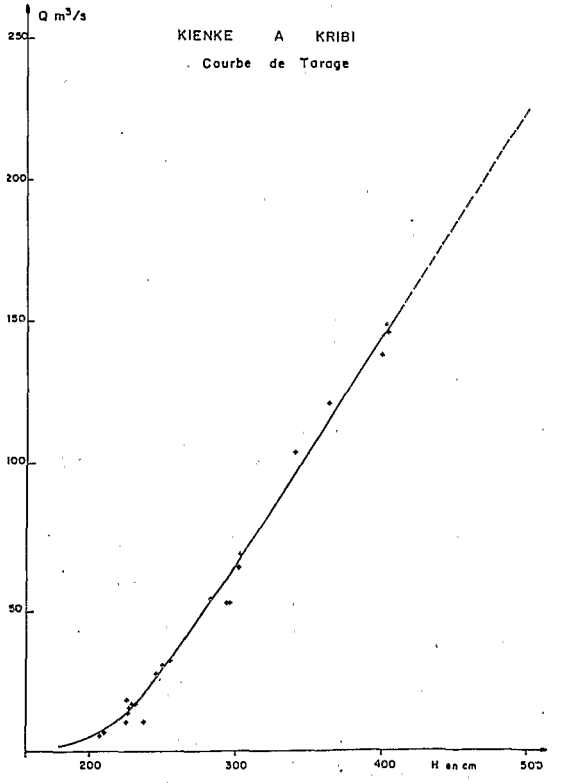

Q m³/s
KIENKE A KRIBI
Courbe de Tarage
250
200
150
100
50
200
300
400 H en cm
500

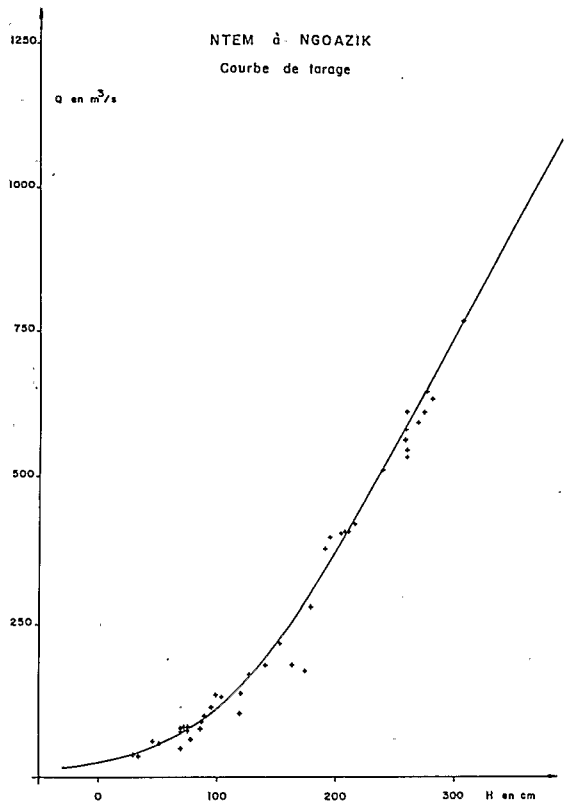
Fig. A4

Tableau VII. – Jaugeages de la Lobe à Kribi.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
(1)	14.01.50	650	39	21	15.08.65	114	36
2	05.05.50	746	141	22	19.01.68	106	32
3	28.09.50	760	168	23	27.01.69	175	117
4	20.10.50	850	405	24	04.04.70	148-153	47,9
5	23.02.51	688	39	25	22.11.70	200	171
6	26.02.51	663	23	26	15.03.71	130-140	55,1
7	25.11.53	186	126	27	19.02.73	80	12,2
8	13.04.54	126	44,6	28	18.10.73	246	295
9	02.11.54	237	259	29	18.10.73	246	299
10	30.05.55	198	172	30	24.01.74	91	15,6
11	22.11.55	175	124	31	30.10.74	231	275
12	02.04.56	209	198	32	10.02.75	123	31,2
13	25.05.56	206	187	33	12.09.75	141	61,5
14	08.12.56	167	103	34	27.10.75	236	266
15	01.03.57	96	16,4	35	08.01.76	108	13,12
16	26.08.62	71	(14,9)	36	28.09.76	234-235	256
17	08.11.62	264-262	331	37	26.06.77	129	48,1
18	23.03.64	118-104	28	38	02.11.77	242	301
19	31.03.64	145	67	39	27.11.78	161	95,7
20	25.07.64	102	17,6				

Jaugeages du Ntem à Ngoazik.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	12.01.54	77	61	22	01.11.74	275.5	649
2	11.04.54	140	182	23	06.02.75	120	139
3	30.10.54	258	546	24	12.03.75	98	134.5
4	09.05.56	238	513	25	10.09.75	34.3	32.2
5	06.12.56	258	612	26	25.10.75	268	611
6	25.02.57	51	55	27	09.01.76	118.5	103
7	09.01.58	127	167	28	23.06.77	163	185
8	30.08.62	89	25	29	03.12.77	175	176
9	16.11.62	210	406	30	18.07.78	106-105^{5}	126
10	28.07.65	87	86	31	06.02.79	70	47
11	28.10.65	311	770	32	12.12.79	153.5	222
12	12.11.65	280	638	33	10.03.80	47	56.2
13	24.01.68	95	111	34	22.09.80	179	282
14	30.07.68	86	78	35	23.09.80	192-191	377
15	24.11.69	259	560	36	24.09.80	196	396
16	07.03.71	76	80	37	25.09.80	206	402
17	27.11.71	208	408	38	26.09.80	216	419
18	22.02.72	28	35	39	21.10.80	260-258^{5}	535
19	17.02.73	70	73	40	22.10.80	258	581
20	21.08.73	75	74	41	24.10.80	268^{5}-268	594
21	22.01.73	69.5	79.8	42	21.01.81	72^{5}-73	73.6


NTEM à NGOAZIK
Courbe de tarage
Q en m³/s
1250
1000
750
500
250
0
100
200
300
H en cm

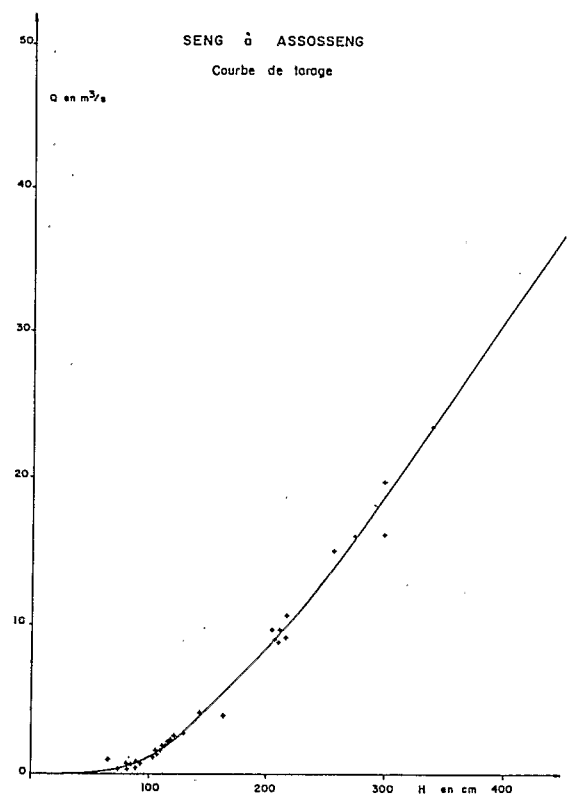

SENG à ASSOSSENG
Courbe de tarage
Q en m³/s
50
40
30
20
10
0
100
200
300
H en cm
400

Fig. A5

Tableau VIII. – Jaugeages du Ntem à Nyabessan.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	07.09.57	187	91	10	14.10.80	380.5	1 052
2	07.11.57	372	1 050	11	04.11.80	367-368	977
3	08.01.58	234	251	12	13.11.80	386^{5}-387	1 095
4	29.08.62	218	173	13	20.11.80	362	947
5	15.12.79	249	328	14	27.11.80	347-346	804
6	27.02.80	175	96	15	04.12.80	309	622
7	01.10.80	333.5	718	16	09.12.80	273-272	397
8	03.10.80	341-342	786	17	24.01.81	192	126
9	04.10.80	349	833	18	27.02.81	201.5	140

Jaugeages du Seng à Assosseng.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	26.05.55	204	9.65	17	21.08.73	122	2.52
2	05.12.56	298	16.04	18	15.10.73	274	16.0
3	24.02.57	88	0.383	19	16.10.73	299	19.7
4	04.02.60	92	0.652	20	17.02.73	104	1.12
5	12.11.62	210	8.8	21	06.02.75	114	1.86
6	29.07.65	143	4.0	22	11.09.75	73	0.329
7	29.10.65	338	23.5	23	24.10.75	216	9.02
8	12.11.65	216	10.5	24	10.01.76	112	1.90
9	24.01.68	107	1.23	25	26.02.76	118	2.22
10	29.07.68	110	1.50	26	27.09.76	130	2.72
11	25.11.69	207	9.11	27	02.11.76	210.5	9.60
12	06.03.71	116	2.19	28	14.03.77	105	1.58
13	26.11.71	164	3.92	29	23.06.77	182	7.00
14	22.02.72	81	0.345	30	31.10.77	256-256^{5}	15.0
15	15.02.73	84	0.663	31	19.01.78	81	0.718
16	17.02.73	89	0.810				

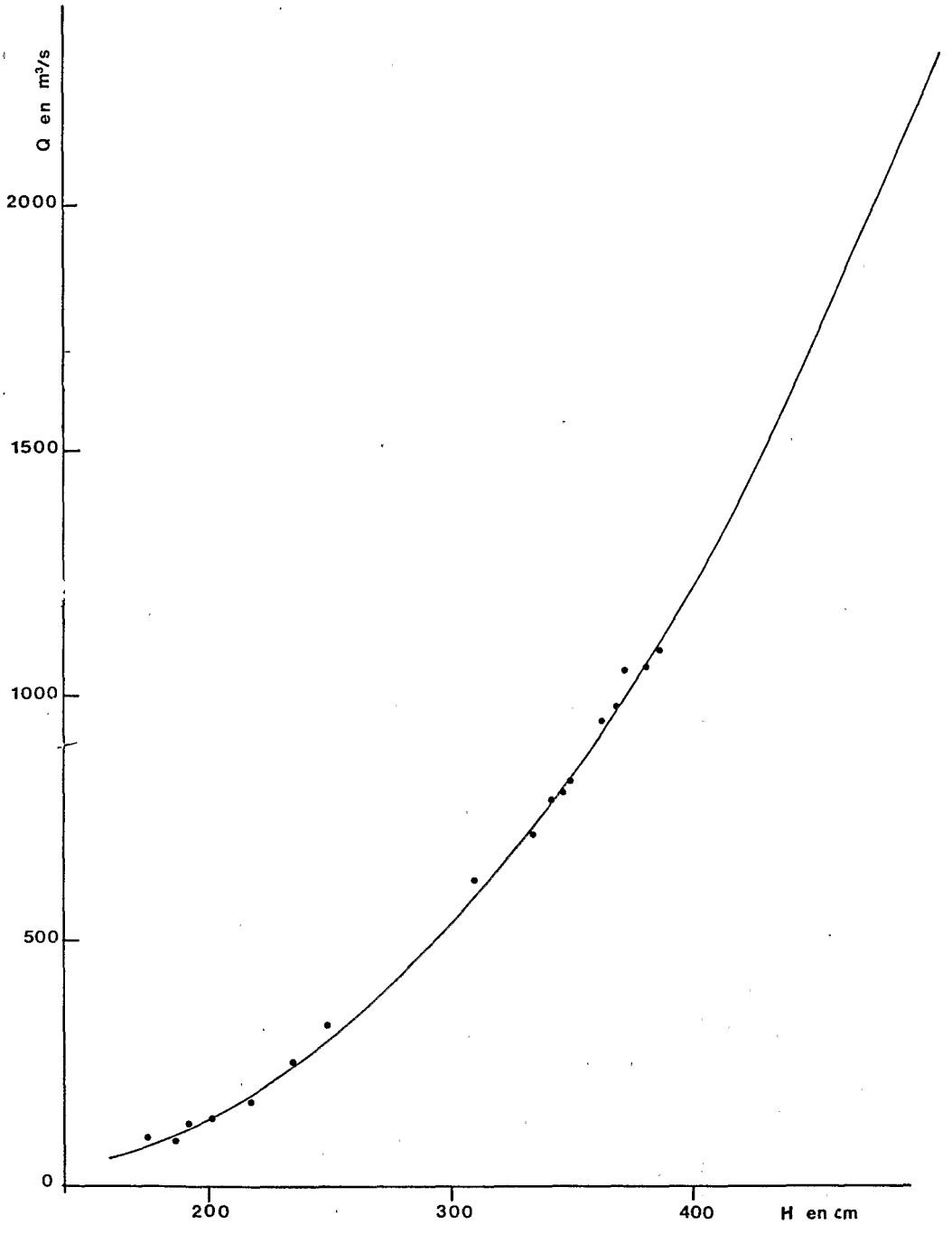


Fig. A6. – Courbe de tarage du Ntem à Nyabessan.

LES FLEUVES CÔTIERS A L'OUEST DE LA SANAGA

N^{os} d'identification
ORSTOM : 05 90 01 20
O.M.M. : 26 3 401

BASSIN DU WOURI

Station	:	Wouri à Yabassi
Coordonnées	:	Lat. : 4° 28' N Long. : 9° 58' E
Altitude (station)	:	12 m environ
Superficie du B.V.	:	8 250 km^2

Les relevés d'une première station antérieure à 1951 n'ont pu être utilisés. Cette première station installée par les T.P. est rappelée ici pour mémoire.
L'échelle limnimétrique ORSTOM a été installée le 26 janvier 1951 en rive droite du fleuve près du quai des Chargeurs Réunis. Détruite, elle a été remplacée le 2 juillet 1959 sur un fer IPN d'un seul tenant de 0 à 6 m.
Quarante-quatre jaugeages ont été effectués sur le Wouri à Yabassi entre 1951 et 1977, entre 31 m^3/s et 1 097 m^3/s (voir tableau IX ci-après).
Ces jaugeages ont permis d'établir la relation hauteur-débit et l'exploitation des observations de hauteurs d'eau. La figure A7 montre les différentes courbes d'étalonnage du Wouri à Yabassi. En effet cette station est caractérisée par un tarage évolutif.
Celui-ci se traduit par une diminution des débits pour une même hauteur d'eau et le détarage est relativement important pour les mesures de basses-eaux.
Les lectures d'échelle sont continues depuis 1951. Différents contrôles ont permis de vérifier la bonne qualité de l'ensemble des relevés limnimétriques. Seuls les mois de l'été 1961 ont des revelés visiblement erronés.

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 90 20 03
O.M.M. : 26 3 502

BASSIN DU WOURI

Station	:	Nkam à Melong
Coordonnées	:	Lat. : 5° 09' N Long. : 10° 00' E
Altitude (station)	:	699 m environ
Superficie du B.V.	:	2 275 km^2

La station a été installée le 23 janvier 1951 et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 5 m dont le zéro est à 8,26 m sous une borne IGN cotée 699,23 et située sur le parapet du pont côté aval. Les lectures sont régulières et de bonne qualité. Cette station montre une bonne corrélation entre ses relevés et ceux de Yabassi. D'autres stations permanentes ou temporaires ont été installées.
Trente-cinq jaugeages ont été effectués de 1953 à 1977 entre les cotes 34 et 354 pour des débits de 8 à 250 m^3/s (voir tableau ci-après).
L'étalonnage obtenu est de très bonne qualité ; l'extrapolation vers les hautes-eaux est peu importante. La courbe de tarage est indiquée figure A7.

Le barème de traduction hauteurs-débits est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
20	6,8	125	44,8	225	119	325	209	425	316
50	11,6	150	62,0	250	140	350	234	450	345
75	17,2	175	79,0	275	163	375	260		
100	29,3	200	98,0	300	186	400	288		

Les relevés sont continus depuis 1951 et de bonne qualité.

BASSIN DU WOURI

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 90 20 01
O.M.M. : 26 3 501

Station	:	Nkam à Ekom
Coordonnées	:	Lat. : 5° 04' N Long. : 10° 02' E
Altitude (station)	:	(620 m)
Superficie du B.V.	:	2 440 km²

Cette station a été installée le 5 mars 1952 sur l'ancien pont allemand et en rive droite, en amont des chutes.

• Rappelée ici pour mémoire.
Les jaugeages n'ont été effectués qu'aux basses-eaux.

BASSIN DU MUNGO

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 51 10 05
O.M.M. : 26 3 301

Station	:	Mungo à Mundame
Coordonées	:	Lat. : 4° 34' N Long. : 9° 32' E
Altitude (station)	:	17 m environ
Superficie du B.V.	:	2 420 km²

La station a été installée le 1[er] décembre 1951 en rive gauche, au poste de l'ancienne douane française. Déplacée en 1952, elle est installée sur le mur du quai côté aval en rive droite, et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 10 m. Le zéro des échelles est à l'altitude 16,507 m.
Trente-trois jaugeages ont été effectués de 1953 à 1977 entre les cotes 59 et 586. La liste des jaugeages figure dans le tableau ci-après.
Les mesures de débits s'ordonnent autour d'une unique courbe d'étalonnage sans grande dispersion (fig. A7). L'extrapolation de la relation des hauteurs-débits est importante pour les hautes-eaux. Le barème utilisé est indiqué ci-dessous :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
40	12,0	200	127	400	317	600	537	800	800
50	17,0	250	173	450	367	650	600	850	873
100	49,0	300	220	500	420	700	665	900	950
150	85,0	350	267	550	477	750	730		

On note dans les lectures des lacunes ou relevés douteux en 1952, 1953, en 1956, 1959, 1963, 1964 et 1968, ce qui réduit d'autant l'échantillon de données de base.

BASSIN DE LA SANJE

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 75 10 05
O.M.M. : 26 3 151

Station	:	Sanje à Idenau
Coordonnées	:	Lat. : 4° 14' N Long. : 8° 58' E
Altitude (station)	:	29,10 m
Superficie du B.V.	:	77 km²

A la demande d'E.D.F., l'ORSTOM a installé en février 1966 une station limnimétrique composée de trois éléments d'échelle. Un limnigraphe OTT X a complété l'équipement de la station à partir de 1967.
• Rappelée ici pour mémoire.
Les jaugeages ont donné les résultats ci-après (tableau X).

BASSIN DE L'OMBE

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 65 10 03
O.M.M. : 26 3 211

Station	:	Ombe au Pont
Coordonnées	:	Lat. : 4° 05' N Long. : 9° 17' E
Altitude (station)	:	(150 m)
Superficie du B.V.	:	92 km²

Une échelle aurait été installée en 1949 et lue en basses-eaux jusqu'en 1951. Une nouvelle échelle a été posée en décembre 1963.
Elders et Eyffes ont donné les valeurs suivantes : février 1949 : 5,3 m³/s ; mars 1950 : 3,7 m³/s ; 22 février 1951 : 3,6 m³/s.
Trois mesures de débits ont été effectuées durant la saison sèche 1963 sans être apparemment rattachées à une hauteur à l'échelle (celle de 1949 ayant peut-être disparu).
Sept jaugeages ont été effectués entre mars 1964 et octobre 1965 par F. Buchner and partners, Ingénieur Conseil à Victoria (mesures demandées par la West Cameroons Electricity Corporation).

Trois jaugeages ont été effectués par l'ORSTOM de début 1966 à mars 1967.
La liste des jaugeages a été reportée dans le tableau ci-après.
Les jaugeages de Frédrich Buchner permettent de tracer une courbe de tarage, le jaugeage 1967 correspond bien à cette courbe ; par contre, les deux jaugeages de 1966 sont nettement en dessous (17 cm environ) bien que donnant des débits très vraisemblables pour janvier et février.
Mobilité du lit de la rivière à déterminer.
Les lectures, de bonne qualité, étaient effectuées par la West Cameroons Electricity Corporation. Les autres mesures n'ont abouti qu'à un tarage partiel.

BASSIN DE LA CROSS RIVER

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 32 10 06
O.M.M. : 36 3 102

Station	:	Cross River à Mamfé
Coordonnées	:	Lat. : 5° 43' N Long. : 9° 19' E
Altitude (station)	:	44 m environ
Superficie du B.V.	:	6 810 m²

La station a été installée le 11 octobre 1964 par l'ORSTOM et est composée d'éléments d'échelle de 0 à 12 m. Une borne hydrologique repère a été posée à droite du sentier à la hauteur de l'élément 10-12. Des déprédations fréquentes ont nécessité de multiples réfections sans décalage du zéro de l'échelle.
Quarante-huit jaugeages ont été effectués de 1966 à 1977 entre les cotes 86 et 760, pour les débits respectifs de 26 et 1 780 m³/s. La liste des jaugeages est reportée ci-après (tableau XI).
L'étalonnage de basses-eaux et moyennes-eaux a été réalisé par les hydrologues de l'ORSTOM, tandis que POWERCAM (Société d'électricité rattachée à la SONEL depuis 1975) tentait avec un équipement lourd (transport téléphérique) d'étalonner les hautes-eaux.

La courbe d'étalonnage (fig. A7) est obtenue avec une bonne précision jusqu'à 2 000 m³/s. Au-delà, l'extrapolation de la courbe mériterait d'être vérifiée expérimentalement. Le barème utilisé est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
50	13,2	250	260	450	650	650	1185	900	2625
100	33,8	300	350	500	770	700	1400	1000	3245
180	100	350	440	550	890	750	1710	1100	
200	180	400	535	600	1025	800	2025	1200	

Les lectures sont de qualité irrégulière, surtout avant 1968.

BASSIN DE LA MEME

N[os] d'identification :
ORSTOM : néant
O.M.M. : 26 3 101

Station	:	Meme à Baï
Coordonnées	:	Lat. : 4° 29' N Long. : 9° 07' E
Altitude (station)	:	12 m
Superficie du B.V.	:	975 km²

Station suivie de 1973 à 1976 par Powercam.

• Rappelée ici pour mémoire.

Tableau IX. – Jaugeages du Wouri à Yabassi.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	26.01.51	19	113	23	19.07.67	259	518
2	02.03.51	- 3	41	24	18.10.67	430-428	970
3	14.12.51	75	154	25	31.01.68	62	67
4	13.01.53	28	86	26	26.07.68	220	406
5	03.04.53	10	65	27	22.04.69	133-131	195
6	15.10.53	222	429	28	10.12.69	141	171
7	26.10.53	246	415	29	27.08.70	299-298	578
8	27.10.53	284	560	30	16.09.70	347	680
9	02.06.55	90	197	31	23.02.71	58	45
10	31.01.56	26	68	32	28.08.71	358	732
11	19.06.56	158-153	303	33	03.09.71	450-447	1030
12	12.12.56	102-101	188	34	15.09.71	424-426	950
13	11.03.57	24	66	35	29.12.71	100	100
14	16.10.57	375-371	913	36	04.02.72	70	60
15	21.10.57	353-351	805	37	17.07.72	133	165
16	19.09.58	454-436	1097	38	15.02.73	605	44,8
17	19.09.58	375-370	797	39	16.03.73	66-65	51
18	17.09.58	429-430	1078	40	13.02.74	50	31
19	15.02.66	48	54	41	14.09.75	300	565
20	18.01.67	72	79	42	21.02.76	87	71,6
21	22.02.67	45	47	43	21.02.76	99	94,1
22	22.03.67	39	39	44	12.03.77	68	36,4

Jaugeages du Nkam à Melong.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	29.10.53	196	85,3	19	07.03.66	47	9,3
2	17.06.56	129	47,2	20	01.02.68	72-71	14,5
3	17.12.56	107	34,1	21	25.02.70	58	14,25
4	09.03.57	80-79	20,3	22	05.03.70	52,5	13,70
5	13.05.57	104		23	01.09.71	281-282	170
6	14.10.57	305		24	07.09.71	278-277	179,5
7	15.10.57	302		25	04.03.73	52-53	11,20
8	10.08.58	220	114	26	17.01.74	55	13,3
9	20.09.58	352	236	27	10.02.74	34	7,92
10	04.02.62	68	12,1	28	22.03.74	37	8,7
11	14.02.64	65	13,1	29	28.01.75	65	13,98
12	04.09.65	292	173	30	18.03.75	79	19,4
13	10.09.65	307	197	31	06.01.76	75	15,98
14	20.09.65	345	232	32	19.10.76	354-352	249,5
15	28.09.65	260	151	33	13.01.77	89	20,5
16	06.11.65	165	71	34	14.06.77	141	60,75
17	16.11.65	140	53,4	35	02.11.77	167	73,8
18	18.02.66	75	19				

Tableau X. – Jaugeages du Mungo à Mundame.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	15.01.53	73	38,3	18	01.09.71	385	310
2	29.01.56	72	38,2	19	27.09.71	403	334
3	18.06.56	256	173	20	20.01.72	82	32
4	14.12.56	134	72	21	18.03.72	84	37
5	10.03.57	80	41	22	14.07.72	210	125
6	11.10.57	331	252	23	21.02.73	159	83
7	15.05.57	140	86	24	16.03.74	114-111	56,4
8	08.08.58	586	516	25	03.04.74	116	
9	26.09.58	406	316	26	05.09.74	448-450	380
10	20.05.62	195	128	27	27.01.75	74	30,9
11	06.02.66	72	27,2	28	13.03.75	135-134	66,8
12	16.02.66	72	30,8	29	28.01.76	78	35,5
13	17.01.67	91	43,4	30	23.02.76	125	65,7
14	20.07.67	409	303	31	14.10.76	375-373	227,5
15	19.11.67	201	128	32	13.03.77	59	20,2
16	11.01.68	118	62	33	13.06.77	206-205	124
17	29.08.71	341	255	34	28.10.77	222^{5}-222	142

Jaugeages de la Sanje à Idenau.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations	N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations
1	17.12.65	Pas d'échelle	6.8	E.D.F.	4	06.01.67	30	4.47	ORSTOM
2	03.02.66	28	3.53	ORSTOM	5	08.01.67	30	4.55	"
3	06.01.67	30	4.85	"					

Jaugeages de l'Ombe au Pont.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations	N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations
1	21.03.63		3.24	F. BUCHNER	8	26.08.64	69-65	8.81	F. BUCHNER
2	22.04.63		2.94	"	9	29.08.64	57	6.03	"
3	22.05.63		3.18	"	10	25.11.64	56	6.79	"
4	12.12.63	53	5.31	"	11	15.01.66	68	3.62	NOUVELOT
5	02.01.64	50	4.00	"	12	01.02.66	67.5	3.53	"
6	25.01.64	48	3.60	"	13	05.03.67	49	2.90	ROUQUEROL
7	04.05.64	47	2.78	"					

(Jaugeages complémentaires : 19/01/72 : 26 ; 3,11 – 18/03/72 : 21 ; 2,36 – 16/02/73 : – ; 2,50 – 22/02/73 : 6 ; 2,30 – 17/03/73 : 4 ; 2,35 – 27/10/77 : 47-48 ; 5,13 – 23/03/78 : 37 ; 1,83).

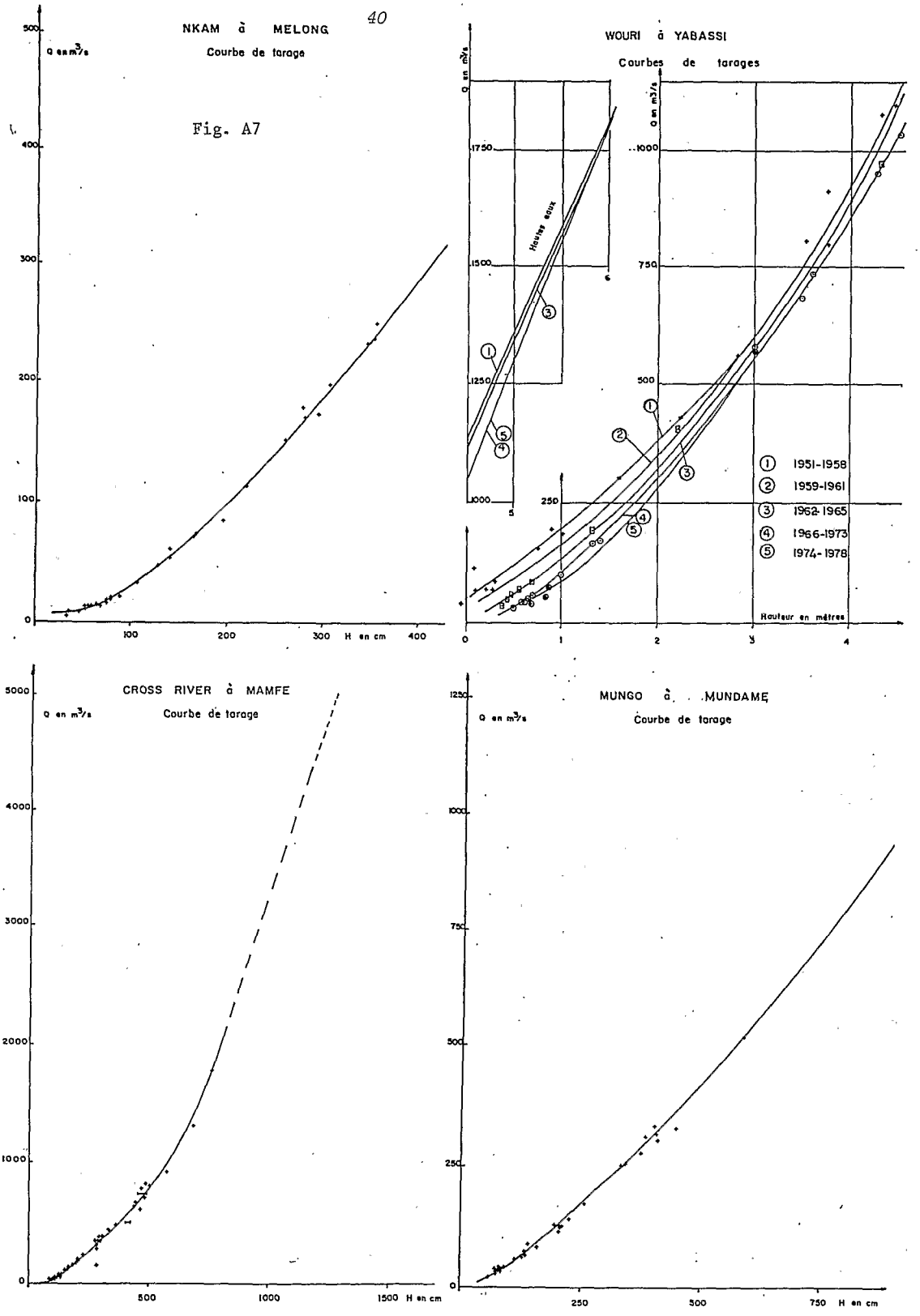

NKAM à MELONG
Courbe de tarage
Q en m³/s
H en cm
WOURI à YABASSI
Courbes de tarages
Hautes eaux
1 1951-1958
2 1959-1961
3 1962-1965
4 1966-1973
5 1974-1978
Hauteur en mètres
CROSS RIVER à MAMFE
Courbe de tarage
MUNGO à MUNDAME
Courbe de tarage

Fig. A7

Fig. A7.

Tableau XI. – Jaugeages de la Cross River à Mamfé

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	28.02.66	86	26	25	31.12.73	132	74,5
2	26.01.67	122	67	26	02.02.74	105	38,5
3	10.03.67	89	27	27	06.02.74	100	33,8
4	07.02.68	117	49	28	02.03.74	103	34,6
5	21.01.72	131-125	65	29	17.03.74	115	51,3
6	17.03.72	123	58	30	03.04.74	224	228
7	13.07.72	309	375	31	04.05.74	188-197	166
8	23.02.73	118-117	54	32	31.05.74	265-292	341,5
9	27.03.73	149	110	33	05.07.74	333	428
10	26.04.73	149	103	34	01.08.74	481-500	805
11	05.06.73	287	172	35	22.10.74	492-456	722
12	03.07.73	298	340	36	28.11.74	206	190
13	06.08.73	760	1780	37	04.01.75	135	41,2
14	07.08.73	461^{5}-478	763	38	21.01.75	115	47,9
15	20.08.73	507-502	790	39	05.02.75	109	44,4
16	21.08.73	439-438	620	40	06.03.75	99	34
17	21.08.73	446-445	650	41	12.04.75	163-157	117,5
18	21.08.73	483-481	687	42	24.05.75	182-180	152,6
19	04.09.73	678-695	1300	43	24.06.75	285-283	290,0
20	14.10.73	362	469	44	03.08.75	437-494	600
21	25.10.73	421-402	495	45	05.09.75	574-572	908
22	01.11.73	300-298	364	46	29.01.76	126	62,7
23	02.11.73	301-296	348	47	15.03.77	88	28
24	04.12.73	171-160	132	48	18.06.77	279	315

STATIONS DU BASSIN DE LA SANAGA

Stations du bassin principal de la Sanaga

N^{os} d'identification : BASSIN DE LA SANAGA
ORSTOM : 05 23 55 03
O.M.M. : 38 3 551

Station : Vina-Sud au Lahore
Coordonnées : Lat. : 7° 15' N
Long. : 13° 34' E
Altitude (station) : 1 056,320 m
Superficie du B.V. : 1 680 km^2

Du 12 novembre 1945 au 30 septembre 1955 une échelle était installée sur le pont de la route Ngaoundere-Meiganga. Elle a été abandonnée pour celle du Lahore.
Cette station, en amont de la précédente, a été ouverte le 27 février 1951 par la Mission Logone-Tchad puis prise en charge par le Centre ORSTOM de Yaoundé en 1953. Elle est située en rive droite en amont de la station de pompage du Lahore. Son zéro est calé à 1,757 m au-dessus du repère I.G.N. (1 054,563) et, par conséquent, à l'altitude de 1 056,320 m. Du 15 octobre 1955 au 4 février 1966, l'échelle était doublée d'un limnigraphe OTT type X.
Trente six jaugeages ont été effectués de 1947 à 1971, entre les cotes 67 et 312 cm, pour des débits respectifs de 6,02 et 128 m^3/s.
La liste des jaugeages est donnée ci-après (actualisée à 1981).
La station est stable en moyennes et hautes-eaux ; elle l'est moins en basses-eaux. A partir des 36 jaugeages précédents, un étalonnage unique a été établi, au détriment d'une connaissance précise des débits d'étiage. L'extrapolation des très hautes-eaux H $\geqslant$ 300 est linéaire et ne porte que sur une cinquantaine de centimètres (H max = 350).

Le barème d'étalonnage est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q
60	5	160	37	260	95.5
70	7	170	42	270	102
80	9	180	47	280	108.5
90	11.3	190	52.5	290	115
100	13.9	200	58	300	121.5
110	17.2	210	64	310	128
120	20.6	220	70	320	134.5
130	24.3	230	76	330	141
140	28.3	240	82.5	340	147.5
150	32.5	250	89	350	154.5

Les lectures sont de qualité très variable et même, quelquefois, purement et simplement inventées ; le limnigraphe du Lahore a eu de nombreuses défaillances.

N^{os} d'identification : BASSIN DE LA SANAGA
ORSTOM : 05 23 15 07
O.M.M. : 38 3 152

Station : Djerem à Mbakaou (E2)
Coordonnées : Lat. : 6° 18' N
Long. : 12° 48' E
Altitude (station) : 825 m environ
Superficie du B.V. : 20 200 km^2.

Une station amont E1 avait été installée le 8 août 1959. Dès janvier 1968, elle a subi l'influence des travaux de construction du barrage et a été fermée le 28 avril 1968. Son zéro était à l'altitude 825,70 m.

La station aval (E2) a été ouverte le 15 mars 1967. Elle est située à 2 850 km en aval de la précédente et à 500 m du barrage. L'échelle limnimétrique est composée d'éléments d'échelle de 0 à 7 m rattachés à une borne ORSTOM

et à la borne ENELCAM B2. Son zéro est à l'altitude 825,30 m.
Après réfection des éléments supérieurs, l'altitude du zéro de l'échelle serait à 825,227 m. Le 7 février 1968, l'échelle est doublée par un limnigraphe OTT type X.
Soixante dix sept jaugeages ont été effectués de 1967 à 1971 entre les cotes 20 et 444 cm, avec des débits variant entre 33 et 1 180 m³/s. (28 jaugeages avaient été faits sur la station amont.) Depuis 1971, un complément de jaugeages a été effectué dans le cadre de la gestion de la retenue ; il montre un décalage vers le haut du zéro de l'échelle de 8 cm environ.
La construction, puis la destruction d'ouvrages provisoires en aval de l'échelle en février et mars 1968, ont entraîné un détarage pour les basses-eaux, jusqu'à la cote 1,20 m environ. Les barèmes et périodes d'utilisation sont présentés ci-contre.
Lectures complètes et dans l'ensemble correctes sauf la première année ; leur fréquence est journalière.

Avant mars 1968 : Après :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		180	312	360	860	540	1760	0	
30	50	210	388	390	990	570	1930	30	25
60	86	240	470	420	1125	600	2090	60	63
90	134	270	560	450	1275	630	2255	90	110
120	189	300	640	480	1440	660		120	170
150	248	330	740	510	1600	690		150	235

Depuis 1972, on a le barème suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		180	312	360	880	540	1780
30	50	210	388	390	1010	570	1950
60	86	240	470	420	1145	600	2110
90	134	270	560	450	1295	630	2275
120	189	300	660	480	1460	660	
150	248	330	760	510	1620	690	

A partir du 7 février 1968, les lectures sont doublées par les limnigrammes.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 20 03
O.M.M. : 38 3 201

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Lom à Betare-Oya
Coordonnées : Lat. : 5° 55′ N
Long. : 14° 08′ E
Altitude (station) : 662 m environ
Superficie du B.V. : 11 100 km²

La station est située à 10 km à l'ouest de Betare-Oya, au bac, sur la piste de Mararaba. L'échelle limnimétrique a été réinstallée plusieurs fois à cause des détériorations. Installée en 1946 par les Travaux Publics, la première échelle a disparu et il n'y a aucune indication sur le calage du zéro. L'échelle actuelle a été mise en place par l'ORSTOM le 1[er] avril 1951 en rive gauche, à quelques mètres en amont du bac. Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 6 m. Son zéro est calé à la cote 94,125 par rapport à une borne repère dont la cote fictive est + 100,00 m.
Du 11 janvier au 10 juin 1968 et du 10 décembre 1968 au 3 juin 1969, l'échelle était doublée par un limnigraphe OTT type X.
Vingt trois jaugeages ont été effectués de 1951 à 1971 entre les cotes 26 et 535 cm, avec des débits respectifs de 23,6 et 560 m³/s.
La liste des jaugeages est donnée ci-après, tableau XIV, p. 47.

La station est dans l'ensemble stable : à partir des jaugeages précédents, il a été tracé une courbe de tarage qui a donné le barème de traduction des hauteurs en débits suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		180	170	360	365	540	565
30	27	210	205	390	405	570	600
60	54	240	235	420	435	600	630
90	82	270	270	450	470	630	665
120	110	300	300	480	500	660	
150	140	330	335	510	535	690	

L'ensemble des lectures est de qualité moyenne. Outre des défaillances et des erreurs de lectures, on trouve des relevés douteux. La plupart du temps, une cote inventée entre deux bonnes lectures.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 01 06
O.M.M. : 38 3 012

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Sanaga à Goyoum
Coordonnées : Lat. : 5° 12′ N
Long. : 13° 22′E
Altitude (station) : 616,71 m
Superficie du B.V. : 50 500 km².

Une échelle avait été installée par Jean Faivre, Ichtyologiste des Eaux et Forêts en 1954. Les relevés de 1955 sont complets. Son zéro était approximativement à 33 cm au-dessous de l'échelle actuelle.

Une nouvelle échelle limnimétrique a été mise en service par l'ORSTOM le 22 mars 1961. Elle est située à l'aboutissement à la Sanaga de la piste Bertoua-Dengdeng-Goyoum et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 6 m. Son zéro est à l'altitude 616,71 m et est calé à 4,608 m sous la borne ORSTOM cotée 621,32 m.
Le calage du zéro est inchangé depuis la date d'installation.
Le 17 décembre 1970, cette station est équipée d'un poste émetteur-récepteur pour communication rapide des lectures.
Le 15 janvier 1971, l'échelle est doublée d'un limnigraphe OTT type XX.
Dix neuf jaugeages ont été effectués de 1961 à 1971, entre les cotes 50 et 300 cm pour les débits respectifs de 85,5 et 1 194 m³/s ; et dix sept jaugeages en 1978, entre les cotes 91,5 et 230.
La liste des jaugeages est donnée ci-après (tableau XV).
Une première courbe de tarage a été tracée à partir des 19 jaugeages effectués entre 1961 et 1971. La station paraît stable.
La courbe de tarage de 1978 fait apparaître une certaine dispersion des mesures pour quelques valeurs, notamment autour de la cote 140. Cependant, l'ajustement de la courbe d'étalonnage est obtenu avec une bonne précision et correspond aux mesures effectuées avant cette campagne.
Le barème précédemment utilisé a été légèrement modifié entre les cotes 120 et 210 afin d'éliminer de faibles variations de forme de la courbe que l'expérimentation ne justifiait pas.
Le barème est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		150	435	300	1192	450	
30		180	585	330		480	
60	112	210	735	360		510	
90	201	240	885	390		540	
120	305	270	1035	420		570	

Les lectures sont complètes et bonnes dans l'ensemble. Leur fréquence est de deux lectures par jour jusqu'en 1964, elle passe ensuite à trois lectures.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 01 09
O.M.M. : 38 3 014

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Sanaga à Nachtigal
Coordonnées : Lat. : 4° 21' N
Long. : 11° 38' E
Altitude (station) : 425,91 m
Superficie du B.V. : 76 000 km².

Une première échelle a été implantée en rive gauche par les Travaux Publics de Yaoundé avant octobre 1942, mais il n'a pas été possible de reconstituer le calage, le repère ayant disparu.
Une deuxième échelle a été installée par la Division Technique des Travaux Publics en 1945. Son zéro était calé 1,45 m au-dessus du zéro actuel. Le zéro de cette échelle a été descendu début février 1948. La cote de ce nouveau zéro n'a pu être déterminée.
L'échelle actuelle a été implantée le 15 février 1951, en aval du bac et en rive gauche par l'ORSTOM. Son zéro est à l'altitude de 425,91 m. Le 15 mars 1978, un nivellement de contrôle donne le zéro à 2,873 m sous la borne hydrologique implantée en 1975 par suite de la disparition de la borne IGN. Cette échelle a été doublée en 1967, par un limnigraphe OTT type X. A cet appareil, a été substitué le 15 décembre 1968 un limnigraphe OTT type XX.
Cinquante six jaugeages ont été effectués de 1947 à 1978 entre les cotes 31 et 358 cm pour des débits variant entre 163 et 3 480 m³/s.
La liste des jaugeages est donnée ci-après (tableau XV).
Les 12 jaugeages effectués en 1978 ont montré un détarage de la section de mesure aux basses-eaux. Les débits sont plus forts que ceux donnés dans un précédent étalonnage.
Le nouveau barème de traduction des hauteurs en débits est indiqué ci-dessous :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
		110	588	210	1515	310	2680
		120	662	220	1620	320	2815
		130	740	230	1730	330	2945
40	195	140	820	240	1840	340	3090
50	242	150	908	250	1950	350	3230
60	290	160	1005	260	2070	360	3390
70	344	170	1108	270	2190	370	
80	400	180	1205	280	2305	380	
90	459	190	1306	290	2415	390	
100	520	200	1410	300	2550	400	

Les lectures à l'échelle « ORSTOM » sont dans l'ensemble complètes et correctes à quelques exceptions près les deux premières années.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 01 03
O.M.M. : 38 3 011

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Sanaga à Edéa « Ech. 0 »
Coordonnées : Lat. : 3° 46' N
Long. : 10° 04' E
Altitude (station) : 25 m environ
Superficie du B.V. : 131 500 km².

Pour les nombreuses anciennes échelles et les échelles secondaires, se reporter à la Monographie Hydrologique n° 3 de l'ORSTOM – Édition Paris 1975 –Intitulée « Le Bassin de la Rivière Sanaga ».
Cette station dite Échelle 0 (ou Ekite) a été mise en service en mai 1959, en remplacement de la précédente, influencée par l'aménagement d'Edéa II. Elle est située à l'aval immédiat du confluent du bras mort et du bras principal et se compose d'un élément supérieur 0-700 dont le zéro est à la cote 7,35 m (système Edéa) et d'un élément d'étiage 0-100 dont le zéro à l'origine est à la cote 6,35.
Un limnigraphe OTT type X a été installé en 1960, mais a fonctionné de façon assez sporadique. Il a été remplacé par un limnimètre équipé d'un dispositif de télémesure (SELSING) avec affichage à la Centrale de la cote à l'échelle.
La répartition du débit de la Sanaga entre le bras mort et le bras principal a varié à deux reprises au cours de la période d'observation 1943-1970 :
1° à la suite des travaux d'Edéa II (1951-1955) ;
2° à la suite de la surélévation de la digue rive droite (basses-eaux 1958-59).
Les nombreux jaugeages effectués sur les 2 bras de 1959 à 1970, entre les cotes réelles 656 et 1 402, pour des débits variant entre 216 et 3 740 m³/s, ont permis d'établir une courbe d'étalonnage unique.
Les barèmes de traduction des hauteurs en débits utilisés depuis le 1er mai 1959 jusqu'à ce jour sont donnés ci-après.

Barème basses-eaux

H en cm	Débits en m³/s						
	(1960-1961 (1970)	(1962-1963	(1964 et 1966)	(1965)	(1967)	(1968)	(1969)
650			202				
60	155	188	230				
70	182	218	261		240	245	
80	212	250	293	270	272	267	
90	245	284	327	301	308	295	
700	280	319	364	333	345	328	390
10	319	356	405	368	384	366	427
20	360	395	448	405	426	410	465
30	405	429	490	440	469	454	505
40	452	466	535	477	514	499	547
50	500	506	580	517	558	545	590
60	549	550	625	560	606	591	633
70	600	597	673	606	655	638	677
80	652	648	723	654	704	685	723
90	705	702	771	706	754	733	771
800	760	760	820	760	804	783	820
10	816	816	869	816	855	835	869
20	873	873	919	873	906	889	919
30	932	932	971	932	957	944	971
40	992	992	1020	992	1010	1000	1020
50	1050	1050	1080	1050	1070	1060	1080
60	1120	1120	1140	1120	1140	1130	1140
70	1180	1180	1200	1180	1200	1190	1200
80	1250	1250	1260	1250	1260	1260	1260
90	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320
900	1390	1390	1390	1390	1390	1390	1390

Les lectures sont régulières et de bonne qualité.

Barème moyennes et hautes-eaux

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
800	760	940	1680	1080	2950	1220	4630	1360	6720
820	873	60	1840	1100	3160	1240	4910	1380	7040
840	992	80	2010	1120	3380	1260	5210	1400	7360
860	1120	1000	2180	1140	3610	1280	5510	1420	7690
880	1250	1020	2360	1160	3850	1300	5820	1440	8020
900	1390	1040	2550	1180	4100	1320	6120	1460	8360
920	1530	1060	2740	1200	4360	1340	6420		

Les lectures sont régulières et de bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 27 03
O.M.M. : 38 3 271

BASSIN DE LA SANAGA

Station :Ndjeke à Ngongon
Coordonnées : Lat. 4° 48' N
Long. : 12° 00' E
Altitude (station) : 560 m environ
Superficie du B.V. : 3 720 km².

La station a été installée le 16 février 1968, à la demande d'Enelcam. L'échelle est située au passage des pirogues, en rive droite. Elle est composée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m. Le même jour, un limnigraphe OTT de type X a été installé en vue du contrôle des basses-eaux. Cet appareil a été retiré définitivement le 24 juin 1969.
Huit jaugeages ont été effectués de 1968 à 1969 entre les cotes 74 et 289 cm pour des débits respectifs de 1,19 et 124 m³/s. La liste de ces jaugeages est reproduite ci-après. Les jaugeages ont permis d'établir un barème hauteurs-débits provisoire. Une extrapolation logarithmique a été appliquée pour les hautes-eaux.

Les difficultés d'accès à la station n'ont pas permis d'y multiplier les mesures.
Les lectures sont journalières mais de qualité très irrégulière.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	16.02.68	74	1.19	5	31.07.68	151	22.8
2	16.02.68	74	1.26	6	26.09.68	289	124
3	20.03.68	96	4.24	7	23.01.69	128	15.4
4	15.05.68	127-126	11.8	8	16.04.69	128	15.4

N.B. : Le jaugeage n° 7 donnait 7,72 m³/s ; la correction faite suppose une erreur de dépouillement.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 29 05
O.M.M. : 38 3 291

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Tere à Ndoumba
Coordonnées : Lat. : 4° 38' N
Long. : 12° 17' E
Altitude (station) : 568,16 m
Superficie du B.V. : 1 730 km².

La station a été installée le 14 mai 1963 à proximité de Ndoumba en rive gauche et en amont du pont. Elle est composée d'éléments d'échelle de 0 à 5 m. Son zéro est à la cote 568,179 m et rattaché au repère IGN qui est à l'altitude de 575,475 m.
54 jaugeages ont été effectués de 1963 à 1983 entre les cotes 023 et 438 cm à l'échelle pour des débits correspondants de 1,53 à 101 m³/s.

La liste des jaugeages est donnée ci-après (tableau XVI). L'étalonnage est dans l'ensemble satisfaisant. On dénote cependant une légère dispersion aux environs de la cote H = 2,00 m. La courbe de tarage précisée au cours de la dernière décennie en dessous de 60 m³/s n'a pas subi de modifications.
Les lectures effectuées deux fois par jour sont correctes et de bonne qualité.

Stations du bassin secondaire du Mbam

Nos d'identification :
ORSTOM : 05 23 40 03
O.M.M. : 38 3 401

BASSIN DE LA SANAGA

Station	:	Mape à Magba
Coordonnées	:	Lat. : 5° 55' N Long. : 11° 16' E
Altitude (station)	:	683,89 m
Superficie du B.V.	:	4 020 km².

La station est située à 6 km de Magba sur la route de Foumban à Banyo. L'échelle limnimétrique a été installée le 1er janvier 1952 en rive gauche et sur la culée du pont. Elle se compose d'éléments de 0 à 6 m. Son zéro est à l'altitude 683,89 m.
Une station aval a aussi été installée pour contrôler le remous dû au confluent avec le Mbam.

70 jaugeages ont été effectués de 1953 à 1982 entre les cotes 13 et 462 cm pour des débits variant entre 1,95 et 328 m³/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau XVII.
Ces jaugeages ont permis de construire une courbe de tarage stable pour les basses-eaux. En moyennes et hautes-eaux, l'on constate une certaine dispersion des points de mesures.

Nos d'identification :
ORSTOM : 05 23 25 09
O.M.M. : 38 3 252

BASSIN DE LA SANAGA

Station	:	Mbam à Mantoum
Coordonnées	:	Lat. : 5° 37' N Long. : 11° 11' E
Altitude (station)	:	660 m environ
Superficie du B.V.	:	14 700 km².

La station a été mise en service le 21 avril 1965 par l'ORSTOM. Elle est située au lieu-dit « Mantoum Palais », résidence du Sultan de Foumban, et se compose d'éléments de 0 à 6 m. Son zéro est à 5,973 m sous le repère ORSTOM.
38 jaugeages ont été effectués de 1965 à 1981 entre les débits respectifs de 8,4 et 1 569 m³/s. La liste de ces jaugeages est présentée ci-après, tableau XVIII.
La courbe de tarage est obtenue avec une bonne précision. Les lectures sont faites trois fois par jour et de qualité moyenne. Cette qualité s'améliore à compter du 1er juillet 1968 avec le changement de l'observateur.

Nos d'identification :
ORSTOM : 05 23 83 03
O.M.M. : 38 3 831

BASSIN DE LA SANAGA

Station	:	Metchié aux Chutes
Coordonnées	:	Lat. : 5° 22' N Long. : 10° 20' E
Altitude (station)	:	1 297,11 m
Superficie du B.V.	:	480 km².

La station a été ouverte en 1958 par l'ORSTOM. Fermée pour cause d'insécurité en 1959, elle a été réouverte le 9/12/1963. Située en rive gauche, cinquante mètres en amont du pont de la route Bafoussam-Mbouda, l'échelle limnimétrique se compose d'éléments de 0 à 3 m. Son zéro est à l'altitude réelle de 1 297,11 m. Un limnigraphe OTT XX a été installé au cours d'une première étude jusqu'en 1967. Depuis juin 1970, la station est équipée d'un limnigraphe OTT X à rotation hebdomadaire.

88 jaugeages ont été effectués de 1958 à 1981 entre les cotes 72 et 237 m correspondant à des débits respectifs de 0,723 à 42,7 m³/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau ci-après (XIX).
La stabilité de la station, grâce aux chutes situées à 100 m en aval, a permis de tracer une courbe de tarage très régulière.
Les lectures et enregistrements sont de bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 03 50 06
O.M.M. : 38 3 503

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Noun à Bamendjing
Coordonnées : Lat. : 5° 41′ N
Long. : 10° 30′ E
Altitude (station) : 1 131,10 m
Superficie du B.V. : 2 190 km².

Une première station a été installée en rive gauche en amont, du pont de la route Mbouda-Foumbot en janvier 1965. L'échelle limnimétrique avait son zéro à l'altitude 1 140,680 m. Elle a été immergée après l'édification du barrage-réservoir de Bamendjing.
D'autres échelles ont été installées en aval du site de barrage, avant la construction et depuis sa mise en eau. Le 30 novembre 1971, l'ORSTOM a notamment installé une station aval à 800 m du site du barrage (de 0 à 5 m) qui a permis une correspondance avec l'échelle amont et dont le zéro est à 4,791 sous une borne repère (échelle 3). Cette station jugée trop éloignée a été doublée par la station 4 dite « limnigraphe aval » construite par la Sonel sur la base d'une première échelle rive droite au niveau amont du Pool : les cotes y sont lues en altitudes entre 1 135 m et 1 137,5 m (0 à 200 m³/s).
98 jaugeages ont été reportés dans le tableau ci-après (Tab. XX). Effectués de 1965 à 1976, pour des débits respectifs variant de 0,95 à 196 m³/s, ils ont été faits – soit en amont du goulet des rapides à l'exutoire du marais de Njitapon où est implanté le barrage (81), – soit sur deux sections aval l'une à 800 m, l'autre à 1 500 m du barrage, – soit à partir d'une station téléphérique dans un canal situé à l'exutoire du pool aval du barrage.
On donne ci-après les barèmes Hauteurs-Débits des 2 stations aval :

Échelle aval ORSTOM :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
150	8.5	200	34.5	250	68	300	107	350	163
160	12	210	41	260	75	310	117	360	176
170	17	220	47.5	270	83	320	127	370	189
180	22.5	230	54	280	91	330	138	380	204
190	28.5	240	61	290	99	340	150	390	220

Échelle aval Sonel (limnigraphe)

H	Q	H	Q	H	Q
1135.00	3	1136.00	71	1137.00	164
1135.20	13	1136.20	88	1137.20	184
1135.40	26	1136.40	105	1137.40	204
1135.60	40	1136.60	124		
1135.80	55	1136.80	144		

Les lectures étaient de très bonne qualité avant la mise en service du barrage. Le suivi par la Sonel est absolument rigoureux à l'aval pendant les périodes d'écoulement et en toutes saisons à l'amont pour le niveau du lac.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 50 03
O.M.M. : 38 3 502

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Noun à Bafoussam « E 2 »
Coordonnées : Lat. : 5° 28′ N
Long. : 10° 33′ E
Altitude (station) : 986,75 m
Superficie du B.V. : 4 740 km².

Située au pont, en rive droite, et mise en service le 12 mars 1952, la station « E 1 » dite « amont » a son zéro à l'altitude 988,426 m. Les remous causés par le pont rendent les lectures imprécises, et une deuxième échelle limnimétrique « E 2 » dite « aval » a été installée le 1[er] février 1959 à 150 m en rive droite et en aval de la précédente. Son zéro calé à 6,429 m sous la borne repère ORSTOM est à l'altitude de 986,748 m. Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 6 m. En 1970, un limnigraphe est installé 50 m en aval de l'échelle E 2.
76 jaugeages ont été effectués de 1953 à 1981 entre les cotes 45 et 616 cm et des débits variant entre 8,30 et 408 m³/s. Dans la liste des jaugeages, ci-après, les cotes lues à l'échelle « E 1 » avant le 30 janvier 1959 ont été ramenées par corrélation aux cotes de l'échelle « E 2 ».
La section est stable. Une courbe de tarage a pu être établie. Le barème de traduction des hauteurs en débits est présenté ci-après.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	–	180	106	360	214	540	325
30	–	210	126	390	231	570	352
60	18	240	145	420	246	600	384
90	39	270	162	450	262	630	424
120	66	300	180	480	280	660	
150	86	330	197	510	301	690	

Les lectures sont régulières et de bonne qualité. Les stations E 1 et E 2 ont été rattachées entre elles et les lectures de l'échelle E 1 ont été maintenues. Cela permet un contrôle permanent des lectures aux deux échelles grâce à la corrélation assez précise qui a pu être établie. Les limnigrammes ont permis l'étude des temps de propagation des lâchures du réservoir de Bamendjing.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 23 25 03
O.M.M. : 38 3 251

BASSIN DE LA SANAGA

Station : Mbam à Goura
Coordonnées : Lat. : 4° 34' N
Long. : 11° 22' E
Altitude (station) : 392 m
Superficie du B.V. : 42 300 km².

Elle est située au bac de Goura sur la route de Yaoundé à Bafia. Une ancienne échelle posée par les Travaux Publics en février 1946 a été abandonnée. L'échelle actuelle a été installée sur le bras principal du Mbam par l'ORSTOM le 7 juillet 1951 en rive gauche, à une trentaine de mètres en aval du bac. Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 4 mètres. Son zéro est à l'altitude 392,830 m, soit à 3,353 m sous une borne située près de la station. Cette station a été doublée en 1967 par un limnigraphe OTT type X. Elle est en outre équipée d'un poste émetteur-récepteur depuis décembre 1969 et transmet journellement les hauteurs d'eau (à l'ORSTOM à Yaoundé jusqu'en 1975) et à ENELCAM à Edéa. Un limnigraphe OTT XX a été installé en 1974.

Cinquante-huit jaugeages ont été effectués de 1951 à 1978 entre les cotes 61 et 352 cm pour les débits respectifs de 62 et 2 775 m³/s. La liste des jaugeages ci-après donne le débit total du bras principal et du petit bras, ce dernier commençant à débiter à partir de la cote H = 80 cm environ. Les hauteurs ont été corrigées le cas échéant (se reporter aux lectures).

Il a été établi une courbe de tarage unique englobant les deux bras. La station est stable dans l'ensemble. On note cependant une dispersion sensible des points de mesure au-dessous de la cote 100. Cette dispersion systématique depuis l'origine est certainement due à l'imprécision des mesures de débits du fait des très faibles vitesses observées dans le bief du bac et aussi dans les diverses sections choisies à proximité de la station.

Le barème de traduction inchangé des hauteurs en débits est le suivant :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
		110	345	210	1260	310	2180
		120	435	220	1350	320	2270
		130	530	230	1440	330	2360
40		140	620	240	1535	340	2450
50	28	150	715	250	1630	350	2540
60	41	160	810	260	1720	360	
70	67	170	890	270	1810	370	
80	110	180	980	280	1900	380	
90	169	190	1070	290	1995	390	
100	252	200	1170	300	2085	400	

A part les lectures effectuées sur l'élément 1-2 antérieures au 16 mars 1978, qui doivent être diminuées de 5 cm pour la saison 1977-1978 (réajustement erronné de la part du lecteur), les lectures sont effectuées à raison d'une par jour et de bonne qualité. Les enregistrements qui doublent les lectures à partir de 1967 présentent malheureusement de nombreuses lacunes jusqu'en 1974. Depuis la mise en service de Bamendjing, la station de Goura est suivie avec rigueur.

Tableau XII. – Jaugeages de la Vina-Sud au Lahore.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	13.06.47	*137**	33	29	07.08.63	171	44.6
2	28.02.51	74	7.53	30	02.09.63	248	87.7
3	08.07.51	185	42.5	31	24.09.63	248	92
4	23.03.52	67**	6.4	32	29.10.63	232	76.6
5	29.05.52	130**	18.2	33	29.03.65	69	6.04
6	22.09.52	295	103	34	26.02.66	78	6.8
7	28.04.53	67*	6.02	35	04.04.67	70	5.1
8	02.04.54	106*	16.5	36	16.01.71	94	10.2
9	20.05.54	113	21	37	28.01.72	84	10.8
10	10.07.54	196	60.1	38	24.01.73	84	8.50
11	12.09.54	274	116	39	13.04.73	58	0.83
12	04.10.55	281	110	40	06.09.73	176	49.5
13	09.10.55	299	121	41	11.10.73	188	59
14	11.10.55	312	128	42	08.03.73	62	2.83
15		151	35.4	43	18.02.74	68.5	4.62
16		162	38	44	08.03.73	62	2.83
17		162	40.8	45	16.07.75	184	50.4
18		174	38.7	46	05.08.75	198	53.7
19		195	52	47	25.03.76	72	4.99
20		206	59.2	48	27.08.76	270-272	103.4
21		235	73.2	49	07.09.76	285.5	115.2
22		251	87.1	50	18.09.76	259.5	92.5
23	03.07.56	220	70.5	51	25.09.76	243	82.5
24	06.12.59	127.5	22.5	52	24.03.77	70	5.6
25	24.03.61	71	8.55	53	26.07.77	229	82.4
26	11.09.61	262	92	54	08.04.78	76	8.6
27	05.09.62	257	93.8	55	17.02.79	92	8.63
28	07.02.63	93	12.9	56	31.08.81	229	80.5
29	07.08.63	171	44.6				

N.B. :
* Jaugeages effectuées au Pont.
** Jaugeages au flotteur.
Les jaugeages n^{os} 15 à 22 sont des résultats transmis par le Génie Rural sans les dates.

Tableau XIII. – Jaugeages du Djerem à Mbakaou (E2).

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	17.03.67	20	33	40	30.01.70	115	163
2	16.09.67	368	930	41	31.01.70	118	177
3	24.09.67	367	898	42	01.02.70	134-135	204
4	27.09.67	357	850	43	03.02.70	131	194
5	28.09.67	368	900	44	05.02.70	137	207
6	29.09.67	380	937	45	05.02.70	129	184
7	30.09.67	387	965 ?	46	07.02.70	137	189
8	07.10.67	404	1 052	47	08.02.70	139	205
9	09.10.67	414	1 100	48	09.02.70	150	248
10	10.10.67	428	1 180	49	10.02.70	149	238
11	21.10.67	380	966	50	10.02.70	151	235
12	26.10.67	310	637	51	12.02.70	151	237
13	28.10.67	280	578	52	13.02.70	158	249
14	12.11.67	211	388	53	14.02.70	163	251
15	13.11.67	206	369	54	15.02.70	164	266
16	04.12.67	137	206	55	16.02.70	173	283
17	07.12.67	131	189	56	18.02.70	183	308
18	04.02.68	53	63.4	57	19.02.70	182	308
19	04.02.68	53	68.8	58	20.02.70	184	309
20	05.02.68	52.5	62.4	59	21.02.70	185	304
21	07.02.68	51	60.4	60	23.02.70	184	307
22	28.02.68	39	37.9	61	24.02.70	190	326
23	29.02.68	35-34	36.9	62	25.02.70	194	342
24	26.03.68	38	36.5	63	26.02.70	196	348
25	27.03.68	36	35.7	64	27.02.70	198	353
26	27.03.68	36	33.8	65	28.02.70	200	354
27	27.03.68	36	62	66	02.03.70	202	355
28	12.10.68	444-443	1 120	67	03.03.70	201	351
29	13.10.68	437-437	1 100	68	05.03.70	200	342
30	16.03.69	98	123	69	06.03.70	202	349
31	21.01.70	107	147	70	07.03.70	203	354
32	23.01.70	109	155	71	08.03.70	206	369
33	24.01.70	75	90	72	10.03.70	199	361
34	24.01.70	75	88	73	11.03.70	198	344
35	26.01.70	96	130	74	20.03.70	193	334
36	27.01.70	96	129	75	21.03.70	193	329
37	27.01.70	88	107	76	28.01.71	144	218
38	28.01.70	110	163	77	03.03.71	210	380
39	29.01.70	115	165	78	27.01.72	134	199
	Complément						
79	07.03.73	195-193	358	83	23.01.76	119	194
80	21.01.76	106	159	84	11.03.76	219	419
81	21.01.76	105	173	85	11.03.76	216.5	404
82	22.01.76	108-109	181	86	12.03.76	224-225	439

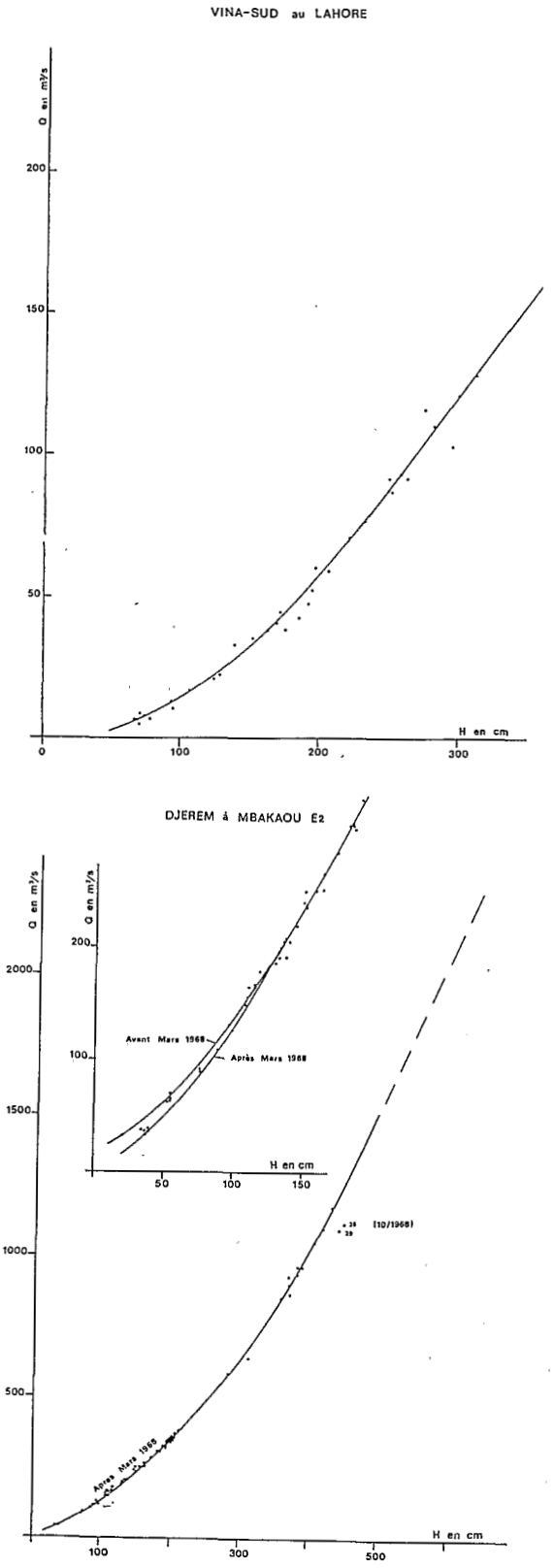

VINA-SUD au LAHORE
Q en m³/s
200
150
100
50
0
100
200
300
H en cm
DJEREM à MBAKAOU E2
Q en m³/s
2000
1500
1000
500
100
300
500
H en cm
Q en m³/s
200
100
Avant Mars 1968
Après Mars 1968
50
100
150
H en cm
Après Mars 1969
(10/1968)

Fig. A8.

Tableau XIV. – Jaugeages du Lom à Betare-Oya.

Depuis 1972, on a le barême suivant :

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	02.04.51	49	50	28	26.08.73	335	341
2	04.08.51	245	223	29	27.08.73	331-329	351
3	16.09.51	495	476	30	14.11.73	148	128
4	22.03.52	42	39	31	12.10.74	445-446	474
5	17.12.52	375	382	32	13.10.74	386-383	396
6	08.12.52	171	161	33	08.11.75	213	206
7	20.04.53	39	40	34	16.01.75	0.84	68.7
8	04.04.54	115	103	35	04.01.76	81-82	68.5
9	11.05.54	64	60	36	10.07.76	122	118
10	09.07.54	229	226	37	19.09.76	309	316
11	14.10.55	535	560	38	09.03.77	25	27.2
12	14.12.55	177	159	39	09.06.77	98	82.8
13	02.07.56	240	240	40	25.02.78	6	15.6
14	09.12.59	139	119	41	21.11.78	186	158
15	23.03.61	26	236	42	03.02.80	62	45.9
16	16.07.62	186	186	43	01.05.80	260.5	246
17	06.02.63	84	70	44	21.06.80	167	156
18	25.02.66	27	25.9	45	18.08.80	204.5	183
19	11.01.68	100	87	46	26.11.80	189	164
20	11.01.68	99	92	47	10.03.81	22	25.1
21	16.02.68	53	45.6	48	26.04.81	29	30.1
22	04.03.68	45	38	49	26.02.82	16	22.4
23	07.05.71	63	59	50	04.06.82	107	91.4
24	14.11.71	152	141	51	21.07.82	275	280
25	20.02.72	28	30.6	52	14.09.82	429	450
26	20.07.72	119-118.5	113	53	01.02.83	49	40.6
27	19.01.73	50	44.3				

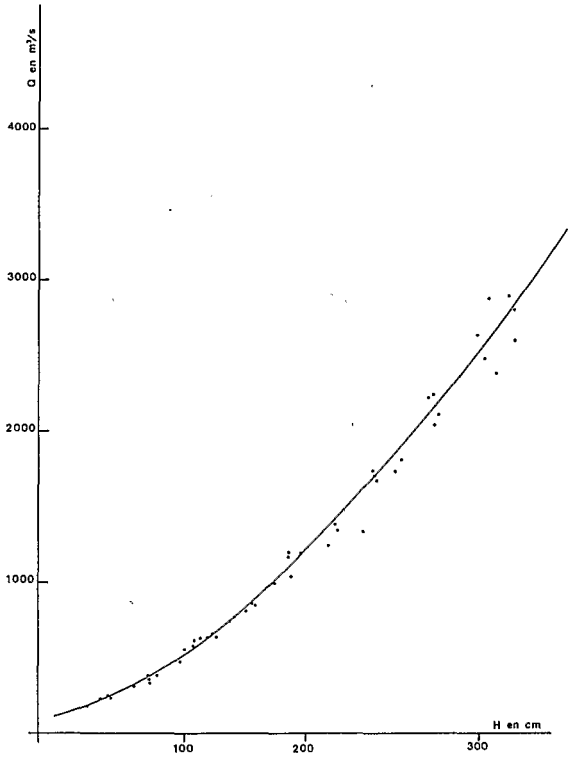
Tableau XV. – Jaugeages de la Sanaga à Goyoum.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	22.03.61	50	85.5	19	18.10.71	300	1 194
2	15.01.68	116	247	20	14.03.78	135.5	362
3	09.12.68	221	832	21	21.03.78	126.5	337
4	23.12.70	133	332	22	08.04.78	91.5	201
5	24.12.70	128	319	23	25.04.78	142.5	402
6	28.12.70	165-175	522	24	25.04.78	143	386
7	15.01.71	128	321	25	26.04.78	140.5	408
8	13.02.71	158	483	26	26.04.78	138.5	414
9	04.03.71	161	495	27	10.05.78	165-166	515
10	19.03.71	141	404	28	11.05.78	157-156	487
11	23.04.71	136	383	29	12.05.78	154	440
12	06.05.71	109	270	30	13.05.78	152-154	427
13	11.05.71	122	327	31	25.05.78	229.5-230	836
14	21.05.71	98	230	32	26.05.78	228-227	824
15	22.05.71	97	217	33	26.05.78	226-225	810
16	28.05.71	84	190	34	27.05.78	221-220	784
17	29.05.71	84	179	35	23.06.78	134.5	370
18	15.07.71	236	874	36	23.06.78	134.5	367

Jaugeages de la Sanaga à Nachtigal.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	04.09.47	265	2 230	29	19.08.68	247	1 815
2	17.02.51	70	224	30	01.09.68	229	1 704
3	06.07.51	178	1 200	31	13.09.68	252	1 930
4	04.09.52	271	2 204	32	04.10.68	310	2 400
5	21.10.52	323	2 614	33	22.11.68	203	1 350
6	06.03.53	77	337	34	15.04.69	66	314
7	22.10.56	355	3 480	35	28.04.69	81	377
8	07.11.56	268	2 250	36	27.05.69	165	1 020
9	30.11.56	202	1 380	37	09.06.69	161	999
10	14.01.57	107	610	38	23.06.69	134	773
11	14.10.57	358	3 327	39	07.07.69	230	1 680
12	18.02.60	43	222	40	21.07.69	242	1 735
13	07.03.60	31	163	41	18.08.69	271	2 120
14	07.07.62	169	1 170	42	10.11.69	323	2 820
15	12.09.62	306	2 892	43	24.11.69	172	1 050
16	28.01.63	111	619	44	12.02.71	98	468
17	03.03.64	34	169	45	02.03.78	76	358
18	27.10.65	303	2 490	46	15.06.78	75.5	374
19	02.11.65	269	2 050	47	04.04.78	50	237
20	02.08.67	197	1 250	48	13.04.78	49	253
21	01.09.67	229	1 700	49	16.05.78	119.5-120	664
22	26.10.67	320	2 910	50	30.05.78	146-145	864
23	03.11.67	252	1 995	51	31.05.78	130	746
24	13.11.67	220	1 335	52	01.06.78	122-121	648
25	31.11.67	82	380	53	02.06.78	117-115	634
26	21.06.68	142	810	54	03.06.78	99-101	560
27	12.07.68	148	852	55	13.06.78	105-107	582
28	06.08.68	228	1 750	56	15.06.78	110-111	634

SANAGA à NACHTIGAL



LOM à BETARE-OYA

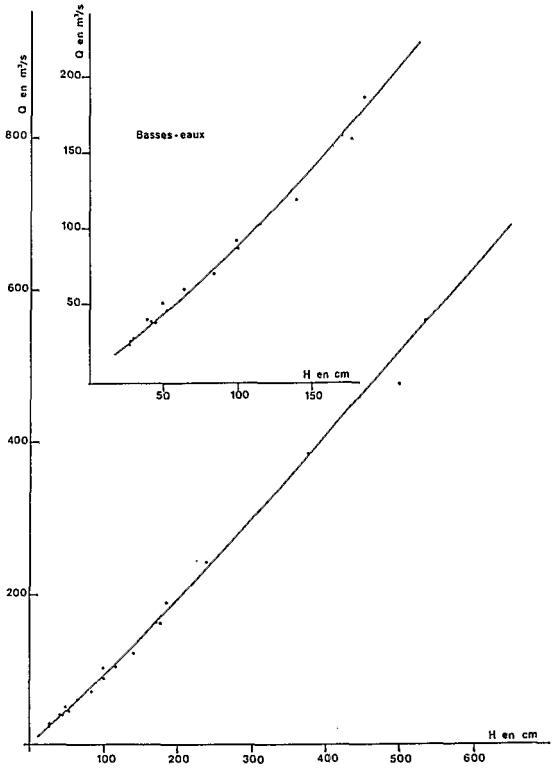


Fig. A9.

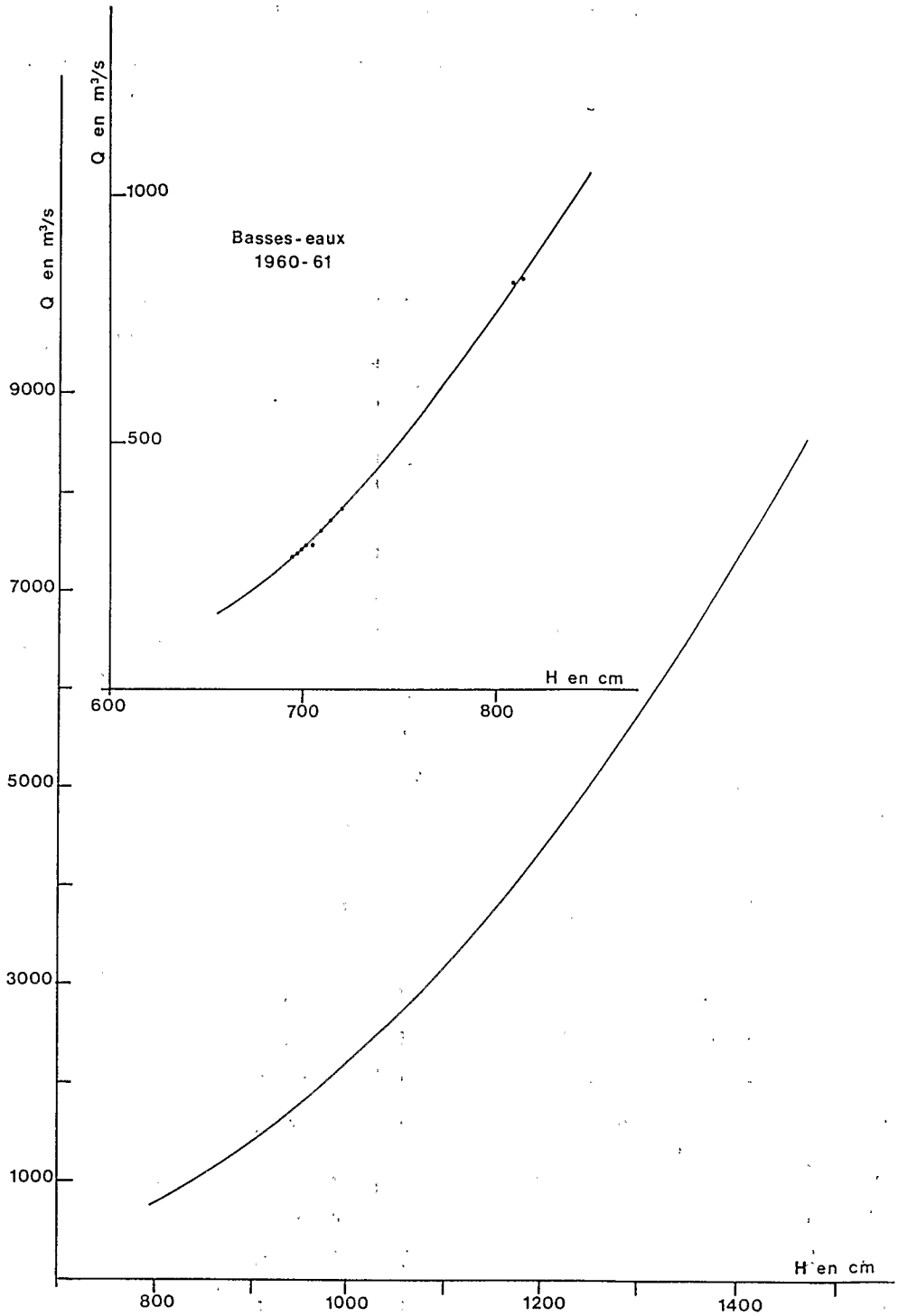
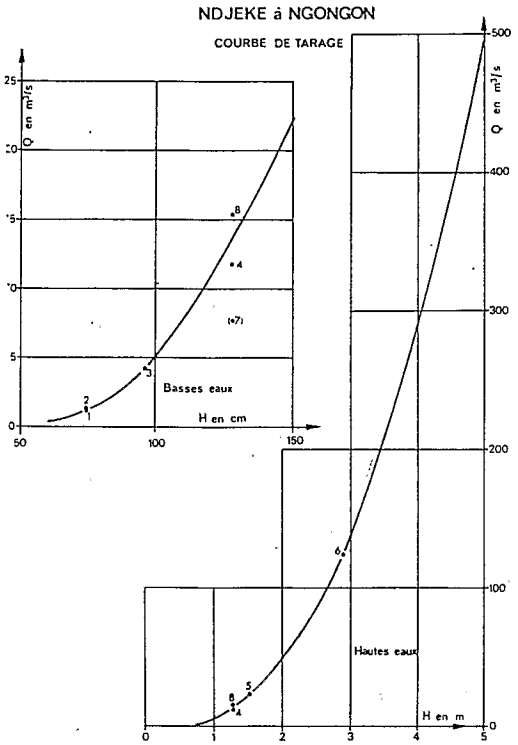


Fig. A10. – Étalonnage de la Sanaga à Edéa (échelle 0).

Tableau XVI. – Jaugeages de la Tere à Ndoumba.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	14.05.63	113	12.5	28	19.02.73	51	3.65
2	05.07.63	189	20.8	29	27.04.73	73	5.50
3	07.08.63	53	5.80	30	27.01.75	77.5	7.62
4	20.09.63	116	11.3	31	08.02.76	104	9.60
5	21.02.64	43	2.60	32	19.11.76	209-211	27.2
6	11.06.64	212	31.0	33	18.02.77	45	2.90
7	29.07.64	125	14.9	34	07.03.77	30	3.12
8	21.08.64	51	5.00	35	25.05.77	88	9.90
9	07.09.64	273	35.8	36	07.06.77	161	21.9
10	17.09.64	281	34.0	37	10.10.78	317	40.6
11	17.09.64	280	34.5	38	20.11.78	180	21.1
12	07.10.64	368	60.9	39	27.02.79	50.5	4.29
13	10.10.64	385	68.0	40	25.08.79	65	6.35
14	13.10.64	388	69.6	41	26.09.79	101	11.3
15	20.10.64	438	101	42	10.12.79	62	6.21
16	27.10.64	420	82.0	43	24.04.80	23	1.53
17	30.10.64	392	68.1	44	28.10.80	370	62.5
18	18.11.64	292	38.0	45	25.11.80	219	25.4
19	01.12.64	240	28.4	46	13.03.81	56	4.80
20	15.01.65	165	20.2	47	05.03.82	47	3.79
21	08.03.66	52	3.13	48	29.03.82	55	4.87
22	10.03.68	85-86	8.64	49	03.05.82	93-84	9.97
23	23.07.68	98	9.18	50	01.06.82	104	13.5
24	12.05.71	200	27.7	51	07.07.82	102	13.2
25	17.11.71	101	11,3	52	08.09.82	201	27.3
26	22.02.72	35	1.97	53	12.11.82	212-211	29.5
27	16.03.72	64	5.60	54	25.01.83	45	3.25


NDJEKE à NGONGON
COURBE DE TARAGE
Q en m³/s
Basses eaux
H en cm
Hautes eaux
H en m

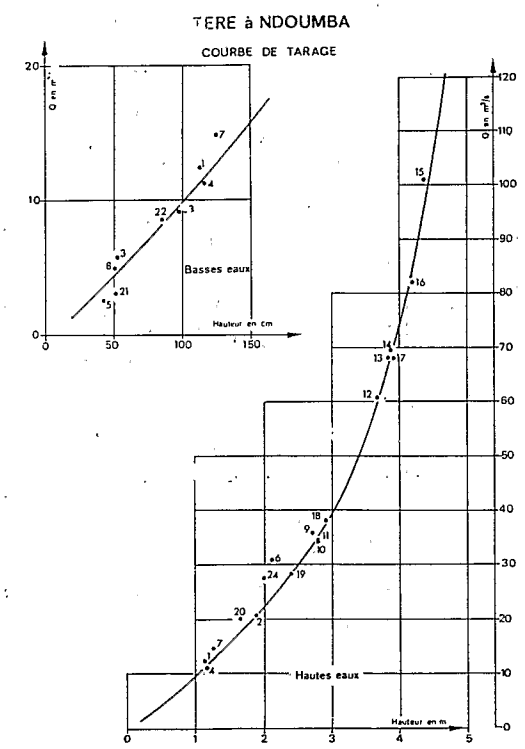

TERE à NDOUMBA
COURBE DE TARAGE
Basses eaux
Hauteur en cm
Hautes eaux
Hauteur en m

Fig. A11

Tableau XVII. – Jaugeages de la Mape à Magba.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	18.12.53	100	36.3	36	16.01.74	45	10.1
2	23.01.56	52	11.0	37	21.03.74	11	1.66
3	16.06.56	273	150	38	17.10.74	445	308
4	20.12.56	114	44.0	39	24.01.75	58	7.44
5	08.03.57	35	6.00	40	12.03.75	18	2.84
6	10.05.57	102	20.4	41	28.02.76	36.5	6.68
7	24.08.58	300	182	42	18.03.77	6	1.42
8	21.07.61	313	139	43	16.06.77	155	47.2
9	02.03.65	32	5.40	44	20.12.77	70	22.0
10	28.06.65	232	105	45	24.04.79	45	8.16
11	08.07.65	220	105	46	21.04.80	16	8.92
12	14.07.65	262	111	47	12.12.80	130	57.5
13	02.07.65	260	111	48	15.02.81	30	5.80
14	29.07.65	332	182	49	16.03.81	13	2.18
15	04.08.65	300	172	50	17.04.81	15	2.52
16	12.08.65	381	225	51	05.06.81	84	20.1
17	01.09.65	308	233	52	17.07.81	353	150
18	08.09.65	305	174	53	26.09.81	353-355	199
19	15.09.65	359	221	54	27.09.81	362-360	218
20	21.09.65	378	264	55	28.09.81	350	219
21	27.09.65	406	262	56	29.09.81	340	223
22	04.10.65	462	299	57	30.09.81	330	220
23	09.10.65	421	328	58	01.10.81	331-339	221
24	21.02.66	24	3.25	59	02.10.81	365-368	212
25	05.03.66	13	1.79	60	03.10.81	368-365	218
26	24.10.66	392	267	61	04.10.81	341-340	213
27	03.11.66	343	245	62	05.10.81	320	206
28	02.12.66	163	82	63	10.10.81	349-351	207
29	01.02.67	51	11.5	64		151	66.7
30	14.03.67	15	2.51	65		147	66.3
31	30.08.71	195-193	112	66		143	66.9
32	13.01.72	41	7.14	67	17.01.81	49.5	10.4
33	24.01.72	41	7.07	68	19.02.82	19	2.94
34	14.03.72	13	1.95	69	16.03.82	22	3.43
35	28.02.73	17	2.19	70	03.04.82	39	6.84

Tableau XVIII. – Jaugeages du Mbam à Mantoum.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	23.06.65	164	261	20	01.02.67	36	49.5
2	05.07.65	243	432	21	14.03.67	- 3	14
3	19.07.65	212	351	22	11.10.67	541	1569
4	28.07.65	305	600	23	04.02.68	40	47.5
5	03.08.65	305	600	24	10.08.68	327-332	728
6	17.08.65	357	769	25	30.08.71	200	330
7	01.09.65	375	823	26	31.08.71	210	358
8	15.09.65	337	716	27	25.01.72	13-15	31.1
9	27.09.65	372	867	28	14.03.72	- 9.5	14.7
10	09.10.65	393	896	29	28.02.73	0	16.3
11	12.10.65	425	1030	30	21.03.74	- 5	12.7
12	18.10.65	365	845	31	23.01.75	43	58.4
13	27.10.65	388	897	32	13.03.75	- 2	14.2
14	03.11.65	272	506	33	26.02.75	5	20.4
15	20.11.65	157*	253	34	04.02.76	38	37.2
16	13.01.66	37	64.5	35	18.03.77	- 24	8.4
17	20.02.66	1	16	36	24.04.79	69	68
18	06.03.66	- 14	9.5	37	19.04.80	11	17.2
19	23.10.66	384	848	38	06.06.81	100	137

* Après correction.

Tableau XIX. – Jaugeages de la Metchié aux Chutes.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	13.11.58	149*	14.0	45	11.08.68	158	15.5
2	15.12.58	121*	7.48	46	10.10.68	177	18.9
3	17.01.59	96*	3.80	47	18.10.68	159	15.85
4	03.03.59	78*	1.42	48	19.10.68	161	15.95
5	04.08.59	134*	10.40	49	25.10.68	167	17.0
6	06.02.64	96	3.57	50	25.10.68	167	17.7
7	13.02.64	89	1.97	51	18.11.68	130	9.15
8	29.02.64	74	1.11	52	22.11.68	123	6.56
9	12.03.64	79	1.38	53	11.12.68	108	4.68
10	22.10.64	160	17.60	54	13.01.69	93	2.66
11	22.10.64	160	16.60	55	11.09.69	197.5	29.95
12	27.11.64	135	11.40	56	16.09.69	203	30.2
13	05.02.65	88	2.41	57	02.10.69	218-219	37.3
14	03.04.65	79	1.90	58	03.10.69	215	34.8
15	22.06.65	122	8.60	59	13.10.69	192	28.85
16	01.07.65	127	9.60	60	25.10.69	182	25.45
17	07.07.65	143	13.80	61	03.08.70	109	6.59
18	13.07.65	145	14.80	62	25.08.70	121.5	7.39
19	20.07.65	148	15.30	63	05.09.70	150.5	15.2
20	26.07.65	140	13.90	64	09.09.70	140	11.3
21	10.08.65	171	21.40	65	16.09.70	151	16.6
22	29.08.65	177	22.70	66	21.09.70	144	12.8
23	03.09.65	167	20.60	67	28.09.70	153.5	16.4
24	09.09.65	172	22.50	68	29.09.70	155	18.0
25	13.09.65	177	23.30	69	08.10.70	166	21.15
26	23.09.65	180	26.50	70	20.01.71	94	3.75
27	29.09.65	171	22.0	71	05.02.71	81	1.66
28	05.10.65	178	23.50	72	20.04.71	87	2.95
29	22.10.65	160	18.90	73	06.05.71	83	2.60
30	04.11.65	154	17.50	74	20.09.71	171	21.4
31	18.02.66	89	2.66	75	27.09.71	199	30.8
32	03.03.66	73	1.05	76	14.10.71	237	42.7
33	21.10.66	176	23.4	77	02.03.73	72	0.72
34	31.10.66	165	21.1	78	03.03.73	72	0.77
35	23.11.66	135	11.75	79	03.03.76	108.5	3.83
36	25.11.66	131	10.0	80	13.01.77	115	3.71
37	06.12.66	120	7.73	81	17.03.77	75	0.93
38	16.12.66	112	6.90	82	14.06.77	130	6.38
39	28.12.66	106	4.98	83	29.03.78	105-103	2.10
40	06.02.67	84	2.17	84	19.09.78	221	28.8
41	29.03.67	86	2.31	85	01.12.78	142	7.90
42	20.06.67	104	4.80	86	31.05.79	88.5	2.09
43	03.10.67	205	30.2	87	04.06.81	100	2.85
44	02.02.68	89	2.64	88	08.10.81	176	21.7

* Hauteurs rapportées au zéro de l'échelle 1963.

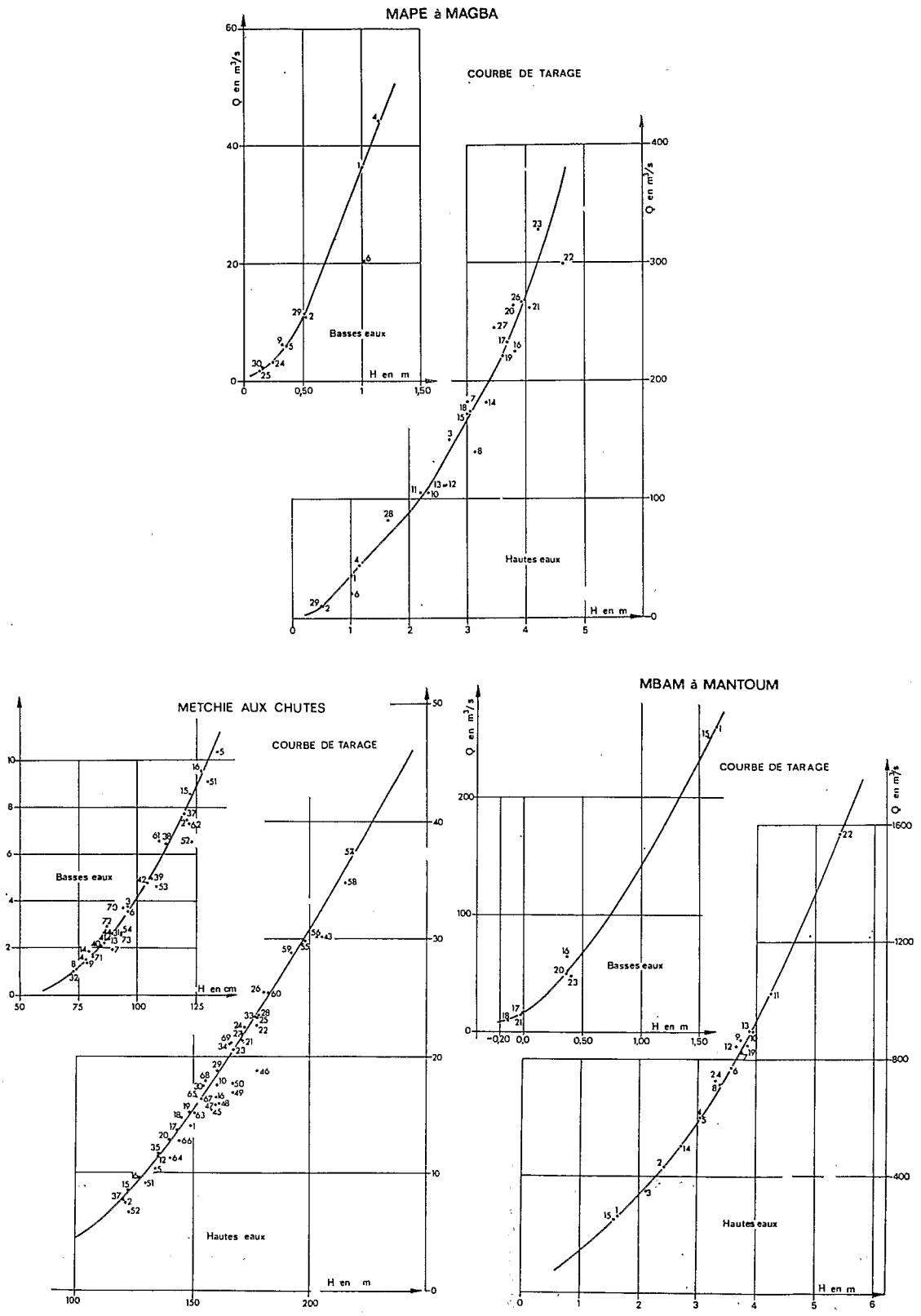

MAPE à MAGBA
COURBE DE TARAGE
Q en m³/s
Basses eaux
Hautes eaux
H en m
METCHIE AUX CHUTES
COURBE DE TARAGE
Basses eaux
Hautes eaux
H en cm
H en m
MBAM à MANTOUM
COURBE DE TARAGE
Basses eaux
Hautes eaux
H en m

Fig. A12

Tableau XX. – Jaugeages du Noun à Bamendjing.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
Ech-	elle amont						
1	11.01.65	71	9.05	53	13.03.69	38	3.60
2	10.02.65	51	5.42	54	23.03.69	87	11.95
3	19.06.65	172	37	55	08.05.69	78	9.5
4	24.06.65	195	46	56	20.05.69	125	20.75
5	30.06.65	207	49	57	07.06.69	166	34.85
6	06.07.65	220	54.4	58	18.06.69	180	35.12
7	12.07.65	237	60	59	02.07.69	243	64.88
8	15.07.65	238	64.5	60	12.07.69	270	76.8
9	27.07.65	229	60	61	26.07.69	320	102.8
10	06.08.65	247	65.5	62	15.08.69	338	115.9
11	28.08.65	334	109.6	63	06.09.69	358	125.5
12	02.09.65	338	113	64	17.09.69	368	130
13	06.09.65	335	112	65	23.09.69	378	140
14	12.09.65	333	109	66	17.11.69	333	108
15	17.09.65	330	107	67	15.12.69	185	38.1
16	24.09.65	321	96	68	08.01.70	102	13.5
17	02.10.65	311	87	69	17.02.70	50	4.6
18	06.10.65	309	86	70	07.03.70	34	2.75
19	01.11.65	325	102	71	26.03.70	32	2.69
20	05.11.65	316	99.5	72	21.04.70	60	5.97
21	11.11.65	288	90	73	04.05.70	63	7.23
22	23.11.65	277	85	74	12.06.70	193	37.8
23	16.11.65	266	76	75	31.07.70	239	63.6
24	23.02.66	27	1.9	76	06.10.70	301	91.1
25	04.03.66	19	1.2	77	20.11.70	274	83.6
26	20.10.66	337	109	78	01.12.70	214	68.2
27	29.10.66	318	101	79	15.12.70	152	32.3
28	24.11.66	240	62.5	80	25.01.71	76	8.2
29	04.12.66	195	44	81	27.02.71	38	3.3
30	08.12.66	179	37.6		Echelle	aval	ORSTOM
31	11.12.66	167	32.1	82	10.01.72	156	7.30
32	14.12.66	155	29.1	83	24.01.72	141	7.00
33	30.01.67	49	5.44	84	10.02.72	123	3.18
34	07.02.67	48	4.56	85	29.02.72	99	1.74
35	09.03.67	24		86	21.03.72	103	1.95
36	13.03.67	20	1.32	87	26.02.73	116	2.51
37	29.03.67	14	0.95	88	09.02.74	105	2.35
38	30.09.67	355	131	89	14.11.74	368	180
39	06.10.67	375	143	90	12.12.74	371.5	196
40	10.10.67	394	149	91	24.01.76	264	82.5
41	14.10.67	416	169	92	24.01.76	278	91.3
42	18.10.67	434	176	93	02.02.76	293	101
43	21.10.67	448	181	94	02.02.76	310.5	114
44	26.10.67	452	183	95	03.02.76	282.5	89
45	05.02.68	62		96	03.02.76	293	100
46	21.10.68	292	87	97	02.03.76	155.5	110.9
47	15.01.69	68	9.10	98	16.05.76	310	117
48	24.01.69	58	7.60				
49	04.02.69	47.5	5.5				
50	05.03.69	34	2.5				
51	07.03.69	34	2.31				
52	12.03.69	45	3.74				

Tableau XXI. – Jaugeages du Noun à Bafoussam.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	19.12.53	*98*	*49.2*	39	31.01.67	66	22
2	24.01.56	*71*	25.5	40	07.02.67	63	17.6
3	15.06.56	*123*	69.6	41	08.03.67	48	9.85
4	19.12.56	*104*	53.3	42	13.03.67	45	9.45
5	07.03.57	*58*	17.5	43	29.03.67	49	9.84
6	11.05.57	*63*	21.0	44	19.06.67	72	30.25
7	16.07.58	*296*	145	45	09.10.67	553	362
8	22.09.58	*480*	281	46	12.10.67	584	373
9	26.09.58	*525*	311	47	16.10.67	582	366
10	29.06.59	165	97.5	48	23.10.67	≠≠ 616	396
11	21.10.64	410	237	49	12.08.68	335	198
12	28.11.64	266	159	50	29.03.71	64.5-63.5	24.8
13	06.02.65	66	23	51	24.08.71	337	220
14	03.04.65	51	12.7	52	21.09.71	412	257
15	21.06.65	134	85	53	28.09.71	470	287
16	29.06.65	167	102	54	05.10.71	449	281
17	09.07.65	224	131	55	13.10.71	602	408
18	22.07.65	220	136	56	15.10.71	583-578	379
19	11.08.65	335	202	57	28.10.71	402	260
20	29.08.65	390	230	58	05.11.71	305	199
21	07.09.65	401	236	59	18.11.71	189-188	119
22	14.09.65	407	247	60	23.03.72	50	13.6
23	22.09.65	399	222	61	01.03.73	45	10.9
24	30.09.65	377	218	62	17.01.74	67	24.5
25	09.11.65	294	177	63	20.03.74	48	11.7
26	15.01.66	73	35	64	16.10.74	318	191
27	22.02.66	53	19.4	65	11.03.75	201-199	121
28	04.03.66	46	8.3	66	01.03.76	74.5	26.2
29	08.10.66	423	249	67	18.10.76	527-31	315
30	22.10.66	402	240	68	15.06.77	83	36.6
31	25.10.66	390	242	69	30.01.78	220	128
32	22.11.66	235	140	70	26.04.79	235	118.5
33	26.11.66	204	128	71	04.06.81	60	24.3
34	03.12.66	160	103				
35	07.12.66	148	91				
36	11.12.66	129	79				
37	15.12.66	119	74				
38	27.12.66	96	47				

Tableau XXII. – Jaugeages du Mbam à Goura.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	10.07.51	178	857	30	19.07.68	178	935
2	25.03.53	90	136	31	13.04.70	73	97
3	15.12.53	113	308	32	16.06.70	153	754
4	14.11.55	200	1164	33	30.06.70	138	617
5	09.12.55	134	528	34	14.07.70	129	547
6	26.10.56	213	1328	35	05.08.70	174	931
7	09.11.56	210	1315	36	02.09.70	195	1160
8	01.12.56	151	708	37	22.09.70	229	1500
9	14.01.57	103	261	38	29.10.70	277	1920
10	16.04.57	104	281	39	17.10.70	295	2260
11	15.10.57	303	2280	40	15.02.71	72	85
12	16.02.60	79	120	41	17.03.71	76	89
13	15.03.60	70	90	42	08.06.71	96	228
14	21.07.62	192	1110	43	18.06.71	120	438
15	27.09.62	327	2260	44	23.06.71	112	373
16	28.03.63	78	127	45	01.03.78	81	118
17	04.03.64	61	62	46	16.03.78	84.5	116
18	24.10.66	288	1945	47	03.04.78	87	166
19	28.10.66	309	2100	48	12.04.78	89	199
20	07.11.66	223	1335	49	11.05.78	98-100	270
21	10.11.66	260	1680	50	12.05.78	109-109.5	332
22	15.11.66	218	1300	51	31.05.78	101	249
23	23.11.66	178	980	52	31.05.78	100	243
24	02.12.66	142	593	53	01.06.78	98	237
25	15.12.66	121	437	54	02.06.78	95	199
26	01.02.67	82	152	55	03.06.78	94.5	198
27	05.05.67	91	180	56	14.06.78	131.5	545
28	23.10.67	352	2775	57	14.06.78	131.5-132.5	565
29	27.10.67	302	2115	58	14.06.78	133.5-134.5	573

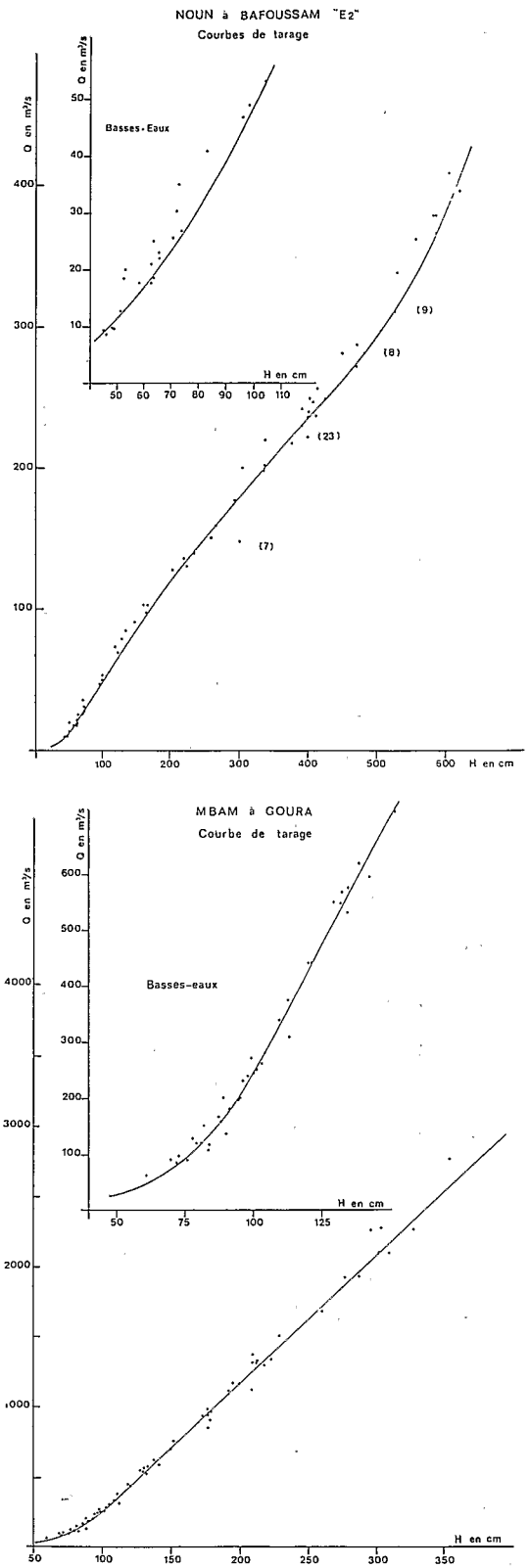

NOUN à BAFOUSSAM "E2"
Courbes de tarage
Q en m³/s
Basses-Eaux
H en cm
(9)
(8)
(23)
(7)
MBAM à GOURA
Courbe de tarage
Basses-eaux

Fig. A 13

STATIONS DU BASSIN CAMEROUNAIS DU CONGO

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 08 40 03
O.M.M. : 48 03 402

BASSIN DU CONGO

Station : Dja à Somalomo
Coordonnées : Lat. : 3° 22' N
Long. : 12° 44' E
Altitude (station) : 603 m environ
Superficie du B.V. : 5 380 km^2.

La station a été installée le 27 février 1955.
Elle se trouve en amont du bac de la piste Somalomo-Malen 1 et en rive droite. Elle se compose d'éléments d'échelles de 0 à 6 m.
Vingt neuf jaugeages ont été effectués entre 15 et 155 m^3/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1957 à 1977 est indiquée ci-après, tableau XXIII.

Ces 29 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-après, tableau XXIII.
Les lectures sont effectuées 2 fois par jour. Elles sont régulières et de bonne qualité.

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 08 40 02
O.M.M. : 48 3 401

BASSIN DU CONGO

Station : Dja à Bi
Coordonnées : Lat. : 2° 48' N
Long. : 13° 21' E
Altitude (station) : 533 m environ
Superficie du B.V. : 19 500 km^2.

La station a été installée le 21 mars 1972.
Elle se trouve au passage des pirogues de la piste Bi-Lomie.
Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 7 mètres.
Quatorze jaugeages ont été effectués entre 29 et 636 m^3/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1972 à 1977 est indiquée ci-après (tableau XXIV).
Ces 14 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-contre.

Les lectures sont effectuées une fois par jour.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		150	86,0	300	232	450	448
10		160	95,0	310	244	460	465
20		170	104,0	320	256	470	481
30		180	113,0	330	269	480	497
40		190	122,0	340	282	490	513
50	13	200	131,0	350	295	500	529
60	18,0	210	140,0	360	309	510	545
70	24,0	220	149,5	370	323	520	562
80	30,0	230	159,0	380	338	530	578
90	37,0	240	168,5	390	354	540	594
100	45,0	250	178,0	400	370	550	610
110	53,0	260	187,0	410	385	560	629
120	61,0	270	198	420	400	570	642
130	69,0	280	209	430	416	580	658
140	77,0	290	220	440	432	590	674
						600	690

Nos d'identification :
ORSTOM : 05 08 40 10
O.M.M. : 48 3 410

BASSIN DU CONGO

Station : Afamba à Sangmélima
Coordonnées : Lat. : 2° 54' N
Long. : 11° 59' E
Altitude (station) : 660 m environ
Superficie du B.V. : 191 km².

La station a été installée le 29 décembre 1973 à la suite d'une convention signée entre le Ministère des Mines et de l'Énergie et l'ORSTOM. Le but de cette convention était l'étude des étiages de 5 rivières du Sud Cameroun parmi lesquelles figurait l'Afamba à Sangmélima.
La station est fixée sur la pile centrale du pont de la piste Sangmélima-Djoum, côté amont. Cette station comprend 2 éléments d'échelle 0-2 et un limnigraphe.
Vingt et un jaugeages ont été effectués entre 0,250 et 3 m³/s.
La liste des jaugeages effectués de 1973 à 1977 est donnée ci-après (tableau XXIV).
Ces 21 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage satisfaisante entre 0,250 et 3 m³/s. Des jaugeages de hautes-eaux seraient intéressants pour préciser la courbe.

Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-contre :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		60	0,540	120	2,61	180	5,78
10		70	0,810	130	3,08	190	6,32
20		80	1,12	140	3,60	200	6,84
30	0,050	90	1,45	150	4,15	210	7,36
40	0,140	100	1,80	160	4,70		
50	0,300	110	2,16	170	5,24		

Des lacunes, notamment en 1976. De plus l'enregistreur installé au pont est souvent malmené par les passants : guérite cassée, tambour enregistreur volé...

Nos d'identification :
ORSTOM : 05 08 35 05
O.M.M. : 48 3 351

BASSIN DU CONGO

Station : Boumba à Biwala
Coordonnées : Lat. : 3° 13' N
Long. : 11° 55' E
Altitude (station) : 467 m environ
Superficie du B.V. : 10 335 km².

Cette station a été installée le 13 avril 1965.
Elle est située en amont du bac de la piste Biwala-Gribe, en rive droite.
Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 5 mètres.
Le zéro de l'échelle est à 4,332 m sous la borne hydrologique repère.
Vingt-huit jaugeages ont été effectués entre 30,6 et 208 m³/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1965 à 1977 est indiquée ci-après (tableau XXV).
Ces 28 mesures de débits ont permis de tracer deux courbes de tarage :
– l'une valable pour la période 1965-1972,
– la deuxième utilisée à partir de 1973.
Les barèmes de traduction hauteurs-débits correspondant à ces deux courbes sont indiqués ci-contre :
Les lectures sont effectuées deux fois par jour. Depuis 1974, elles sont de mauvaise qualité.

Barème valable de 1965 à 1972

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		50	57	100	120	150	197
10	14	60	69	110	134	160	214
20	24	70	81	120	149	170	232
30	35	80	94	130	164	180	250
40	46	90	107	140	180	190	
						200	

Barème valable à/c de 1973

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		50	55	100	116	150	186
10	23	60	66	110	130	160	201
20	27	70	78	120	144	170	216
30	34	80	90	130	158	180	231
40	44	90	103	140	172	190	246
						200	261

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 08 45 03
O.M.M. : 48 3 451

BASSIN DU CONGO

Station : Doume à Doume
Coordonnées : Lat. : 4° 14' N
Long. : 13° 27' E
Altitude (station) : 610 m environ
Superficie du B.V. : 515 km².

La station a été installée le 24 mars 1951.
Une première échelle était installée à 40 m en amont du pont de la route Bertoua-Abong Mbang en rive gauche. La station actuelle se trouve le long de la culée rive droite du pont, côté amont. Elle est composée d'éléments d'échelle, de 0-4 m. Un élément d'échelle 0-1 se trouve en rive gauche (2 mètres environ en aval de l'échelle R.D.) et a un zéro décalé de 58 cm vers le bas par rapport à l'élément R.D.
Le zéro de l'échelle est à 4,504 m sous la borne hydrologique repère.
Trente-quatre jaugeages ont été effectués entre 0,225 et 18,8 m³/s (considéré comme douteux).
La liste des jaugeages réalisés de 1951 à 1977 est indiquée ci-après, tableau XXV.
Ces 34 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-après :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
- 20		50	3,08	150	8,56	250	21,05
- 15	0,10	60	3,56	160	9,52	260	22,38
- 10	0,21	70	4,05	170	10,64	270	23,55
- 5	0,49	80	4,55	180	11,86	280	24,16
0	0,78	90	5,05	190	13,12	290	26,48
10	1,28	100	5,56	200	14,44	300	27,82
20	1,72	110	6,10	210	15,75	310	29,06
30	2,16	120	6,66	220	17,06	320	
40	2,61	130	7,23	230	18,39	330	
		140	7,86	240	19,72		

Les lectures sont biquotidiennes. Elles sont douteuses jusqu'en juin 1968. Il existe des lectures sur la période mai 1946 à juillet 1950 (on ne trouve aucune trace du zéro de cette échelle).

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 08 15 03
O.M.M. : 48 3 151

BASSIN DU CONGO

Station : Kadei à Batouri
Coordonnées : Lat. : 4° 14' N
Long. : 14° 19' E
Altitude (station) : 587,96 m IGN
Superficie du B.V. : 8 974 km².

La station a été installée le 12 mai 1954.
La station est composée d'un élément de 0 à 5 m scellé sur la première pile côté R.G. et d'un élément 5 à 6 m sur IPN de 160 situé au bord de la route Bertoua-Batouri. La cote du zéro est à 587,96 m IGN.
Quarante-quatre jaugeages ont été effectués entre les débits 27,8 et 371 m³/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1946 à 1977 est indiquée ci-après, tableau XXVI.

Ces 44 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage. La construction d'un nouveau pont de 1975 à fin 1977 quelques 30 mètres en aval de la station a une influence sur les débits de basses et moyennes-eaux. Les jaugeages exécutés à partir de 1976 montrent un détarage.
Les barèmes de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe sont indiqués ci-après.

Les lectures sont effectuées 3 fois par jour. Elles sont régulières et de bonne qualité.

Barème hauteurs-débits

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	33,5	130	105	260	203	390	341
10	38,5	140	112	270	212	400	354
20	44,0	150	118	280	222	410	368
30	49,0	160	125	290	231	420	382
40	54,0	170	132	300	241	430	396
50	59,0	180	139	310	251	440	411
60	65,0	190	146	320	261	450	427
70	70,0	200	154	330	271	460	442
80	75,0	210	161	340	282	470	457
90	81,0	220	169	350	293	480	473
100	87	230	177	360	305	490	488
110	91	240	186	370	317	500	503
120	99	250	195	380	329		

Barème basses et moyennes-eaux
à/c du 18.11.1976

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		70	58	150	108	230	175
10	29	80	64	160	115	240	184
20	33	90	70	170	123	250	193
30	38	100	76	180	131	260	203
40	43	110	82	190	139	270	212
50	48	120	88	200	148	280	222
60	53	130	94	210	157	290	231
		140	101	220	166	300	241

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 08 15 10
O.M.M. : 48 3 152

BASSIN DU CONGO

Station	:	Kadei à Pana
Coordonnées	:	Lat. : 4° 12' N Long. : 14° 41' E
Altitude (station)	:	570 m environ
Superficie du B.V.	:	20 372 km².

Cette station a été installée le 12 mars 1964.
Elle est située en amont de l'ancien bac de la piste Batouri-Yokadouma et en rive gauche. Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 6 m.
Le zéro de l'échelle est à 5,181 m sous la borne hydrologique repère.
Trente-quatre jaugeages ont été effectués entre les débits 78 et 808 m³/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1965 à 1976 est indiquée dans le tableau XXVI.

Ces 34 mesures de débits ont permis de tracer 2 courbes de tarage :
– l'une valable jusqu'au 31 décembre 1967,
– l'autre, utilisée depuis le 1[er] janvier 1968, est encore valable malgré la construction d'un pont 1 km en amont de la station (construction ayant eu lieu à la même époque que le pont de Batouri).
Les barèmes de traduction hauteurs-débits correspondant à ces deux courbes sont indiqués ci-après.

Barème jusqu'au 31/12/1967.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		100	84	200	229	300	411	400	647
10		110	97	210	245	310	431	410	673
20		120	110	220	262	320	452	420	697
30		130	124	230	279	330	474	430	723
40		140	138	240	296	340	496	440	747
50	25	150	152	250	314	350	519	450	773
60	36	160	167	260	332	360	543	460	799
70	46	170	182	270	351	370	569	470	825
80	58	180	197	280	370	380	595	480	
90	71	190	213	290	390	390	621	490	
100	84	200	229	300	411	400	647	500	

Barème utilisé depuis le 1[er]/01/1968.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		100	81	200	215	300	374	400	550	500	740
10		110	92	210	230	310	391	410	568	510	760
20		120	104	220	245	320	408	420	586	520	780
30		130	117	230	260	330	425	430	604	530	800
40		140	130	240	276	340	442	440	622	540	820
50		150	143	250	292	350	460	450	640	550	840
60	37	160	156	260	308	360	478	460	660	560	
70	48	170	170	270	324	370	496	470	680	570	
80	59	180	185	280	340	380	514	480	700	580	
90	70	190	200	290	357	390	532	490	720	590	

Les lectures sont effectuées 2 fois par jour avec souvent des périodes d'interruption. Ces relevés sont de qualité médiocre.

Tableau XXIII. – Jaugeages du Dja à Somalomo;

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1				16	10.03.71	77	28,3
2	21.09.57	400	-	17	09.11.71	371	151
3	13.12.57	280	119	18	15.02.72	50	22,3
4	10.09.58	43	16,8	19	24.01.73	93	39,6
5	03.12.58	199	72,7	20	19.11.73	201	78
6	13.02.61	97	34	21	25.01.74	81	29,7
7	22.04.65	177	72	22	11.03.74	27	15
8	01.06.65	183	65	23	22.11.74	361	155
9	22.07.65	166	65	24	04.03.75	94,5	42,4
10	26.08.65	200	77	25	10.11.75	351,5	147
11	23.10.65	338	142	26	24.01.76	136	40
12	09.11.65	315	135	27	11.11.76	265,5	109
13	14.03.66	162	66	28	17.12.76	117	42,1
14	09.03.67	64	24,1	29	15.02.77	38	25
15	16.12.69	202	80				

Barème du Dja à Somalomo.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
- 100		70	27,0	250	100	430	187
- 90		80	31,0	260	104,0	440	192
- 80		90	35,0	270	109	450	197
- 70		100	39,0	280	114	460	202
- 60		110	42,9	290	119	470	207
- 50		120	46,7	300	124	480	212
- 40		130	50,6	310	128	490	217
- 30	3,6	140	54,5	320	133	500	223
- 20	5,6	150	58,5	330	138	510	229
- 10	7,4	160	62,5	340	143	520	234
0	8,8	170	66,5	350	147	530	239
10	10,4	180	70,5	360	152	540	244
20	12,4	190	74,5	370	157	550	249
30	14,6	200	78,6	380	162	560	254
40	17,3	210	83,0	390	167	570	259
50	20,6	220	87	400	172	580	264
60	23,6	230	91	410	177	590	269
		240	96	420	182	600	275

Tableau XXIV. – Jaugeages du Dja à Bi.

N°	Date	H cm	Q m3/s
1	21.03.72	150	96
2	30.06.72	149	84
3	14.08.72	210-208	142
4	23.08.72	171	111
5	14.02.73	168	110
6	07.02.74	153	94,6
7	03.11.74	569	636
8	04.12.74	443	447
9	05.02.75	204	140
10	11.01.76	175	95
11	28.02.76	166	93
12	04.11.76	425	396
13	09.02.77	137	71,5
14	15.03.77	92	29

Jaugeages de l'Afamba à Sangmélima.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	20.12.73	69	0,730	11	18.03.75	127,5	3,000
2	06.02.74	55	0,376	12	20.08.75	47	0,219
3	25.02.74	54	0,407	13	09.09.75	50	0,344
4	13.03.74	64,5	0,610	14	10.09.75	45	0,251
5	25.04.74	125,5	2,56	15	20.01.76	74,5	0,865
6	22.12.74	115	2,37	16	02.02.76	59	0,470
7	22.01.75	78,5	1,10	17	13.03.76	60	0,590
8	04.02.75	81	1,18	18	21.07.76	69	0,792
9	05.02.75	122	2,94	19	15.03.77	46	0,260
10	17.02.75	80	1,04	20	21.03.77	45	0,25
				21	21.06.77	66	0,665
					?	55	0,75

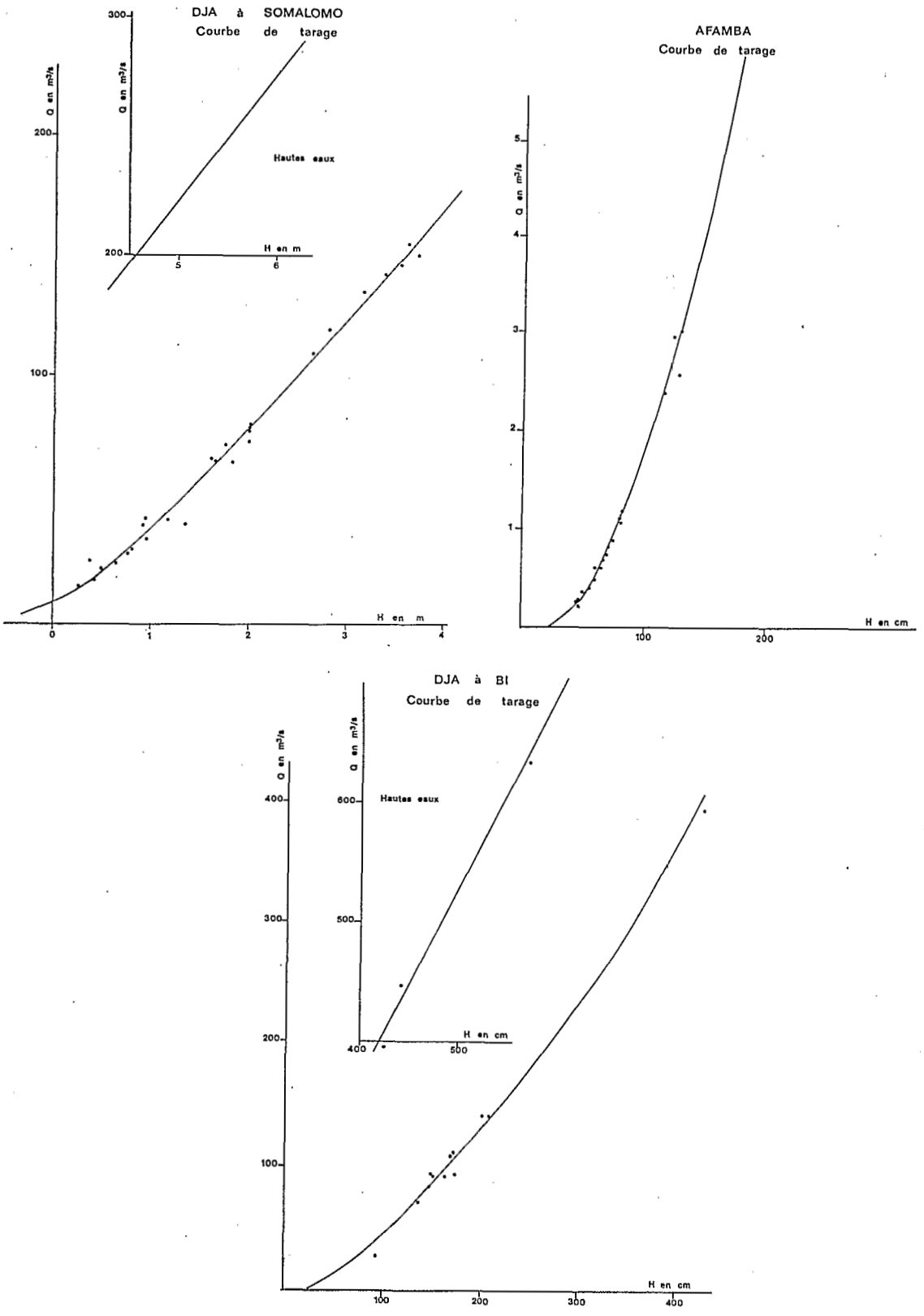

DJA à SOMALOMO
Courbe de tarage
Q en m³/s
H en m
Hautes eaux
AFAMBA
Courbe de tarage
Q en m³/s
H en cm
DJA à BI
Courbe de tarage
Q en m³/s
H en cm
Hautes eaux

Fig. A 14.

Tableau XXV. – Jaugeages de la Boumba à Bewala.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	24.09.65	137	173	15	17.11.73	86	97
2	30.09.65	115	144	16	08.03.74	28	32,1
3	07.10.65	119	149	17	29.01.75	74	81,4
4	12.11.65	122	149	18	22.03.75	85	96,5
5	25.11.65	97	117	19	21.11.75	157	208
6	01.12.65	86	103	20	29.05.75	73	77
7	06.12.65	77	87	21	19.01.76	66	56,3
8	14.12.65	73	80	22	08.03.76	89	105
9	06.03.71	39	44,5	23	12.07.76	59	64,8
10	10.05.71	34	39,3	24	21.09.76	103-102	116
11	12.11.71	156	208	25	14.11.76	153	182,5
12	18.02.72	37	44,3	26	11.03.77	26	30,6
13	13.10.72	130	166	27	11.06.77	73-72	87
14	22.01.73	52	61,7	28	10.12.77	84-83	93,8

Jaugeages de la Doume à Doume.

N°	Date	H cm	Q m3/s	Observations	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	23.03.51	157	10,1		18	19.03.72	12	1,44
2	09.11.53	137	-		19	18.05.72	21-20	1,84
3	18.01.54	33	2,6		20	10.10.72	130	7,84
4	09.12.54	100	5,5		21	23.01.73	22,5	1,85
5	17.12.55	119	6,6		22	18.11.73	149	8,6
6	14.02.61	27	2,1		23	25.01.74	56	3,1
7	20.03.61	11	1,23		24	11.03.74	4	1,19
8	14.07.62	88	5,2		25	21.11.74	179,5	12,2
9	08.10.62	177	18,8	erroné	26	02.01.75	59	3,14
10	10.12.62	164	9,6		27	02.04.75	93	5,58
11	22.02.63	97	5,3		28	09.11.75	138	7,9
12	13.03.66	58	3,6		29	23.01.76	79	4,05
13	17.07.68	57	3,2		30	05.03.76	65	3,15
14	17.12.69	140	7,1		31	23.09.76	132-131,5	6,70
15	08.03.71	14	1,52		32	11.11.76	172	10,6
16	10.11.71	156	9,15		33	16.02.77	4	0,890
17	16.02.72	11,5	1,23		34	12.03.77	- 8	0,225

Tableau XXVI. – Jaugeages de la Kadéi à Batouri.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	25.01.46	117	75	23	11.12.65	162	124
2	23.09.46	120	171	24	16.12.65	159	129
3	10.10.46	290	190	25	10.03.66	52	57
4	13.05.54	69	72	26	18.07.68	108	86
5	16.12.55	170	130	27	07.03.71	71	71
6	10.12.59	133	114	28	08.05.71	54	59
7	27.07.62	32	51	29	11.11.71	225	175
8	09.10.62	243	185	30	17.02.72	53	66
9	24.02.63	83	82	31	12.10.72	236	188
10	11.04.65	79	78	32	20.01.73	79	87
11	17.09.65	316	235	33	15.11.73	227	171
12	20.09.65	291	223	34	27.01.74	79	77
13	03.10.65	335	278	35	07.03.74	38	46,8
14	11.10.65	356	299	36	14.10.74	420	367
15	15.10.65	397	352	37	15.10.74	420,5	367
16	24.10.65	379	347	38	19.11.74	364-363	283
17	27.10.65	409	371	39	26.01.75	114-116	91
18	08.11.65	286	231	40	**28.05.75**	**101**	**92**
19	10.11.65	262	196	41	**06.11.75**	**255,5**	**188**
20	22.11.65	241	186	42	17.01.76	132	96,5
21	27.11.65	211	144	43	20.09.76	228	185
22	04.12.65	188	153	44	10.03.77	33	27,8

Jaugeages de la Kadéi à Pana.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	22.09.65	317	433	18	12.10.72	298	373
2	04.10.65	347	542	19	21.01.73	144	152
3	16.10.65	359	552	20	15.11.73	320	426
4	19.10.65	379	597	21	24.01.74	138	122
5	30.10.65	398	643	22	07.03.74	105	80
6	06.11.65	367	575	23	16.10.74	525	763
7	15.11.65	290	402	24	17.10.74	522	808
8	23.11.65	274	369	25	20.11.74	464	675
9	30.11.65	247	315	26	28.01.75	172,5	161
10	09.12.65	223	270	27	20.03.75	177	161
11	17.12.65	196	234	28	20.11.75	355-356	452
12	11.03.66	106	94	29	29.05.75	199	188
13	19.07.68	206	221	30	17.01.76	181	188
14	07.03.71	108-	98	31	07.03.76	?.	?
15	09.05.71	92	78	32	13.07.76	119	111
16	11.11.71	360	448 ?	33	22.09.76	243	300
17	17.02.72	109	100	34	13.11.76	352	474

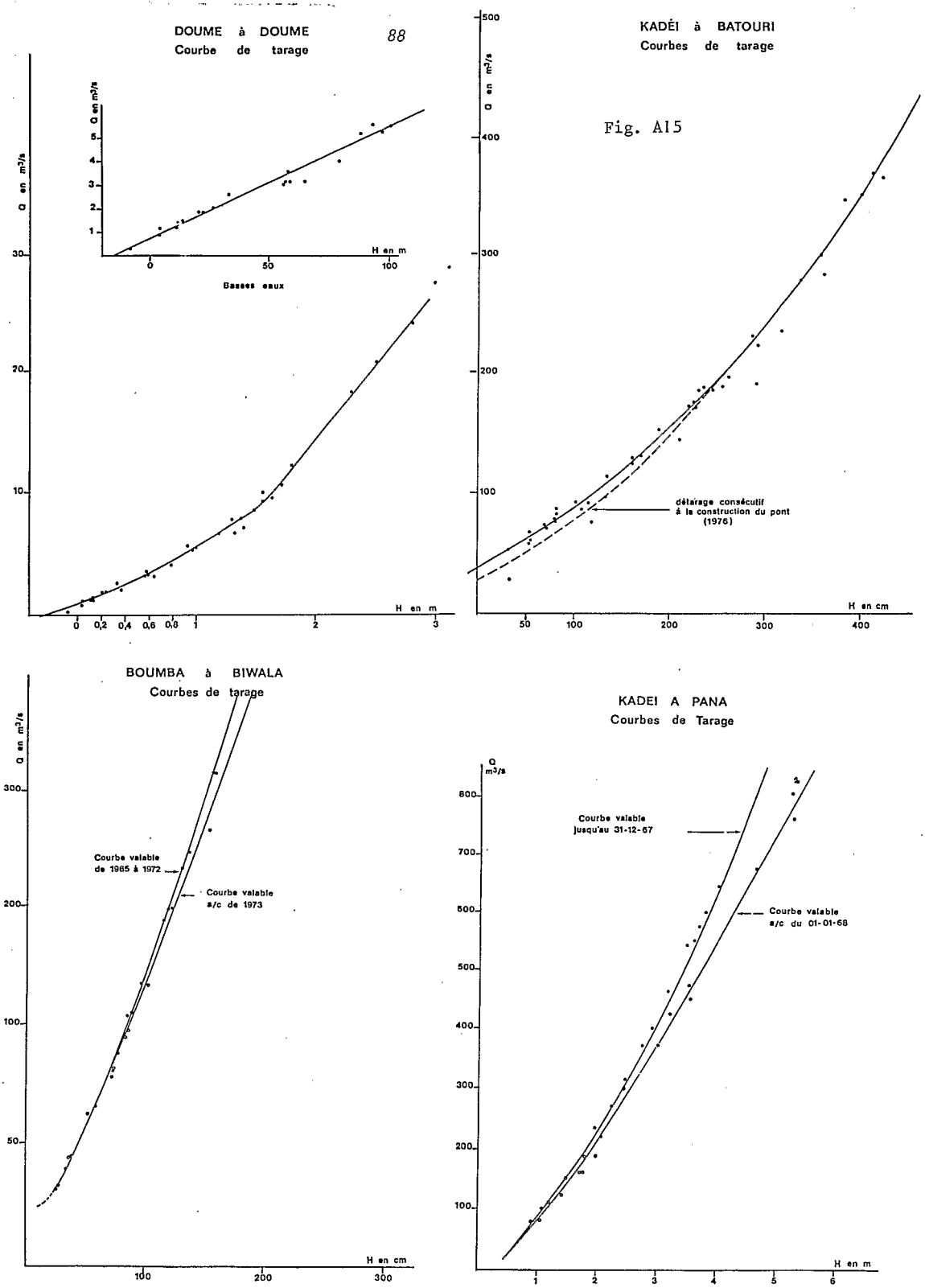

DOUME à DOUME
Courbe de tarage
88
Q en m³/s
H en m
Basses eaux
KADÉI à BATOURI
Courbes de tarage
Fig. A15
Q en m³/s
H en cm
délarage consécutif
à la construction du pont
(1976)
BOUMBA à BIWALA
Courbes de tarage
Q en m³/s
H en cm
Courbe valable
de 1965 à 1972
Courbe valable
a/c de 1973
KADEI A PANA
Courbes de Tarage
Q
m³/s
H en m
Courbe valable
jusqu'au 31-12-67
Courbe valable
a/c du 01-01-68

Fig. A15

STATIONS DU BASSIN DU NIGER (BÉNOUÉ)

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 17 45 03
O.M.M. : 35 3 451

BASSIN DE LA BÉNOUÉ INFÉRIEURE

Station : Metchem à Gouri
Coordonnées : Lat. : 6° 17' N
Long. : 10° 02' E
Altitude (station) : 560,02 m IGN
Superficie du B.V. : 2 240 km²

La station a été installée le 12 février 1964. De 1973 à 1975, exploitation conjointe ORSTOM-C.E.C. (Cameroon Electricity Corporation).
Elle se trouve 500 m en amont du pont de la route Bamenda-Wum et en rive droite. Elle comprend des éléments d'échelle de 0 à 6 m.
Quarante jaugeages ont été effectués entre 8,4 et 264 m³/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1965 à 1977 est indiquée ci-après, tableau XXVII.
Ces 40 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-après :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		150	33,0	300	127	450	296
30		180	47,0	330	155	480	332
60	9,8	210	64,0	360	188	510	368
90	15,3	240	82,0	390	224	540	404
120	22,0	270	103	420	260	570	
						600	

Les lectures sont effectuées 2 fois par jour. Depuis 1970, la qualité des lectures a été améliorée.

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 17 70 03
O.M.M. : 35 3 701

BASSIN DE LA BÉNOUÉ INFÉRIEURE

Station : Mezam à Mbengwi
Coordonnées : Lat. : 6° 00' N
Long. : 10° 01' E
Altitude (station) : 1 260 m environ
Superficie du B.V. : 360 km²

La station a été installée le 2 mars 1966. Il existait auparavant une échelle rudimentaire installée par la West Cameroon Electricity Corporation.
Elle se trouve juste en aval du pont de la piste Mankon-Mbengwi et en rive droite. Elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 4 mètres.
Quarante et un jaugeages ont été effectués entre 0,900 et 32 m³/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1966 à 1977 est indiquée ci-après (tableau XXVII).
Ces 41 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-après :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		60	3.600	120	14.50	165	23.4
15		75	6.215	135	17.4	180	26.2
30	1.000	90	8.900	150	20.4	200	30.1
45	1.787	105	11.70			215	33.2

Du 2 mars 1966 au 22 janvier 1972, les relevés de hauteurs d'eau étaient envoyés à la W.C.E.C. Depuis le 23 janvier 1972, les relevés ont été adressés à l'ORSTOM puis à l'IRGM (CRH). Les lectures sont faites 2 fois par jour.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 01 03
O.M.M. : 35 3 011

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Bénoué à Buffle Noir
Coordonnées : Lat. : 8° 07' N
Long. : 13° 50' E
Altitude, (station) : 360 m environ
Superficie du B.V. : 3 220 km²

La station a été installée en 1955 par la Mission « Logone-Tchad ». Elle est située en aval du gué de la piste « Buffle Noir »-Tchollire, au sein du Parc National de la Bénoué et directement en amont d'une petite chute au pied du Campement du Buffle Noir.
Les éléments ont dû être remplacés plusieurs fois mais toujours recalés par rapport à l'élément supérieur.
Les mesures n'ont pas manqué, notamment dans les années 70 – peut-être en partie grâce à l'accueil chaleureux de M. Lebrun, gérant du Campement touristique –.
Quatre-vingt-huit jaugeages ont été effectués de 1955 à 1982 entre les cotes 32 et 552/542 cm et des débits variant entre 0,002 et 488 m³/s. La liste des jaugeages est donnée ci-après, tableau XXVIII.
Ces jaugeages ont permis de tracer une courbe de tarage univoque dont le barème hauteurs-débits, évalué par ordinateur, est présenté ci-contre :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
10	-	170	11.2	330	74.1	490	337	650	907
20	-	180	12.9	340	82.5	500	362	660	955
30	0.061	190	14.6	350	91.8	510	388	670	1044
40	0.178	200	16.5	360	102	520	416	680	1055
50	0.350	210	18.8	370	115	530	445	690	1107
60	0.578	220	21.3	380	128	540	476	700	1161
70	0.861	230	24.1	390	143	550	508	710	1216
80	1.20	240	27.2	400	158	560	541	720	1272
90	1.81	250	30.6	410	175	570	576	730	1330
100	2.55	260	34.2	420	192	580	613	740	1389
110	3.41	270	38.3	430	211	590	651	750	1450
120	4.39	280	43.0	440	230	600	690	760	1512
130	5.50	290	48.1	450	250	610	730	770	1576
140	6.73	300	53.7	460	271	620	773	780	1641
150	8.09	310	59.9	470	292	630	816	790	1707
160	9.57	320	66.5	480	314	640	861	800	1775

Les lectures sont régulières ; effectuées 6 fois par jour pendant la saison des pluies (Sce d'Annonce des Crues de la Bénoué), elles sont transmises par radio. Bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 01 10
O.M.M. : 35 3 013

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Bénoué à Lagdo
Coordonnées : Lat. : 9° 03' N
Long. : 13° 41' E
Altitude (station) : 186,880 (amont) ; 186,990 (aval)
Superficie du B.V. : 30 650 km²

Détruite au cours de la construction du barrage, la station a été substituée par celle de Riao située à 5 km environ en aval.

• Pour mémoire.

Elle était équipée de deux échelles limnimétriques posées par l'ORSTOM (convention passée le 27/01/1970 entre l'E.E.C. et l'ORSTOM. Ce dernier était chargé d'effectuer un ensemble de travaux et d'études hydrologiques nécessaires à l'établissement du Projet de barrage du site de Lagdo).
Une échelle « amont » contrôlée par la S.G.T.E. a été installée le 13/02/1970 sur la rive gauche, du côté droit de la borne n° 4 (194,390 m) et se composait de 9 éléments d'échelle de 0 à 9 m.
Une échelle « aval » a été installée le 16/02/1970 en rive gauche, à 5,10 m en aval de la borne n° 22 (192,55 m). Cette échelle était équipée d'un limnigraphe NEYRPIC type TELIMNIP, le 8/03/1970.
Soixante-deux jaugeages ont été effectués de 1970 à 1977 entre les cotes 6 et 510 à l'échelle « aval » et 17 et 548 à l'échelle « amont », avec des débits variant entre 0,109 et 1 998 m³/s.
Ces mesures ont été reportées dans la liste des jaugeages de la station de Riao après correction des hauteurs sur la base de la correspondance établie entre les 2 échelles.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 01 21
O.M.M. : 35 3 014

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Bénoué à Riao
Coordonnées : Lat. : 9° 03' N
Long. : 13° 41' E
Altitude (station) : 185,80 m I.G.N.
Superficie du B.V. : 30 650 km²

Une première station a été installée en avril 1950 par la Mission Logone-Tchad et emportée ultérieurement par une crue ; elle était calée sur un zéro à l'altitude de 186,00 m
Une deuxième échelle posée en février 1951, observée régulièrement, a été également emportée en septembre 1952.
L'échelle limnimétrique actuelle a été posée le 1[er] janvier 1953. Elle est située en rive droite, quatre kilomètres en aval du défilé de Lagdo et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 7 m dont le zéro est à l'altitude de 185,80 m (I.G.N.). Cette station n'a pas été modifiée depuis. Elle permet d'étudier le régime de la Bénoué sans le Mayo-Kébi.
En 1978, l'I.R.T.I.S.S. a procédé à l'installation d'un limnigraphe OTT type X qui contrôle les lectures de l'observateur de la station.

Cent trente trois jaugeages ont été effectués de 1950 à 1982 entre les cotes 0 et 600 cm dont les débits respectifs sont 0,22 et 2 840 m³/s.
La liste des jaugeages est donnée dans le tableau ci-après. Elle comprend les mesures de débits effectuées à la station de Lagdo.
Ces jaugeages ont permis d'établir avec précision la courbe d'étalonnage. Un léger détarage constaté en 1978 pour les débits inférieurs à 500 m³/s a été confirmé dans la campagne menée par la D.G.R.S.T. en 1979.
Le barème de traduction Hauteurs-Débits est indiqué ci-après.
Le Service « d'Annonce des Crues » assure plusieurs lectures quotidiennes : 7 de juin à octobre et 3 de novembre à mai. Ces lectures sont de bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 01 06
O.M.M. : 35 3 012

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Bénoué à Garoua
Coordonnées : Lat. : 9° 18' N
Long. : 13° 23' E
Altitude (station) : 173,37 m
Superficie du B.V. : 60 500 km²

De 1930 à 1948, trois échelles limnimétriques ont été successivement installées. Une échelle (dite « Haute ») installée à l'extrémité du warf. Une seconde échelle était, en 1945, à l'aval du warf (en rive droite). Le zéro à — 1,98 m sous le pied de l'échelle haute. Cette échelle a été supprimée le 31/10/1945. Une troisième échelle (dite « basse ») a été placée sur la rive gauche. Son zéro était à — 3,98 m sous le zéro de l'échelle haute. A la suite d'une laborieuse étude, on a montré que le zéro de l'ancienne échelle haute était à 4,10 m au-dessus du zéro de l'échelle actuelle, le zéro de l'échelle basse étant à 0,12 m au-dessus du zéro de l'échelle actuelle. Une quatrième échelle installée le 1[er] mai 1948 est toujours suivie. Elle est située au port de Garoua sur le grand quai, côté aval, et se compose d'éléments d'échelle de 0 à 8 m dont le zéro est coté 173,37 m (I.G.N.).
Actuellement, les éléments d'échelle sont situés :
- Élément 0-1 m dans le lit mineur de la Bénoué
- Élément 1 à 2 m fixé au niveau de l'ancien quai
- Éléments 200-550 m : scellés sur le petit quai
- Éléments 550 à 880 m : scellés sur le grand quai.

La cote du zéro reste inchangée.
En 1978, un limnigraphe OTT de type X a été installé au droit de la série d'éléments 200-550.

Le barème suivant est utilisé :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
10	0.0	210	189	410	655	610	1701	810	
20	0.0	220	208	420	685	620	1776	820	
30	2.8	230	228	430	717	630	1853	830	
40	5.5	240	249	440	750	640	1933	840	
50	8.3	250	274	450	785	650	2018	850	
60	12.0	260	305	460	823	660	2108	860	
70	15.8	270	325	470	864	670	2203	870	
80	20.0	280	345	480	908	680	2323	880	
90	24.3	290	365	490	955	690	2482	890	
100	30.0	300	385	500	1003	700	2702	900	
110	36.3	310	406	510	1052	710	2980	910	
120	43.4	320	438	520	1102	720	3260	920	
130	52.1	330	450	530	1157	730	3530	930	
140	63.5	340	472	540	1217	740	3800	940	
150	79.0	350	995	550	1277	750	4070	950	
160	97.0	360	520	560	1342	760	4340	960	
170	115.5	370	545	570	1410	770		970	
180	134	380	570	580	1480	780		980	
190	152	390	596	590	1552	790		990	
200	170.5	400	625	600	1626	800		1000	

Cent quatre vingt quatre jaugeages ont été effectués de 1950 à 1982 entre les cotes 9 et 730/728,5 dont les débits respectifs sont 0,28 et 3534 m³/s.

La liste des jaugeages est donnée dans le tableau ci-après (XXX).
En dehors des basses-eaux pour lesquelles le tarage varie chaque année, la station présente une relation Hauteurs-Débits stable.

Plusieurs lectures quotidiennes sont effectuées par le Service « Annonce des Crues de la Bénoué » : 7 de juin à octobre et 3 de novembre à mai. Ces lectures sont de bonne qualité.

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 17 24 03
O.M.M. : 35 3 241

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Mayo Rey à Tchollire
Coordonnées : Lat. : 8° 24' W
Long. : 14° 15' E
Altitude (station) :
Superficie du B.V. : 5 240 km²

Elle a été installée en 1955 par la Mission « Logone-Tchad » en rive gauche en amont du radier de la route de Touboro (remplacé par un pont).
Station réinstallée en 1974, elle est située en amont du pont en rive gauche. Les éléments d'échelle sont fixés sur la maçonnerie du puits du limnigraphe OTT X.
Quarante-six jaugeages ont été effectués de 1955 à 1982 entre les cotes 32 et 378/386 cm pour des débits respectifs de 0,065 et 438 m³/s. La liste des jaugeages est présentée dans le tableau ci-après (XXXI).
Ces jaugeages ont permis de tracer une courbe de tarage valable malgré une dissémination des points de mesures au-dessus de la cote 1,70 m à l'échelle.
Les barèmes hauteurs-débits ont été traduits à l'aide d'un ordinateur. Le dernier, valable depuis le 18/8/1973, est reproduit ci-contre :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
10		130	44.0	250	213	370	421	490	666
20		140	55.5	260	229	380	440	500	688
30	0.048	150	67.6	270	245	390	459	510	711
40	0.100	160	80.2	280	261	400	478	520	733
50	0.251	170	93.3	290	278	410	498	530	756
60	0.600	180	107	300	294	420	518	540	780
70	1.57	190	122	310	312	430	538	550	803
80	3.37	200	137	320	329	440	559	560	827
90	6.00	210	152	330	347	450	580	570	851
100	11.9	220	167	340	365	460	601	580	875
110	20.9	230	183	350	383	470	622	590	900
120	33.0	240	198	360	402	480	644	600	925

Les lectures sont plus ou moins correctes.

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 17 41 03
O.M.M. : 35 5 411

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Mayo-Oulo à Golombe
Coordonnées : Lat. : 9° 39' N
Long. : 13° 53' E
Altitude (station) :
Superficie du B.V. : 1 160 km²

Cette station a été installée le 27 juin 1951 par la Mission « Logone-Tchad » sur la pile du pont de la route Garoua-Maroua.
Des lectures épisodiques ont été effectuées pour l'étude des crues. En 1979, la station a été détruite lors de la construction du nouveau pont. Une nouvelle station a été installée le 4 août 1980. Son zéro est à 50 cm environ plus bas que celui de la précédente.
Cent seize jaugeages ont été effectués de 1971 à 1982, dont onze jaugeages d'après la nouvelle échelle.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 38 03
OMM : 35 3 381

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Mayo-Louti à Figuil
Coordonnées : Lat. : 9° 46' N
Long. : 13° 56' E
Altitude (station) :
Superficie du B.V. : 5 540 km²

La station a été installée début 1951 contre la 1re pile du pont en rive droite. Le pont a été détruit fin août 1958 par une forte crue. Un limnigraphe hebdomadaire a été posé le 23/07/1956.
L'échelle a été réinstallée à 100 m en amont du pont de la route Garoua-Maroua en rive gauche.
Une échelle aval a été mise en service le 27 avril 1976. Elle est située à 200 m environ en aval du pont et en rive gauche. Elle se compose d'éléments de 0 à 4 m.
Cent soixante-deux jaugeages ont été effectués de 1955 à 1982 entre les cotes 34 et 390 cm pour les débits respectifs de 0,023 et 1 400 m³/s. La liste des jaugeages est donnée dans le tableau ci-après (XXXIII).
Un détarage de la section est apparu en 1975 pour les basses et moyennes-eaux. Les nombreuses mesures de débit effectuées en 1976 ont donc été utilisées, ainsi que les 2 jaugeages chimiques de hautes-eaux de 1973 effectués à Koli, pour tracer la courbe de tarage.

Le barème de traduction hauteurs-débits est reproduit ci-dessous :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
80		130	40	260	382	400	1170
85		140	57	280	465	420	1320
90	3	160	97	300	558	440	1470
95	5.6	180	138	320	660	460	1620
100	10.5	200	187	340	770	480	1770
110	16	220	242	360	895	500	1925
120	26	240	306	380	1030	520	2080

Les lectures sont régulières et de bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 18 03
OMM : 35 3 181

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Mayo-Kébi à Cossi
Coordonnées : Lat. : 9° 37' N
Long. : 13° 52' E
Altitude (station) : 195 m environ
Superficie du B.V. : 25 000 km²

En remplacement de la station de Famou, l'échelle limnimétrique a été installée le 23 juillet 1954 en rive droite, au droit de la case radio du Service « Annonce des crues de la Bénoué » ; elle se compose d'éléments d'échelle de 0 à 6 m. Elle est équipée depuis 1978 d'un limnigraphe OTT de type X. Le zéro de l'échelle est à l'altitude de 195 m environ et calé à 4,821 m au-dessous de la borne ORSTOM.
Cent deux jaugeages ont été effectués de 1954 à 1982 entre les cotes 19 et 367/374 dont les débits respectifs sont 0,007 et 1 110 m³/s.

La liste des jaugeages est donnée dans le tableau ci-après (XXXIV).
L'étalonnage de cette station présentait une dispersion des points sur la courbe d'étalonnage, pour des débits allant de 0,007 à 850 m³/s, consécutive aux modifications constantes apportées au lit du Mayo-Kébi après le passage de fortes crues. Les jaugeages effectués (38) au cours des 3 années d'étude de la DGRST entre 0,008 et 1 110 m³/s ont permis de préciser le détarage de la station pour les basses et moyennes-eaux et de mieux définir le nouveau tarage du Mayo-Kébi. Le nouveau barème de traduction Hauteurs-Débits est indiqué dans le tableau ci-après :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
40	3.00	110	26.0	180	154	250	402	320	765	390	1250
50	3.50	120	36.0	190	184	260	445	330	831	400	1315
60	4.00	130	50.5	200	214	270	492	340	898	410	1380
70	4.50	140	65.0	210	249	280	540	350	969	420	1450
80	5.00	150	84.5	220	284	290	592	360	1040		
90	8.00	160	104	230	322	300	645	370	1110		
100	16.0	170	129	240	360	310	705	380	1180		

Plusieurs lectures quotidiennes sont effectuées régulièrement par le Service « Annonce des crues de la Bénoué » : 7 de juin à octobre et 3 de novembre à mai. Ces lectures sont de bonne qualité.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 12 06
OMM : 35 3 121

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Faro à Djelepo
Coordonnées : Lat. : 8° 39' N
Long. : 12° 49' E
Altitude (station) : 230 m environ
Superficie du B.V. : 24 000 km²

La station a été installée le 1[er] janvier 1965 par le « Service d'annonce des crues de la Bénoué ». Elle est située à l'aval du radier de la route Poli-Tchad en rive droite.
Le zéro de l'échelle est à — 8,867 m de la borne Hydro.

• Rappelée ici pour mémoire.

Dix-sept jaugeages ont été effectués de 1965 à 1980 entre les cotes — 5 et + 134 cm pour des débits variant entre 3,1 et 295 m³/s.
La liste de ces jaugeages est donnée ci-contre :

N°	Date	H cm	Q m3/s
1	18.01.65	45	28.2
2	24.03.65	49	9
3	17.01.67	46	30.2
4	16.03.67	7	6.88
5	08.04.67	- 5	3.8
6	21.01.69	35.5	18.8
7	14.02.69	15	10.8
8	14.03.69	6.5	3.1
9	02.04.76	45	5.34
10	17.11.76	134	295
11	11.12.76	100-99	108
12	08.02.77	62.5	33.5
13	28.03.77	35	12.5
14	12.05.77	34	7.8
15	25.01.79	90	24.8
16	19.02.79	81	13.2
17	29.03.80	63	1.75

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 17 12 15
OMM : 35 3 122

BASSIN DE LA BÉNOUÉ

Station : Faro à Safai
Coordonnées : Lat. : 8° 36′ N
Long. : 12° 50′ E
Altitude (station) : 230 m environ
Superficie du B.V. : 23 500 km²

La station a été installée le 3 mai 1950 par la Mission « Logone-Tchad » et restaurée le 23 janvier 1951. Emportée par la crue du 7/10/1954, l'échelle limnimétrique a été remplacée par une échelle provisoire jusqu'au 3 mai 1955, date à laquelle fut installée une échelle définitive calée 6 cm plus haut que l'ancienne.
Dix jaugeages ont été effectués par la Mission Logone-Tchad et quinze jaugeages ont été effectués de 1954 à 1957 entre les cotes 50 et 372 cm, avec des débits respectifs de 22 et 2 890 m³/s.
La liste de ces jaugeages est donnée ci-contre.
Malgré une dispersion notable due aux mauvaises conditions de mesures et à une certaine instabilité du lit, les débits sont connus avec une précision acceptable. Le bas de la courbe de tarage doit être revu chaque année.

Les lectures de 1950 sont inexistantes par suite de la carence du lecteur. A partir du 24 janvier 1951, elles sont valables.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	06.10.54	277	1345	9	11.07.55	158	363
2	08.10.54	372	2890	10	19.08.55	198	670
3	27.10.54	208	633	11	30.09.55	220	1015
4	28.10.54	205	621	12	22.10.55	210	850
5	06.11.54	158	336	13	14.04.56	50	22
6	17.11.54	137	219	14	27.09.56	200	640
7	14.12.54	101	90	15	10.10.57	294	1790
8	12.01.55	79	41				

Rappelée ici pour mémoire, cette station a été remplacée par celle de Djelepo.

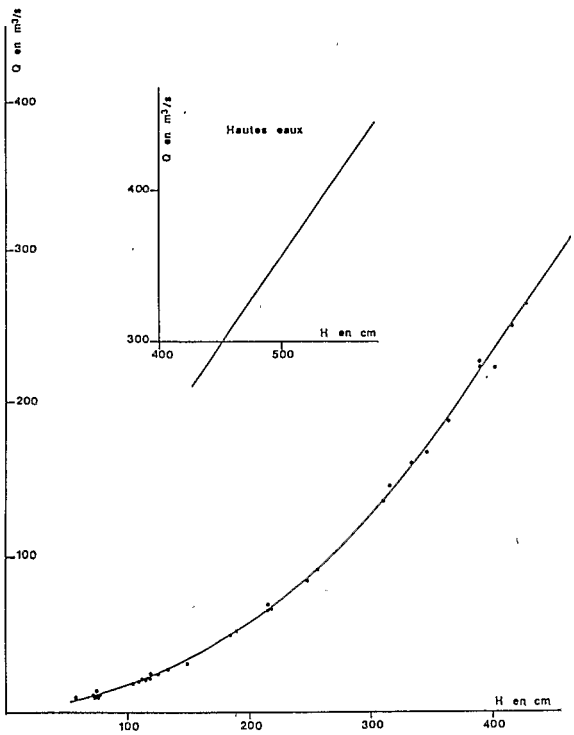
Tableau XXVII. – Jaugeages de la Metchem à Gouri.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations	N°	Date	H cm	Q m^3/s	Observations
1	18.11.65	215	70.5	ORSTOM	21	02.06.74	217-218	67.8	C.E.C.
2	24.02.66	61	8.4	"	22	02.08.74	332	161	"
3	27.10.66	345	168	"	23	03.08.74	314	146	"
4	29.11.66	215	66	"	24	25.10.74	389-386	223	"
5	29.01.67	108	19.3	"	25	29.11.74	218	64.6	"
6	12.03.67	59	9.35	"	26	09.01.75	133	36.6	"
7	24.09.67	424	264	"	27	25.01.75	111	19.7	ORSTOM
8	31.08.71	388-386	227	"	28	07.02.75	118	23.1	C.E.C.
9	23.01.72	118	20.7	"	29	07.03.75	75	11.6	C.E.C.
10	15.03.72	80-79.5	10.1	"	30	14.03.75	75	11.7	ORSTOM
11	24.02.73	80	14.1	"	31	14.04.75	187-185	49.9	C.E.C.
12	30.03.73	116	20	C.E.C.	32	26.05.75	191-190	51.8	"
13	30.04.73	124	23.5	"	33	25.06.75	248	85.1	"
14	06.06.73	215	67.5	"	34	06.08.75	300-299	74.9?	"
15	09.08.73	310	136	"	35	07.09.75	400-399	222.8	"
16	07.09.73	362	188	"	36	23.10.75	414-404	250	"
17	03.11.73	256	92	"	37	31.01.76	104.5	17.6	ORSTOM
18	03.02.74	77	11.7	"	38	26.02.76	122-121	23	"
19	08.02.74	71	10.9	ORSTOM	39	15.05.76	149	30	"
20	18.03.74	80	13.3	"	40	17.03.77	57	10	"

Jaugeages de la Mezam à Mbengwi.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	25.02.66	26	0,950	22	20.10.74	182	25,6
2	02.03.66	27	0,900	23	23.10.74	175	28,5
3	26.10.66	146	22,1	24	29.11.74	89-90	9,2
4	28.11.66	93	9,35	25	08.01.75	58	2,9
5	24.01.67	53	3,54	26	25.01.75	50	2,24
6	11.03.67	27	1,25	27	07.02.75	53	2,9
7	22.01.72	60	3,52	28	07.03.75	35	1,9
8	15.03.72	50	1,81	29	14.03.75	32	1,11
9	15.07.72	187,5-183	24,7	30	14.04.75	84-82	7,5
10	25.02.73	28	1,78	31	25.05.75	68	3,1
11	29.03.73	76	5,7	32	26.06.75	118-122	15,9
12	07.06.73	72	4,9	33	04.08.75	138	18,6
13	10.08.73	95	9,9	34	07.09.75	133	17,7
14	07.09.73	152	19,0	35	22.10.75	160	22,5
15	03.11.73	106	13,0	36	30.01.76	44	1,89
16	05.12.73	81	6,9	37	26.02.76	46	2,30
17	01.01.74	58	3,8	38	15.05.76	61	3,42
18	03.02.74	37	1,6	39	16.10.76	205-220	32
19	03.03.74	27	1,0	40	17.03.77	25	1,30
20	01.06.74	88-92	8,8	41	17.06.77	98	9,14
21	03.08.74	136-137	18,8				

METCHUM à GOURI
Courbe de tarage



MEZAM à MBENGWI
Courbe de tarage

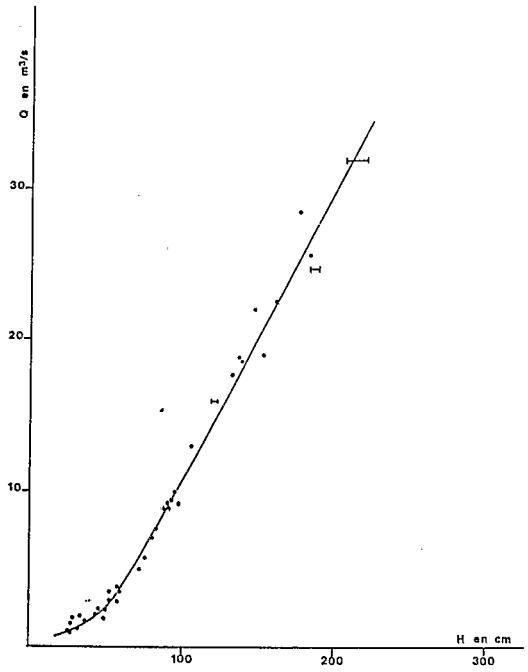


Fig. A16

Tableau XXVIII. – Jaugeages de la Bénoué au Buffle Noir.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	20.06.55	234	25	45	09.08.77	380	134
2	22.08.55	374	119	46	10.08.77	366-365	118
3	02.09.55	412		47	11.08.77	385-383	134
4	04.09.55	505		48	21.08.77	385-381	141
5	16.10.55	409		49	21.08.77	376-371	126
6	13.04.56	81	1.2	50	22.08.77	433-431	216
7	06.11.56	111 ?	3.4	51	22.08.77	430-428	216
8	11.01.57	116	3.4	52	"	428-426	211
9	06.04.58	64	0.44	53	"	423-420	202
10	02.08.62	318-319		54	26.08.77	552-542	488
11	03.08.62	355-353		55	"	542-534	475
12	09.02.63	95	1.65	56	"	534-516	428
13	19.01.65	115	3.78	57	"	516-509	404
14	26.03.65	64	0.57	58	"	503-496	363
15	13.01.67	107	3.04	59	"	496-490	356
16	15.03.67	64	0.54	60	"	490-485	345
17	03.04.67	51	0.25	61	"	485-480	339
18	12.12.67	122	4.79	62	27.08.77	414-413	185
19	05.04.68	41	0.20	63	27.08.77	404-403	172
20	28.11.70	139	6.08	64	30.08.77	360	105
21	15.01.73	81	0.90	65	31.08.77	428-430	221
22	10.03.73	36	0.118	66	"	430	216
23	13.04.73		0.002	67	"	423-417	201
24	11.10.73	285-286	43	68	05.09.77	406-404	161
25	20.02.74	43.5	0.328	69	05.09.77	400-399	158
26	03.12.74	142	5.98	70	06.09.77	426-434	200
27	17.07.75	178	12.9	71	06.09.77	441-459	245
28	07.08.75	362-358	98.5	72	06.09.77	459-473	275
29	14.11.75	191	12.7	73	"	481-498	342
30	09.12.75	139	6.11	74	"	498-504	358
31	28.02.76	62.5?	0.864	75	"	510	373
32	03.08.76	350.5	93	76	"	509-495	340
33	20.08.76	423-421	178.2	77	"	493-489	317
34	28.08.76	450-445	227.2	78	08.09.77	444-441	220
35	04.09.76	467-469	270.8	79	09.09.77	448-450	230
36	07.09.76	366-360	96.4	80	09.02.78	60	0.814
37	11.09.76	378-377	118.6	81	25.03.78	32	0.148
38	18.09.76	352-353	89	82	17.08.78	366-368	108
39	24.09.76	352-351	89.6	83	28.08.78	432-430	218
40	30.10.76	322-320	67.3	84	24.01.79	102	2.50
41	29.11.76	180	11.9	85	18.02.79	69.5	1.13
42	12.12.76	156	7.85	86	24.01.81	94	2.04
43	23.03.77	0.40	0.25	87	26.08.81	366-365	110.5
44	12.05.77	83	2.0	88	17.08.82	360-54	98.2

Tableau XXIX. – Jaugeages de la Bénoué à Riao.

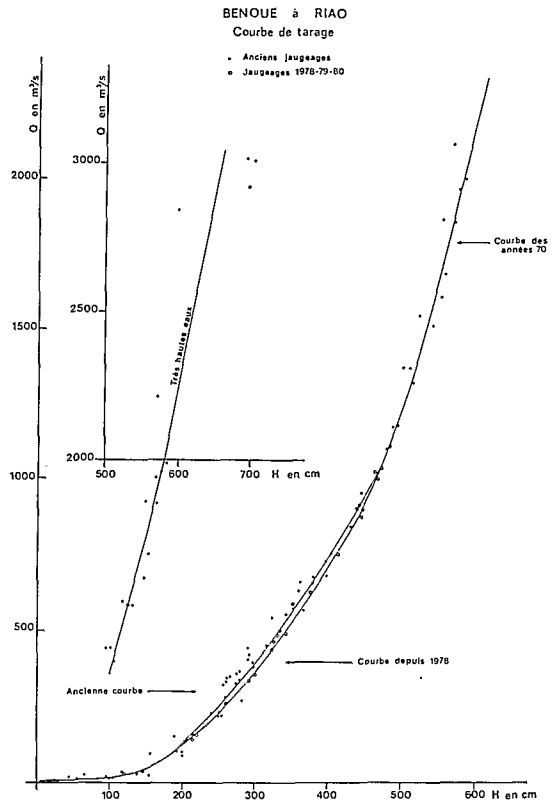
N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)	N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)
1	19.07.50	123	126	46	15.09.70	560	1683
2	13.11.50	99	60	47	16.09.70	570	1856
3	15.02.51	20	20	48	29.09.70	365	659
4	21.04.51	0	0.22	49	01.10.70	404	755
5	13.06.51	50	15.3	50	17.11.70	167	44.7
6	15.08.51	300	590	51	30.11.70	139	22.5
7	26.09.51	430	1121	52	30.11.70	99	6.15
8	21.04.52	12	0.22	53	07.02.71	90	0.81
9	24.11.52	154	51	54	28.07.71	274	322
10	05.12.52	215	154	55	29.07.71	252	231
11	28.02.53	89	2.2	56	26.08.71	494	1142
12	30.04.53	71	0.41	57	28.08.71	439	880
13	03.10.54	492	1170	58	02.09.71	516	1320
14	04.10.54	482	1103	59	21.09.71	465	1032
15	22.10.54	369	566	60	27.09.71	356	572
16	03.11.54	228	163	61	29.09.71	318	447
17	14.11.54	192	100	62	17.10.71	212	136
18	03.12.54	146	35	63	27.10.71	178	75
19	11.01.55	106	11.5	64	22.11.71	121	22
20	13.09.55	512	1370	65	18.08.72	276	360
21	26.09.55	571	2210	66	23.08.72	365	706
22	15.04.56	87	2.3	67	04.09.72	268	351
23	17.08.56	382	630	68	13.09.72	294	428
24	25.08.56	302	380	69	23.11.72	117	23.4
25	29.08.56	446	950	70	19.04.73	46	0.109
26	04.09.56	505	1370	71	21.07.73	156	95.5
27	10.09.56	556	1860	72	30.07.73	257	326
28	02.09.56	526	1545	73	08.08.73	377	725
29	08.10.56	600	2840	74	21.08.73	405	795
30	06.01.57	123	10.7	75	09.09.73	326	540
31	10.04.58	33	0.68	76	13.09.73	535	1510
32	11.02.63	68	4.55	77	16.09.73	569	1940
33	15.01.65	114	12.15	78	18.09.73	552-549	1600
34	12.01.67	96	10.8	79	21.09.73	462-461	1016
35	17.02.67	63	0.68	80	28.09.73	340-339	546
36	08.03.67	103	10.9	81	24.10.73	148	104
37	24.04.68	56	0.365	82	02.11.73	124	69
38	13.02.69	86	3.0	83	10.09.74	341-350	552
39	05.03.69	73.5	1.316	84	13.01.75	75	22.4
40	26.04.69	82	3.306	85	06.02.75	47	6.8
41	16.07.70	189	151	86	13.08.75	35	5.06
42	23.08.70	586	1998	87	07.12.75	441-439	958
43	24.08.70	555	1606	88	30.03.76	30	0.580
44	25.08.70	540	1510	89	31.07.76	260	325
45	14.09.70	578	1960	90	09.08.76	430	835

Tableau XXIXa. – Jaugeages de la Bénoué à Riao (suite).

N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)	N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)
91	30.08.76	380	671	113	18.08.79	354-356	588
92	03.09.76	395	711	114	21.08.79	380-379	630
93	20.09.76	290	398.8	115	24.08.79	469-470	996
94	23.09.76	278	351	116	29.08.79	417	748
95	27.09.76	280	360	117	25.09.79	300-305	360
96	05.10.76	290	428	118	26.11.79	122	24.6
97	16.10.76	220	236	119	11.08.80	470-480	1036
98	02.11.76	262	340	120	22.08.80	480-490	1110
99	05.12.76	117	31.7	121	01.09.80	448-450	900
100	27.12.76	65	19.2	122	02.09.80	442-444	902
101	07.01.77	54	11.0	123	02.09.80	446-447	880
102	19.01.77	45	8.4	124	03.09.80	443-444	912
103	17.07.78	270-269	259	125	12.09.80	496-498	1174
104	27.07.78	215-213	133.5	126	22.09.80	465-468	1024
105	03.08.78	338-335	490	127	07.10.80	338	503
106	09.08.78	326	434	128	02.12.80	146	38.0
107	17.08.78	328	465	129	26.01.81	112	6.66
108	19.08.78	347	490	130	11.08.81	290	313
109	25.07.79	222	156.4	131	21.08.81	359	612
110	01.08.79	208	130	132	10.12.81	133	17.5
111	07.08.79	295-293	333	133	12.02.82	98	2.48
112	14.08.79	266-264	258				

Barème de la Bénoué à Riao.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
40	1.00	190	84.0	330	436	470	1 030
50	1.50	200	100	340	466	480	1 090
60	2.00	210	125	350	498	490	1 150
70	3.00	220	150	360	530	500	1 210
80	4.00	230	171	370	565	510	1 280
90	5.00	240	192	380	600	520	1 350
100	6.00	250	216	390	640	530	1 450
110	8.00	260	240	400	680	540	1 555
120	10.0	270	266	410	724	550	1 670
130	17.5	280	292	420	768	560	1 780
140	25.0	290	321	430	814	570	1 880
150	33.5	300	350	440	860	580	1 975
160	42.0	310	378	450	915	590	2 090
170	55.0	320	406	460	970	600	2 200
180	68.0					610	2 350
						620	2 500


BENOUE à RIAO
Courbe de tarage
Anciens jaugeages
Jaugeages 1978-79-80
Q en m³/s
2000
1500
1000
500
100
200
300
400
500
600 H en cm
Courbe des années 70
Courbe depuis 1978
Ancienne courbe
Q en m³/s
3000
2500
2000
500
600
700 H en cm
Très basses eaux

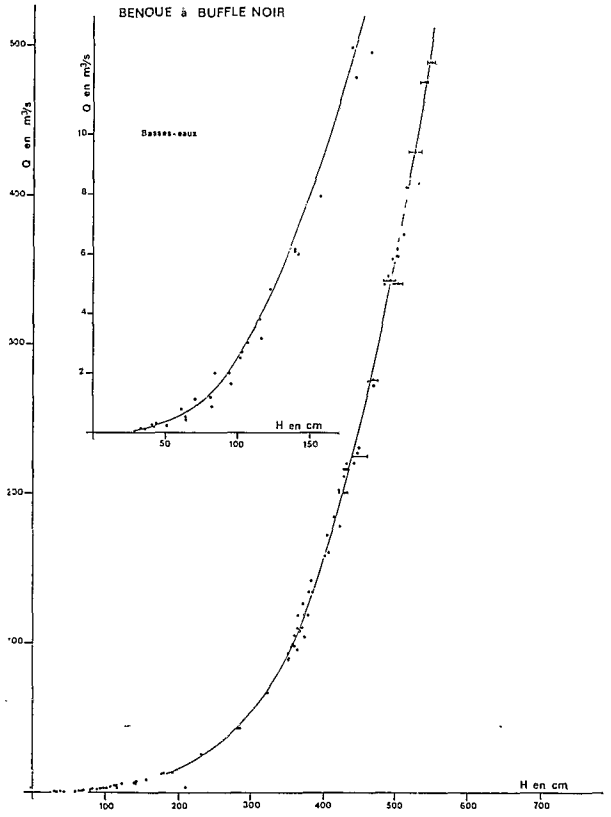

BENOUE à BUFFLE NOIR
Q en m³/s
500
400
300
200
100
100
200
300
400
500
600
700
H en cm
Q en m³/s
10
8
6
4
2
Basses-eaux
50
100
150
H en cm

Fig. A17

Tableau XXX. – Jaugeages de la Bénoué à Garoua.

N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)	N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)
1	25.06.50	126	84	51	22.09.56	679	2320
2	28.09.50	556	1251	52	02.10.56	556	1310
3	14.10.50	437	743	53	21.05.57	56	4.1
4	19.10.50	370	516	54	19.09.57	584	1510
5	29.10.50	255	301	55	01.10.57	611	1750
6	20.11.50	181	159	56	08.04.58	59	1.70
7	16.01.51	88	24	57	10.02.63	72-76	15.5
8	22.06.51	118	57	58	13.01.65	60	3.99
9	11.08.51	530	1255	59	16.01.65	102	31.9
10	23.09.51	612	1681	60	16.01.65	102	30.3
11	27.09.51	663	1598	61	21.03.65	104	32.3
12	07.11.52	226	247	62	11.01.67	86.5	28.4
13	22.11.52	166	132	63	18.01.67	81	26.9
14	26.02.53	68	9	64	07.03.67	49	5.64
15	16.04.53	650	1430	65	17.03.67	44	3.85
16	01.05.53	36	0.85	66	01.04.67	36	2.03
17	05.09.53	640	1470	67	09.04.67	31.5	1.56
18	17.05.54	43	1.34	68	24.04.68	38	0.74
19	04.09.54	710	2860	69	13.02.69	64	6.74
20	29.09.54	602	1337	70	03.03.69	57.5	3.72
21	20.10.54	453	805	71	26.04.69	56	4.065
22	23.10.54	435	739	72	19.11.69	212-211	216
23	25.10.54	385	587	73	28.11.69	175	157
24	30.10.54	310	396	74	03.11.69	157	130
25	04.11.54	258	284	75	22.12.69	121	72.1
26	08.11.54	234	239	76	20.01.70	82	20.3
27	12.11.54	216	214	77	20.11.70	178	167
28	22.11.54	191	166	78	01.12.70	137	108
29	04.12.54	164	117	79	06.03.71	37	5.1
30	13.06.55	132	70	80	17.04.71	16.5	1.1
31	15.07.55	240	285	81	22.05.71	9	0.280
32	18.07.55	314	465	82	08.08.71	394-405	632
33	20.07.55	264	340	83	17.08.71	561	1325
34	29.07.55	375	625	84	28.10.71	151	147.5
35	16.08.55	582	1457	85	03.12.71	83	40.5
36	29.08.55	558	1355	86	11.10.72	352	614
37	09.09.55	725	3250	87	14.10.72	351	588
38	20.09.55	666	2230	88	28.10.72	190	187
39	28.09.55	683	2625	89	21.11.72	100	41
40	15.11.55	112	41	90	23.02.73	52	1.62
41	18.04.56	51	5.1	91	06.04.73	47	0.27
42	27.07.56	431	785	92	27.04.73	45.5	0.133
43	31.08.56	536	1180	93	05.06.73	69	4.69
44	01.09.56	537	1215	94	18.06.73	100	15.5
45	06.09.56	592	1530	95	11.07.73	156	100
46	12.09.56	625	1685	96	23.07.73	190	157
47	13.09.56	639	1865	97	27.07.73	430	851
48	17.09.56	670	2170	98	07.08.73	305.5	407
49	18.09.56	718	3000	99	17.08.73	598	1580
50	20.09.56	705	2790	100	19.08.73	672	2250

Tableau XXXa. – Jaugeages de la Bénoué à Garoua (suite).

N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)	N°	Date	H (cm)	Q (m^3/s)
101	31.08.73	522	1100	143	15.02.77	52	10.6
102	17.09.73	649-653	2030	144	01.04.77	25	2.08
103	01.10.73	451	795	145	09.05.77		0.32
104	06.10.73	400-394	625	146	08.08.77	351	581
105	07.10.73	364-361	495	147	12.09.77	679	2535
106	08.10.73	331-327	448	148	10.02.78	15	2.44
107	17.10.73	210	204	149	06.04.78	7	0.35
108	31.10.73	170	125	150	06.07.78	207-208	224
109	02.02.74	44.5	3.34	151	15.07.78	320-325	476
110	22.02.74	35	1.54	152	21.07.78	387-384	615
111	16.03.74	25	0.557	153	26.07.78	397-396	608
112	12.05.74	86.5	22	154	01.08.78	283-289	378
113	18.07.74	324	445	155	11.08.78	391	626
114	18.05.75	22.5	0.496	156	22.08.78	493-497	972
115	26.06.75	78	19.2	157	25.08.78	608-611	1670
116	12.07.75	144	68.5	158	29.08.78	693-697	3000
117	20.07.75	224-220	212	159	24.01.79	51	21.5
118	01.08.75	549	1274	160	20.02.79	30	6.87
119	08.08.75	485	900	161	08.08.79	385-382	730
120	23.08.75	680-695	2608	162	16.08.79	345-350	661
121	25.08.75	730-728.5	3534	163	21.08.79	427-430	930
122	02.02.76	70	24.6	164	22.08.79	453-457	964
123	17.02.76	59	16.1	165	27.08.79	553	1364
124	03.03.76	47	8.96	166	06.09.79	474-476	890
125	28.03.76	31.5	2.28	167	29.11.79	83	31.6
126	11.07.76	200	220	168	08.08.80	573-575	1460
127	25.07.76	305	393	169	13.08.80	591-593	1590
128	01.08.76	287	376	170	16.08.80	575-577	1456
129	27.09.76	353.5	503	171	21.08.80	634-635	2000
130	02.10.76	360	545	172	23.08.80	658-659	2264
131	10.10.76	312	473	173	30.08.80	635	1850
132	18.10.76	314-321	505	174	05.09.80	595-597	1688
133	09.11.76	254-249	304	175	11.09.80	594	1630
134	14.11.76	198	200	176	29.09.80	473-476	1040
135	20.11.76	170	155	177	03.12.80	100	67.0
136	03.12.76	128	86.1	178	04.02.81	29.5	8.32
137	30.12.76	100	35.3	179	11.02.81	24	6.77
138	08.01.77	82.5	28.4	180	22.08.81	393	7.97
139	14.01.77	75.5	24.6	181	10.12.81	70	37.1
140	20.01.77	69.5	21.7	182	17.02.82	10	3.15
141	29.01.77	63	16.0	183	19.08.82	247	280
142	10.02.77	56	11.5	184	16.09.82	243-248	291

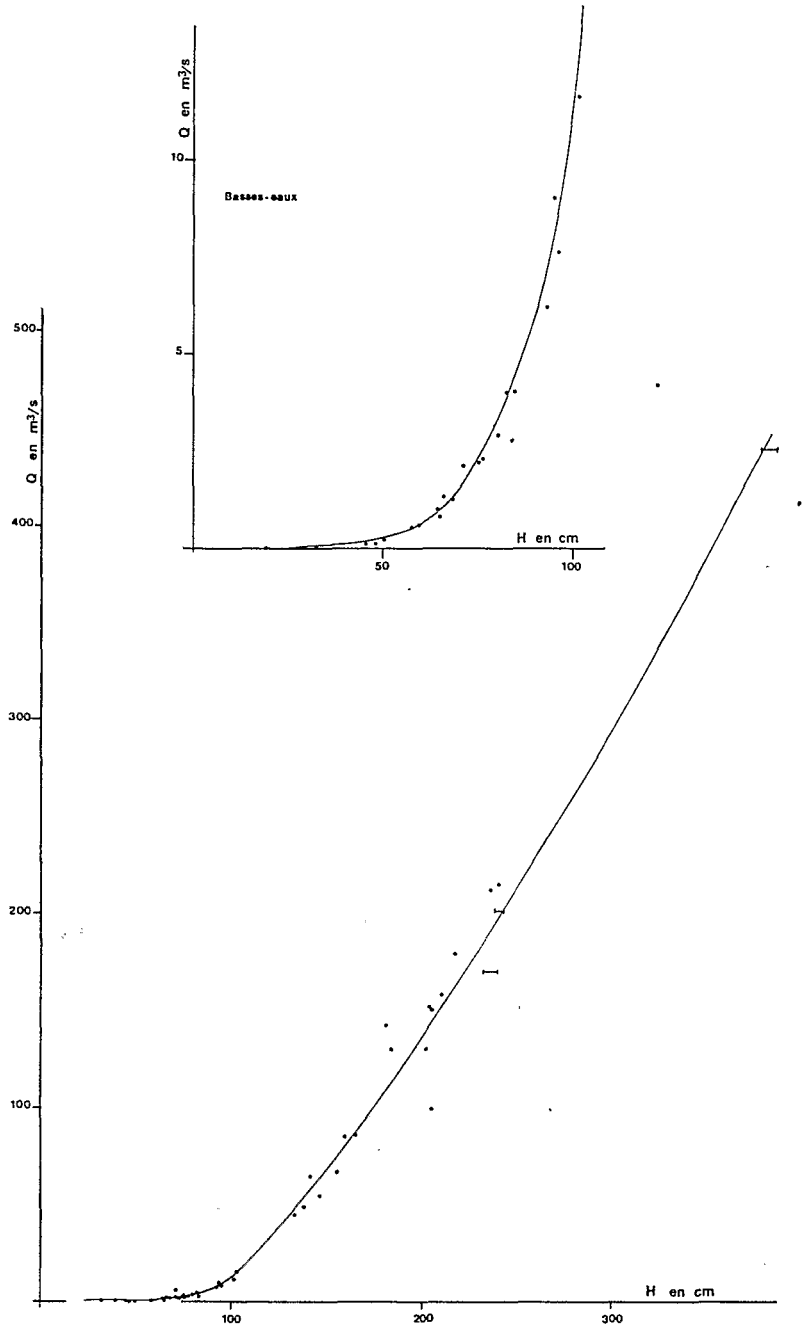


Fig. A18. – Étalonnage du Mayo-Rey à Tchollire (Mayo Galké).

Tableau XXXI. – Jaugeages du Mayo Rey à Tchollire.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	20.08.55	181	142	24	28.02.76	48	0.111
2	18.10.55	192		25	22.07.76	143-142	64.6
3	12.12.67	84	2.78	26	18.08.76	239-232	170.2
4	05.01.68	73.4	1.26	27	06.09.76	378-386	438
5	15.01.68	65	0.79	28	17.09.76	165	85.5
6	05.02.68	63.5	0.48	29	24.09.76	242-238	215
7	17.02.68	58.5	0.27	30	29.10.76	184	130
8	22.07.73	96	7.60	31	28.11.76	103	14.6
9	09.08.73	147	54.5	32	23.12.76	82.5	4.00
10	18.08.73	205	150	33	28.01.77	64.5	1.02
11	05.09.73	204	152	34	18.08.77	139	48.4
12	10.10.73	160-161	85.0	35	14.09.77	210	158
13	30.11.73	75	2.20	36	16.02.78	32	0.065
14	19.07.74	104-101	11.6	37	09.07.78	93	7.20
15	29.09.74	285-283	324	38	29.07.78	95	9.00
16	16.12.74	80	2.87	39	12.08.78	156-155	66.9
17	23.02.75	50.5	0.205	40	01.11.78	133	44.0
18	19.06.75	68-69	1.27	41	30.01.80	46	0.133
19	27.07.75	204-200	130	42	16.05.80	66	1.366
20	14.08.75	236	212	43	28.01.81	58	0.545
21	11.10.75	204-206	98.7	44	27.08.81	243-238	201
22	05.12.75	84.5	4.00	45	14.12.81	71	2.12
23	19.12.75	76	2.31	46	27.08.82	217-218	179

Tableau XXXII. – Jaugeages du Mayo Oulo à Golombe.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	09.08.71	42.5	11.0	30	03.08.73	17	8.00
2	11.08.71	76	40.2	31	10.08.73	26.5	8.5
3	12.08.71	52	22.5	32	23.09.73	57.5	25.5
4	13.08.71	132	160	33	15.11.73	23	1.20
5	13.08.71	150	205	34	04.12.73	17.5	0.007
6	13.08.71	166	257	35	30.08.74	66	24.6
7	13.08.71	182	350	36	16.09.74	54.5	16.30
8	22.08.71	66	35.0	37	23.09.74	53	8.30
9	27.08.71	98	76.2	38	12.11.74	30.5	0.565
10	28.08.71	55	30.4	39	07.06.75	29	0.400
11	29.08.71	46.5	22.0	40	18.08.75	65	32.4
12	29.08.71	88	75.4	41	20.08.75	105-102	90.0
13	29.08.71	91	76.6	42	20.09.75	64	30.7
14	01.09.71	44.5	15.6	43	16.10.75	47	4.69
15	04.09.71	30.2	9.0	44	30.10.75	41	1.70
16	04.09.71	59-63.5	35.1	45	08.11.75	37.5	0.728
17	04.09.71	65	42.5	46	19.11.75	31	0.300
18	04.09.71	71	48.2	47	30.11.75	24	0.120
19	11.09.71	60.5	34.1	48	15.12.75	14	0.005
20	13.10.71	27	4.10	49	16.07.76	43	10.8
21	24.08.72	49.5	24.5	50	13.07.76	52-51.5	7.1
22	25.08.72	58.5	33	51	21.07.76	50	17.1
23	28.08.72	134	185	52	27.07.76	53	14.4
24	28.08.72	122	137	53	29.07.76	42	9.0
25	28.08.72	114	124	54	02.08.76	52	10.9
26	29.08.72	82	68	55	07.08.76	48	7.7
27	05.09.72	54	19.2	56	09.08.76	62-61.5	20.0
28	11.09.72	46.5	19.3	57	16.08.76	75-73	47.2
29	20.10.72	51.5-52	11.4	58	19.08.76	65.5	31

Tableau XXXIIa. – Jaugeages du Mayo Oulo à Golombe (suite).

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
59	24.08.76	51	20.1	88	23.11.76	26	0.951
60	27.08.76	46	11.9	89	07.12.76	22	0.422
61	28.08.76	45.5	10.2	90	16.12.76	24	0.267
62	30.08.76	49	12.5	91	06.01.77	15	0.030
63	31.08.76	54	16.9	92	15.01.77	13	0.012
64	01.09.76	51.5-51		93	21.01.77	11	0.002
65	02.09.76	53	10.9	94	04.08.77	33	4.68
66	03.09.76	62-60	21.6	95	05.08.77	35	4.80
67	04.09.76	73-71	42.5	96	13.08.77	90-88	59.0
68	05.09.76	74	41.0	97	13.08.77	88-86	58.4
69	07.09.76	55	19.8	98	13.08.77	187	330-330
70	08.09.76	60	20.8	99	19.07.78	73-72	34.4
71	09.09.76	52	14.0	100	24.07.78	64	38.0
72	10.09.76	60	20.8	101	10.08.78	60.5-60	25.8
73	11.09.76	51	13.6	102	21.08.78	114-123	103
74	13.09.76	50	10.9	103	24.08.78	64-62	34.2
75	12.09.76	53	16.7	104	06.09.78	57	29.4
76	16.09.76	48	11.4	105	27.10.78	39.5	5.36
77	17.09.76	44	7.4	*	*	*	*
78	18.09.76	46	8.4	106	18.08.80	138	50.8
79	20.09.76	44.5	7.2	107	04.09.80	185-83	130.5
80	22.09.76	40.5	5.3	108	04.09.80	179-176	115.5
81	28.09.76	60	17.2	109	04.09.80	176-74	107
82	04.10.76	62-62.5	22.1	110	06.08.80	156-57	81
83	14.10.76	40	7.13	111	06.08.80	160-63	86.3
84	27.10.76	47.5	17.4	112	29.08.80	138	64.5
85	03.11.76	37.5	6.2	113	27.01.81	76.2	0.005
86	05.11.76	36	4.62	114	30.07.81	114	8.08
87	13.11.76	28	2.56	115	25.08.81	119	12.41
				116	14.08.82	133	22.5

* Nouvelle station installée le 4/8/1980.

Tableau XXXIII. – Jaugeages du Mayo Louti à Figuil.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	18.09.55	177	123 AM	51	27.11.72	66	0.276
2	30.11.55	77.5	0.225	52	05.08.73	81	40.2
3	01.08.56	190	171	53	06.08.73	198	207
4	07.08.56	79	45.7	54	06.08.73	222	280
5	11.08.56	104	51.2	55	11.08.73	300	320
6	27.08.56	192	170	56	12.08.73	390	1400
7	30.08.56	264	330	57	30.08.73	140	113
8	18.09.56	177	123	58	25.09.73	95	35
9	01.10.58	92	48.6	59	15.11.73	52.5	0.664
10	13.08.62		2	60	28.11.73	66	0.276
11	28.06.67	62	10.8	61	04.12.73	50.5	0.020
12	23.10.68	70	2.98	62	05.09.74	114	392
13	20.01.69	44	0.012	63	23.09.74	99-96	24.8
14	23.01.69	44	0.011	64	12.11.74	68	0.520
15	12.02.69	41.5	0.009	65	18.01.75	58.5	6.6
16	17.07.69	59-60	8.53	66	14.05.75	85-84	7.26
17	17.07.69	123	48.25	67	10.07.75	100	10.3
18	18.07.69	95	27.35	68	18.08.75	140	172
19	22.07.69	102	33.95	69	16.10.75	55	11.10
20	09.08.69	176-177	172	70	24.10.75	52.5	5.31
21	10.10.69	80.5	12.1	71	30.10.75	44	2.81
22	17.10.69	73	7.4	72	08.11.75	41	1.35
23	03.11.69	80.5	7.6	73	19.11.75	39.5	0.365
24	11.11.69	70	2.01	74	28.11.75	36	0.146
25	18.11.69	63	0.582	75	15.12.75	29.5	0.0225
26	27.11.69	58	0.232	76	19.07.76	128 AV	44.8
27	03.12.69	55	0.098	77	20.07.76	194-189	159
28	24.12.69	51	0.015	78	27.07.76	131	35.2
29	31.10.70	46.5	1.125	79	29.07.76	126	34
30	21.11.70	37	0.064	80	02.08.76	145	65
31	06.12.70	34	0.023	81	07.08.76	120	29.1
32	04.08.71	79	24.4	82	09.08.76	203-207	191
33	09.08.71	128	73	83	09.08.76	208-210	209
34	12.08.71	105	41.5	84	09.08.76	213-219	226
35	14.08.71	183	107	85	09.08.76	228-230	266
36	18.08.71	330	732	86	18.08.76	177	143
37	23.08.71	130	84.1	87	21.08.76	260-257	360
38	23.08.71	120	71	88	21.08.76	254-245	325
39	23.08.71	110	58.4	89	21.08.76	236-228	286
40	24.08.71	95	43.2	90	21.08.76	224-217	273
41	24.08.71	230	290	91	24.08.76	144-143	83
42	11.09.71	101.5	62.2	92	26.08.76	125	60
43	13.10.71	68	6.03	93	27.08.76	119	53
44	21.08.72	200	182	94	28.08.76	115	46.8
45	21.08.72	198	174	95	30.08.76	138-137	69
46	24.08.72	109	48	96	31.08.76	128-126	51.6
47	24.08.72	105	45.5	97	01.09.76	208-207	210
48	25.08.72	120	47	98	01.09.76	193-186	167
49	29.08.72	182	160	99	01.09.76	180-173	141
50	11.09.72	102	52	100	01.09.76	169-164	117

Tableau XXXIIIa. – Jaugeages du Mayo Louti à Figuil (suite).

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
101	01.09.76	162-159	112 AV	132	30.09.76	149-148.5	63.0
102	02.09.76	128-127	77.6	133	04.10.76	140-139.5	38.8
103	03.09.76	137-136	80.8	134	14.10.76	135	49.2
104	04.09.76	283-285	467.5	135	27.10.76	140	53.0
105	04.09.76	279-266	433	136	03.11.76	117	17.3
106	04.09.76	260-250	360	137	05.11.76	105	14.3
107	04.09.76	243-234	312	138	13.11.76	94.5	6.13
108	04.09.76	233-220	270	139	23.11.76		2.09
109	05.09.76	186-181	154	140	07.12.76		0.650
110	06.09.76	145	73	141	16.12.76		0.446
111	07.09.76	163	113	142	06.01.77		0.057
112	09.09.76	136-132	65	143	15.01.77		0.030
113	10.09.76	146-151	75	144	21.01.77		0.027
114	10.09.76	152-153	88	145	04.08.77		8.20
115	10.09.76	153-152	85	146	06.08.77	232-219	233
116	11.09.76	137-138	69	147	13.09.77	124	80.2
117	12.09.76	174-170	110	148	24.07.78	147-143	127
118	13.09.76	146.5-145	69	149	10.08.78	166-159	121
119	13.09.76	143-142	64	150	24.08.78	215-209	275.5
120	14.09.76	212-218	203	151	01.09.78	239-240	307 AV
121	14.09.76	222-221	213	152	27.10.78	92	21.6 AV
122	15.09.76	176-190	142	153	01.02.79	18	10.5 1/s AM
123	17.09.76	146-145	66	154	18.08.80	192-182	378 AM
124	18.09.76	139-138	48.5	155	29.08.80	107	126.25 AM
125	19.09.76	145-148	58	156	06.09.80	153-174	395 AM
126	20.09.76	140	43.0	157	13.09.80	55	33.5 AM
127	21.09.76	129-128	31.6	158	27.01.81		17 1/s AM
128	22.09.76	124-123	30.0	159	30.07.81	76	30.3 AM
129	23.09.76	140-138	43.8	160	24.08.81	167-173	136.5
130	24.09.76	138-136	46.0	161	25.08.81	125	75.1
131	28.09.76	152.5-151	65.8	162	14.08.82	32	38.5

AM = Amont ; AV = Aval

Tableau XXXIV. – Jaugeages du Mayo Kébi à Cossi.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	17.10.54	110	103	52	07.12.76	98	25.3
2	18.10.54	109	102	53	16.12.76	98	20.7
3	10.09.54	132	135	54	06.01.77	85	12.5
4	20.10.54	119	104	55	06.02.77	72	5.71
5	21.10.54	133	132	56	08.05.77	31	pas d'écoulemt
6	22.10.54	119	113	57	05.08.77	138	91.6
7	04.11.54	114	110	58	12.02.78	29	0.008
8	30.11.54	103	85	59	14.07.78	193-190	186
9	24.12.54	88	56	60	28.07.78	190	208
10	06.01.55	73	40	61	08.08.78	190-185	187
11	24.05.55	19	0.007	62	18.08.78	172	144
12	16.04.56	36	1.9	63	21.08.78	234-232	275
13	23.08.56	174	225	64	25.10.78	213-212	206
14	05.09.56	180	247	65	30.01.79	93	11.1
15	11.09.56	230	383	66	20.02.79	83	5.3
16	14.09.56	360	850	67	26.07.79	188-189	188
17	19.09.56	205	350	68	01.08.79	172-173	115
18	07.01.57	80	33	69	03.08.79	225-227	264
19	17.09.57	218	310	70	17.08.79	181-184	153
20	09.04.58	36	0.82	71	18.08.79	185	162
21	10.02.63	64	7.85	72	18.08.79	178-177	147
22	14.01.65	69	15.9	73	19.08.79	172-171	138
23	22.03.65	40	1.81	74	19.08.79	167.5-168	131
24	19.01.67	77	16.5	75	21.08.79	200-199	183
25	18.03.67	46	1.75	76	21.08.79	196-193	178
26	11.04.67	39	0.62	77	21.08.79	190-205	187
27	18.12.67	92	25.1	78	30.08.79	263-261	436
28	24.04.68	44	0.14	79	03.09.79	247-48-43	350
29	20.01.69	65.5	4.10	80	28.09.79	170-169	146
30	12.02.69	59	3.7	81	28.09.79	169-168	146
31	03.03.69	54	2.49	82	27.11.79	86	6.92
32	28.08.73	225.5	357	83	12.08.80	288-290	570
33	26.08.73	194	280	84	18.08.80	367-374	1110
34	01.09.73	189-188	250	85	19.08.80	320-325	782
35	10.08.75	104	19.6	86	26.08.80	274-277	560
36	24.10.75	95	73.8	87	26.08.80	269-272	542
37	02.12.75	114.5	76	88	27.08.80	259-262	492
38	04.02.76	84.5	17.7	89	27.08.80	273-274	534
39	20.02.76	74	1.10	90	08.09.80	280	485
40	01.04.76	57	2.87	91	09.09.80	283-285	552
41	14.07.76	156-174	125	92	09.09.80	277-278	511
42	27.07.76	141	91	93	23.09.80	194	226
43	21.08.76	141,5	110.8	94	06.10.80	159	132.5
44	08.09.76	174-173	183	95	22.11.80	119	31.1
45	10.09.76	159	127	96	27.01.81	82	3.64
46	21.09.76	140	110	97	09.08.81	160	94.0
47	28.09.76	145-150	97.8	98	23.08.81	178-179	150
48	09.10.76	144	79.3	99	12.12.81	95	12.3
49	15.10.76	144	75.6	100	17.02.82	68	0.502
50	13.11.76	105	37.8	101	07.09.82	175	183
51	23.11.76	102.5	31.4	102	15.09.82	197-226	234

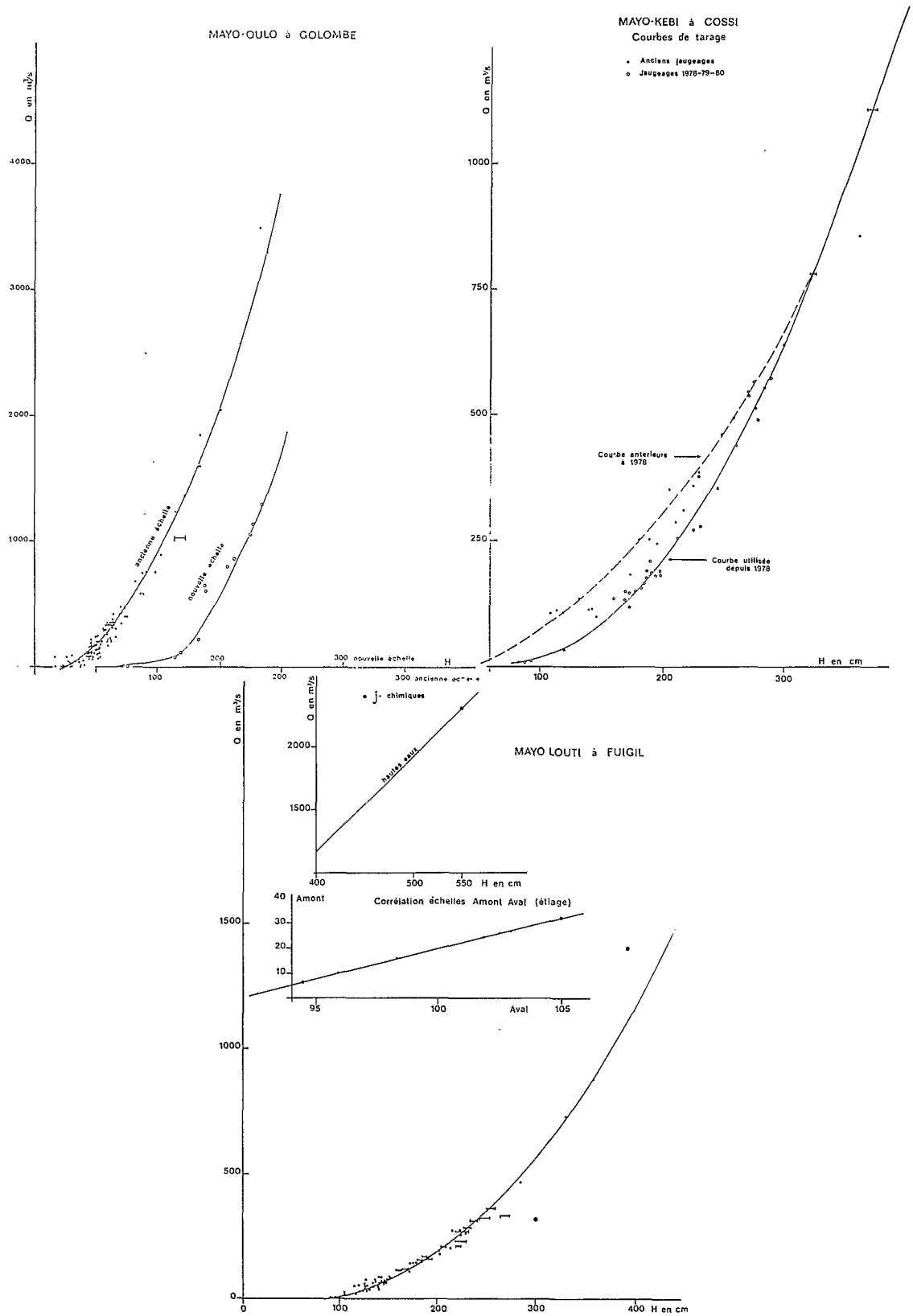
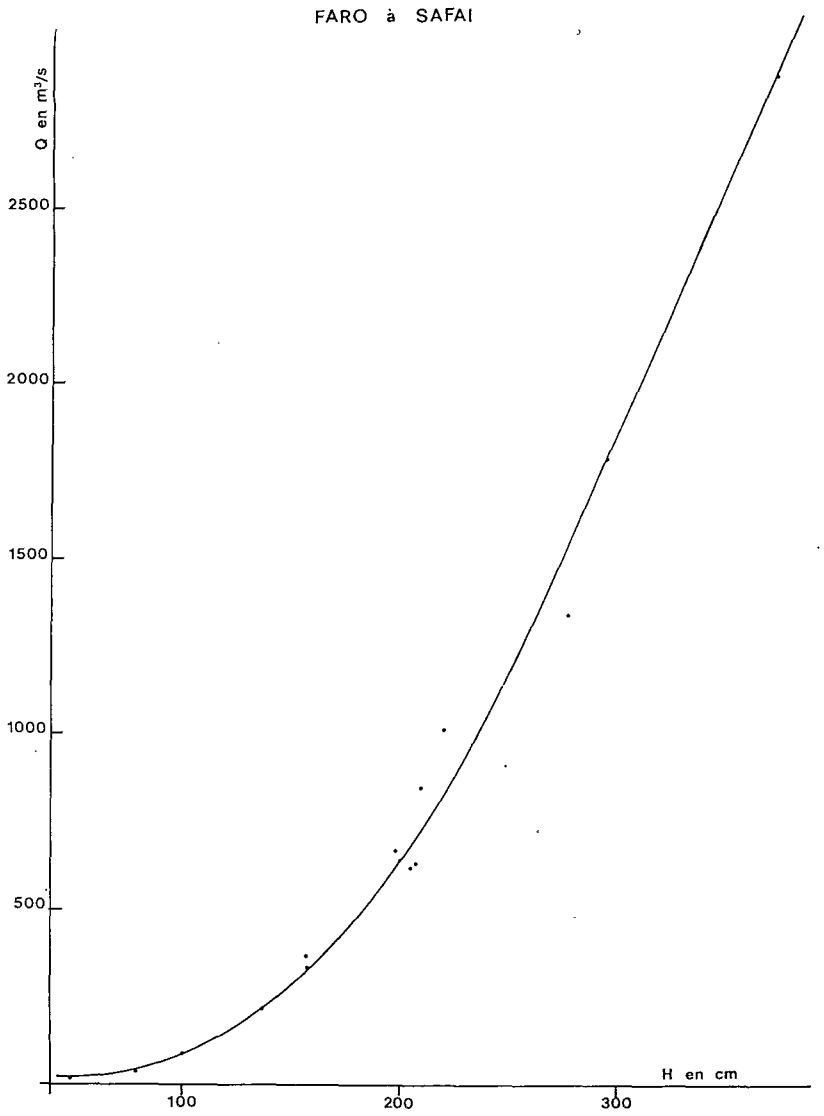

MAYO-OULO à GOLOMBE
Q en m³/s
4000
3000
2000
1000
ancienne échelle
nouvelle échelle
100
200
300 nouvelle échelle
H
MAYO-KEBI à COSSI
Courbes de tarage
Anciens jaugeages
Jaugeages 1978-79-80
Q en m³/s
1000
750
500
250
Courbe antérieure à 1978
Courbe utilisée depuis 1978
100
200
300
H en cm
MAYO LOUTI à FUIGIL
Q en m³/s
2000
1500
1000
500
0
j. chimiques
hautes eaux
400
500
550 H en cm
Amont
40
30
20
10
Corrélation échelles Amont Aval (étiage)
95
100
Aval
105
100
200
300
400 H en cm

Fig. A19


FARO à SAFAI
Q en m³/s
2500
2000
1500
1000
500
100
200
300
H en cm

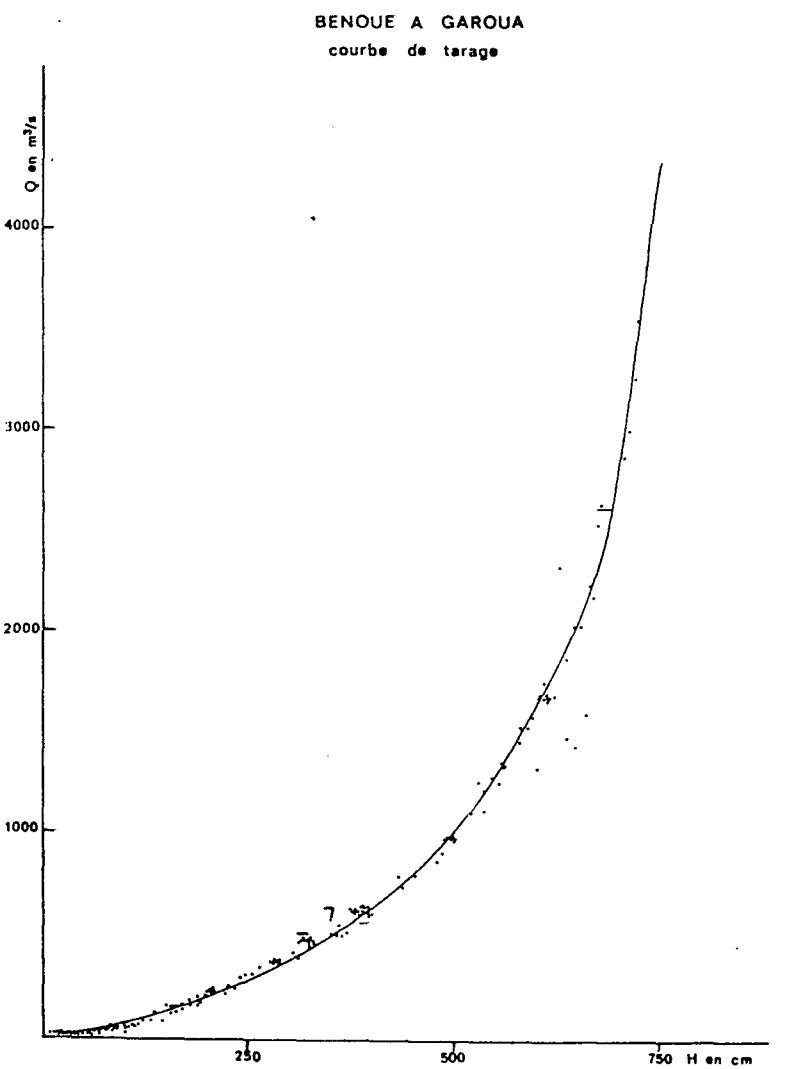

BENOUE A GAROUA
courbe de tarage
Q en m³/s
4000
3000
2000
1000
250
500
750
H en cm

Fig. A20

STATIONS DU BASSIN DU LAC TCHAD

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 03 15 03
OMM : 37 3 151

BASSIN DU LAC TCHAD

Station : Bini à Berem
Coordonnées : Lat. : 7° 33' N
Long. : 13° 57' E
Altitude (station) : 810 m environ
Superficie du B.V. : 1 585 km^2

Cette station a été installée le 8 mai 1963.
50 mètres en amont du pont de la piste Mbang-Foulbé/Berem/Nganha/Mbalan-Mbaouré en rive gauche.
La station est composée de 5 éléments d'échelle de 0 à 5 mètres répartis en 3 groupes 0-200, 200-400, 400-500.
Vingt-cinq jaugeages ont été effectués entre les débits 4,12 et 93 m^3/s.

La liste des jaugeages réalisés de 1963 à 1977 est indiquée ci-après (XXXV).
Ces 25 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-après.
Les lectures sont faites 2 fois par jour.

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0		150	37,5	300	104	420	156,5
30		180	50,5	330	117,0	450	170,0
60	4,80	210	64,0	360	130,0	480	
90	15,05	240	77,5	390	143,5	500	
120	25,5	270	90,5				

N^{os} d'identification :
ORSTOM : 05 03 15 10
OMM : 37 3 101

BASSIN DU LAC TCHAD

Station : Vina du Nord à Touboro
Coordonnées : Lat. : 7° 45' N
Long. : 15° 20' E
Altitude zéro échelle limnigraphe : 472 m
Altitude zéro échelle radier : 470,60 m
Superficie du B.V. : 12 200 km^2

La station a été installée en juillet 1963. Deux campagnes de mesures ont été faites en 1964 et 1965.
Une échelle doublée d'un limnigraphe a été installée 2,8 km en amont du radier de la piste Touboro-Mbéré.
Une deuxième échelle a été installée juste en amont du radier. A partir de 1967, cette échelle a été fixée sur les piles du pont qui a été construit sur l'emplacement du radier.

Soixante-dix-sept jaugeages ont été effectués entre 5,84 et 725 m^3/s.
La liste des jaugeages réalisés de 1964 à 1977 est indiquée ci-après (XXXVI).
Ces 77 mesures de débits ont permis de tracer la courbe de tarage.
Le barème de traduction hauteurs-débits correspondant à cette courbe est indiqué ci-dessous :

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	6,0	150	140	280	409	400	760
30	17,0	180	187	310	493	430	866
60	39	220	264	340	577	460	972
90	67	250	332	370	666	500	1112
120	102						

Jusqu'en 1971, les lectures ont été faites régulièrement. La station remise en service en décembre 1974 a été équipée d'un limnigraphe OTT XX qui n'a pas donné satisfaction. D'autre part les observateurs qui se sont succédés jusqu'en juillet 1978 abandonnaient les observations car ils ne voyaient pas souvent le service hydro surtout en saison des pluies.
A partir de juillet 1978, un limnigraphe OTT X à rotation hebdomadaire a été installé et un nouvel observateur formé.

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 80 25 (?)
OMM : 37 3 (?)

BASSIN DU LAC TCHAD

Station : Tsanaga à Maroua
Coordonnées : Lat. : 10° 34' N
Long. : 14° 17' E
Altitude (station) : 407 m environ
Superficie du B.V. : 845 km²

Cette station a été implantée une première fois en 1954. L'échelle, réinstallée à la même altitude le 21 août 1956, a été emportée par une crue la même année. La station était située 50 m en amont du pont routier de l'axe Maroua-Garoua. Une nouvelle échelle limnimétrique a été installée en 1966 sensiblement au même emplacement. Son zéro est à l'altitude 406,872 m. Il est calé à 34 cm au-dessous de celui de l'ancienne échelle. Un limnigraphe OTT type XX complétait l'équipement.
Cette station a été réouverte en juin 1977 dans le but de rattacher les observations de Minglia à une référence connue. Elle était équipée de 2 éléments d'échelle et d'un limnigraphe OTT type X. Son zéro était à 407,218 m, soit le zéro de 1954.
Quatre-vingt-douze jaugeages ont été effectués de 1954 à 1977 entre les cotes 46,5 et 223 cm, pour les débits respectifs de 2 l/s et 606 m³/s.
La liste des jaugeages est communiquée dans le tableau ci-après (XXXVII).
Le tarage n'est pas stable en moyennes et basses-eaux. Pour une cote voisine de 80 cm, les débits observés peuvent différer de 40 %. Au-dessus de 1,20 m, on peut admettre une courbe de tarage unique.
En dépit de la légère dispersion des points obtenus dans le contrôle, l'étalonnage de 1970 reste pratiquement valable. Toutefois, le détarage fréquent observé en moyennes et basses-eaux s'est accentué après la crue du 13 août 1977, ce qui nous a amenés à estimer, malgré le nombre relativement faible de jaugeages effectués, une nouvelle relation hauteurs-débits pour les moyennes et basses-eaux après le 13 août 1977 dont les barèmes et périodes d'utilisation sont présentés ci-contre.

Barèmes de la Tsanaga à Maroua.

Jusqu'au 13/8/77

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
11	0.10	70	54.0	130	201	190	442
20	1.00	80	72.0	140	250	200	489
30	7.50	90	95.0	150	287	210	540
40	7.5	100	120	160	324	220	591
50	28.0	110	149	170	361	230	642
60	40.0	120	165	180	401		

Après la crue du 13/8/77

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
11	0.10	60	54.0	110	149	160	324
20	2.00	70	69.0	120	165	170	361
30	13.5	80	85.0	130	201	180	401
40	26.5	90	102	140	250	190	442
50	40.0	100	122	150	287	200	489
						210	540
						220	591
						230	642

N[os] d'identification :
ORSTOM : 05 80 25 06
OMM : 37 3 251

BASSIN DU LAC TCHAD

Station : Tsanaga à Bogo
Coordonnées : Lat. : 10° 44' N
Long. : 14° 36' E
Altitude (station) : 344 m environ
Superficie du B.V. : 1 535 km²

Cette station a été installée en 1953, devant l'École du Centre Rural, en rive droite. L'échelle limnimétrique, emportée par une crue le 18/08/1956, a été réinstallée le 12 juillet 1966 à environ 45 m en amont du radier de la route Maroua-Bogo, soit 500 m en aval de la précédente, le zéro étant à + 1,73 m.
Un limnigraphe OTT type X double cette échelle dont le zéro est à l'altitude 336,780 m.

Cent quarante-deux jaugeages ont été effectués de 1966 à 1973 entre les cotes 26,5 et 191/187 cm pour les débits respectifs de 3,5 l/s et 210 m³/s.
La liste complète des jaugeages est présentée dans le tableau ci-après (XXXVIII).
Les 70 derniers jaugeages de 1973 ont permis de prouver l'instabilité de la station. Il n'est pas possible d'établir un barème d'étalonnage hauteurs-débits permanent.

BASSIN DU LAC TCHAD

Station : L'El-Beïd à Fotokol-Gambarou
Coordonnées : Lat. : 12° 22' N
Long. : 14° 13' E
Altitude (station) : 282 m
Superficie du B.V. : 12 500 km²

La station est située au pont de la route Ndjaména-Maiduguri, entre le village camerounais de Fotokol et le village nigérian de Gambarou. L'échelle limnimétrique a été installée le 8 juin 1953 par la Commission Scientifique du Logone et du Tchad. L'altitude de son zéro a pu être rattachée à un repère de nivellement IGN tout proche. Dans le système de cotes de 1953, cette altitude était de 282,25 m en 1953. Par suite d'un léger affaissement, elle est en 1969 de 282,21 m.
Au droit de l'échelle, les berges et le fond du lit sont argileux mais peuvent être considérés comme assez stables. Sept jaugeages ont été effectués à cette station dont la liste est donnée ci-dessous :

Date	H cm	Q m3/s
01.10.53	138	5.5
14.11.53	289	44
01.09.54	416	135
20.11.54	445	180
01.11.55	342	74
08.12.55	556	350
26.09.60	142	## 6

Ces jaugeages ont permis d'établir une courbe d'étalonnage provisoire qui est dans l'ensemble assez satisfaisante, sauf pour les basses-eaux dont l'écoulement très lent (freiné par des barrages de pêche) se prête mal aux mesures. Les hautes-eaux sont assez bien étalonnées grâce à un jaugeage effectué au maximum de la forte crue de 1955. Un barème d'étalonnage a été établi dont nous donnons un extrait ci-après :

H	Q	H	Q
0	0	300	49
50	1.2	400	121
100	3.0	500	259
200	15	600	430

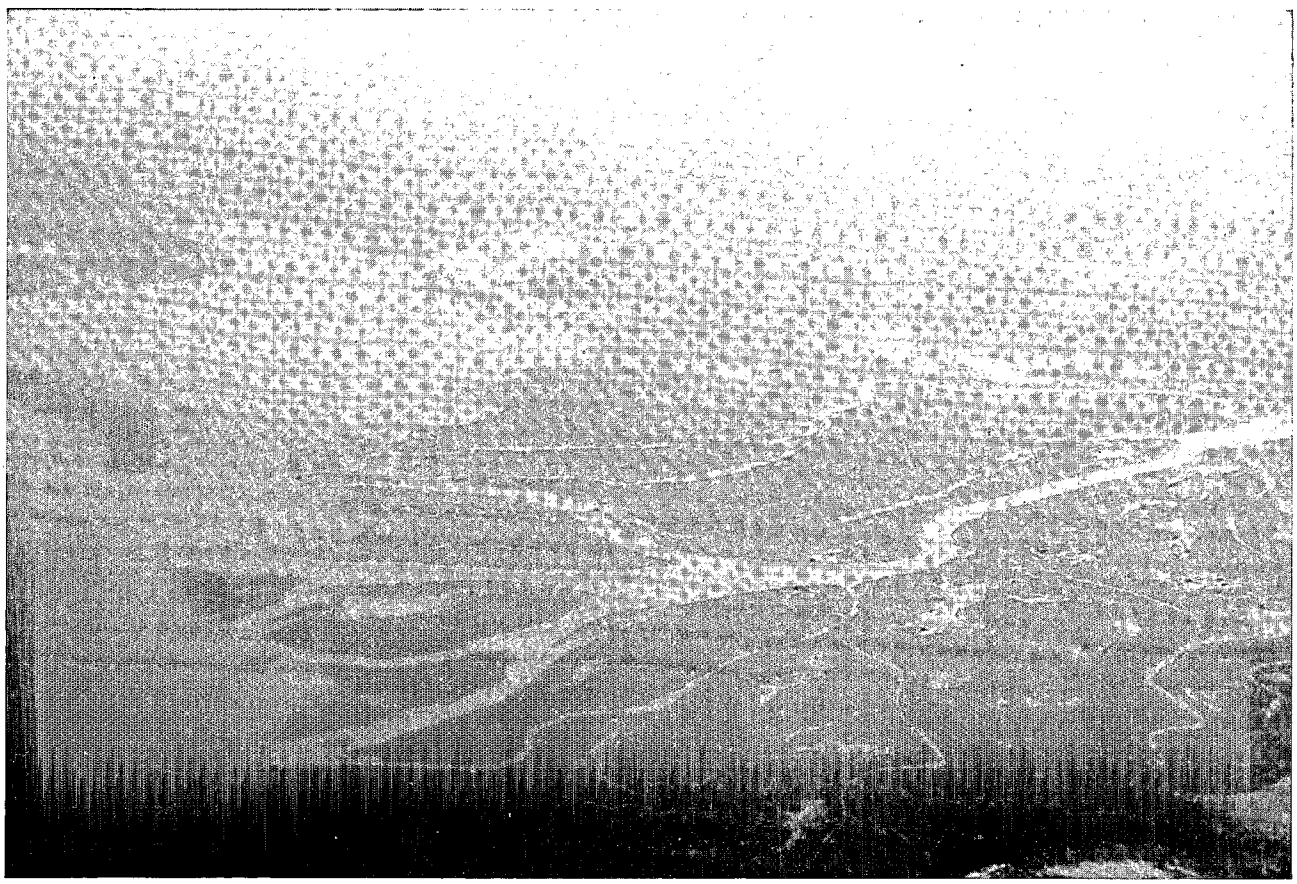
La station de Fotokol étant située à 25 km seulement de l'embouchure de l'El-Beïd dans le Lac Tchad, la question se pose de savoir si le remous du Lac peut s'y faire sentir, ce qui rendrait la courbe d'étalonnage non univoque. L'altitude du zéro de l'échelle de Fotokol correspond à la cote 438 cm de l'échelle de Bol sur le Lac. Le niveau du lac ayant fréquemment dépassé cette cote depuis 1956 (notamment pendant toute la période comprise entre octobre 1961 et juin 1966), on pourrait penser que les relevés de Fotokol sont difficilement exploitables. En fait,

on peut admettre que l'influence du remous du lac est négligeable tant que la hauteur de submersion fictive de l'échelle de Fotokol est inférieure à la moitié de la hauteur d'eau réelle observée à cette même échelle. La comparaison des relevés de Bol et de Fotokol montre alors que le remous du lac n'a guère été sensible que de mars à octobre 1963. Il n'a certainement pas été ressenti depuis la sécheresse des années 70.

BASSIN DU LAC TCHAD

Station	:	El-Beïd à Tilde
Coordonnées	:	Lat. : 12° 09' N Long. : 14° 44' E
Altitude (station)	:	284 m environ
Superficie du B.V.	:	3 à 4 000 km² sur le Yaéré.

Cette station a été installée le 22 novembre 1968 à environ 8 km en amont du confluent El-Beïd-Kalia et 4 km en aval de l'endroit où le réseau hydrographique devient bien marqué. Ce drain est marqué à la station par des berges abruptes de plus de 8 m de hauteur. Tilde est sur la route de Kousseri. Le zéro de l'échelle est à 10,032 m sous une borne repère. Comme la station précédente, la station de Tilde était gérée par le service hydrologique de l'ORSTOM à Ndjaména jusqu'aux événements tragiques qu'a connus le Tchad. La relève par le Centre de Recherches Hydrologiques du Cameroun n'a pu se faire par manque de liaisons entre les différents services.



Delta du Chari et lac Tchad (Photo Lemoalle).

Tableau XXXV. – Jaugeages de la Bini à Berem.

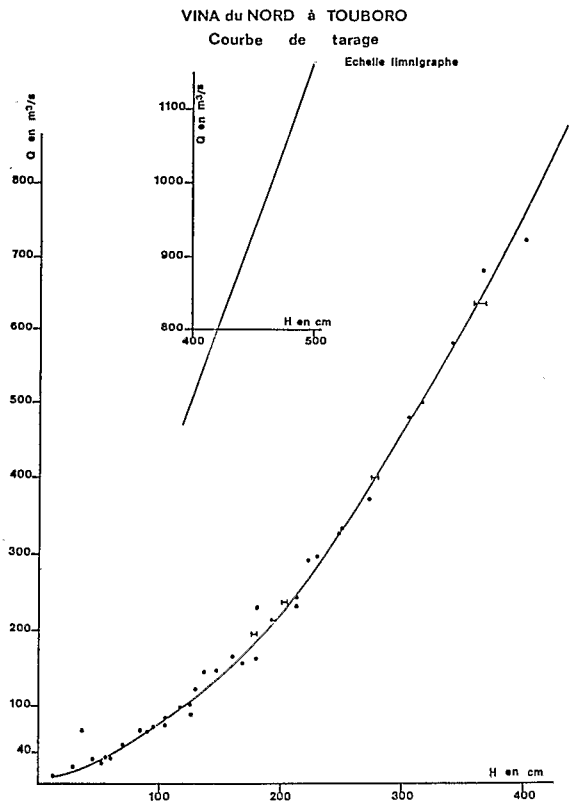
N°	Date	H cm	Q m3/s
1	08.05.63	89	15,1
2	22.05.63	69	7,40
3	02.07.63	113	24,7
4	25.07.63	90	17
5	06.08.63	109	22,8
6	22.08.63	273-271	93
7	23.08.63	260-256	88,6
8	03.09.63	211	65
9	23.09.63	190	58
10	26.10.63	159	44
11	17.01.64	78	11,6
12	23.11.64	114	24,8
13	28.03.65	64	5,61
14	05.04.67	65	5,9
15	23.12.67	77	9,8
16	29.01.72	69	8,14
17	15.01.73	71	8,4
18	12.10.73	118	30
19	09.03.73	57	3,74
20	19.02.74	56,5	4,12
21	06.08.75	187,5	56,8
22	13.11.75	124	27,6
23	08.12.75	103,5	19
24	27.02.76	71	7,36
25	03.04.77	60	4,2

Tableau XXXVI. – Jaugeages de la Vina du Nord à Touboro.

N°	Date	H cm limnigraphe	Q m3/s	Observations
1	13.03.64	8	9,3	
2	13.05.64	67	43,8	
3	11.07.64	130	120	
4	10.08.64	231	297	
5	11.08.64	194	215	
6	13.08.64	247	327	
7	18.08.64	367-357	635	
8	19.08.64	343	594	
9	22.08.64	315	500	
10	30.09.64	305	480	
11	07.10.64	212-213	232	
12	10.10.64	280-276	400	
13	19.10.64	213-212	242	
14	06.11.64	167-166	176	
15	22.11.64	106	83,4	
16	12.01.65	52	31,9	
17	06.03.65	18	11,2	
18	03.06.65	70	49	
19	16.06.65	95	71,5	
20	21.06.65	125,5	100	
21	03.07.65	249	334	
22	05.07.65	148	146	
23	08.07.65	222	292	
24	14.07.65	192	217	
25	15.07.65	174-179	196	
26	21.07.65	160-158	164	
27	24.07.65	200-204	238	

Tableau XXXVIa. – Jaugeages de la Vina du Nord à Touboro (suite).

N°	Date	H cm limnigraphe	Q m3/s	Observations
28	28.07.65	341-339	583	
29	07.08.65	274-270	372	
30	12.08.65	397	725	Flotteur
31	27.08.65	365	684	Flotteur
32	26.10.65	181	162	
33	08.11.65	118	96,5	
34	13.11.65	105	75	
35	20.11.65	90	65,5	
36	14.03.65	12	8,2	
37	09.04.66	11	9,2	
38	15.05.66	60	33,2	
39	01.12.66	91	67	
40	14.01.67	53	33,9	Douteux
				H cm pont
41	16.01.67	51,5	32,7	37
42	31.01.67	44	29,4	
43	18.02.67	31,5	16,9	
44	27.02.67	24,5	14,7	37
45	12.03.67	19	13,4	
46	30.03.67	18	12,9	58
47	07.04.67	9	9,05	
48	17.04.67	6	7,88	26
49	10.12.67	55	31,8	
50	11.01.68	25	18,8	
51	25.01.68	25	17	
52	12.02.68	25-24	12,8	
53	27.02.68	23	10	
54	11.03.68	13	8,8	
55	02.04.68	4	5,84	
56	10.05.68	26	15,2	
57	02.05.70	36-35	18,3	
58	07.12.70	78	39	
59	12.02.72		11,3	5
60	22.01.73	28	13,6	
61	25.04.73		6,68	29,5
62	22.12.74	49,5	26,1	21,5
63	20.02.75	21,5	9,83	exondée
64	21.06.75	58	40	24
65	22.07.75	100	78,5	57-59
66	24.07.75	138	142	103
67	24.07.75	136	138	99-98
68	25.07.75	192	270	160
69	18.12.75	64	40,5	30
70	28.02.76	24	12,2	exondée
71	23.07.76	179	231	149-148
72	20.10.76		358	190-188
73	20.10.76		348	185-183
74	27.11.76	90	72	55
75	21.12.76	63	41	38
76	27.01.77	43	22,3	21
77	28.03.77	25	15,4	exondée


VINA du NORD à TOUBORO
Courbe de tarage
Echelle limnigraphe
Q en m³/s
H en cm
1100
1000
900
800
400
500
700
600
300
200
100
40

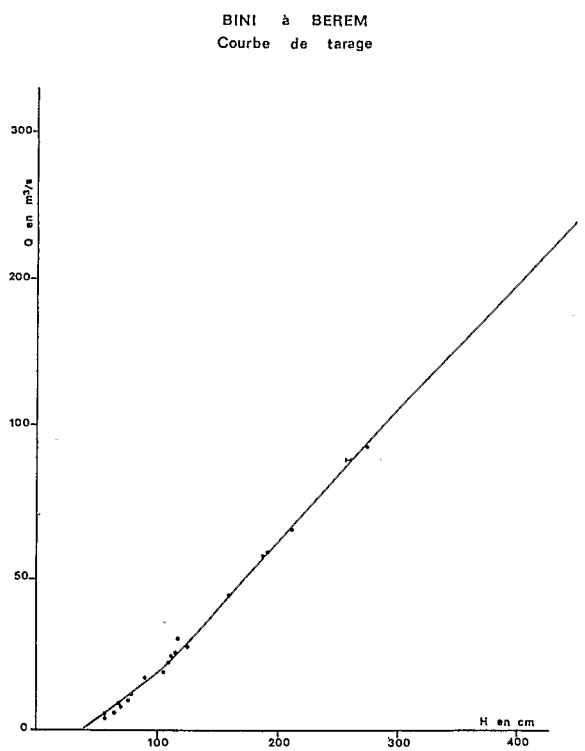

BINI à BEREM
Courbe de tarage
Q en m³/s
H en cm
300
200
100
50
0

Fig. A21.

Tableau XXXVII. – Jaugeages de la Tsanaga à Maroua.

N°	Date	H cm	Q m3/s	N°	Date	H cm	Q m3/s
1	23.06.54	51 (1)	2.3	47	21.10.68	49.5	0.143
2	15.07.54	69	16.3	48	22.10.68	48	0.044
3	30.07.54	96	39.1	49	24.10.68	46.5	0.002
4	23.08.54	84	31.3	50	02.08.69	89-88	23.3
5	27.08.54	104	66.5	51	23.08.69	116-112	69
6	27.08.54	131	115	52	17.09.69	73	10.8
7	22.09.54	80	27.6	53	18.09.69	70	8.5
8	22.08.55	118	90.5	54	02.10.69	67	5.67
9	25.10.55	51	1.62	55	06.10.69	67	5.33
10	30.07.66	62 (2)	4.8	56	08.10.69	64.5	3.79
11	06.08.66	65	7.7	57	14.10.69	62	1.74
12	11.08.66	80	24.9	58	16.10.69	59.5	1.16
13	14.08.66	95	43.3	59	18.10.69	58.5	0.848
14	25.08.66	99	43.8	60	21.10.69	60.5	1.73
15	29.08.66	110	60.4	61	23.10.69	56.5	0.723
16	31.08.66	86	33.6	62	25.10.69	62	2.29
17	02.09.66	72	18.1	63	27.10.69	58	0.772
18	04.09.66	134	125	64	29.10.69	57	0.250
19	04.09.66	129	115	65	31.10.69	56	0.119
20	16.09.66	119	89.7	66	02.11.69	56	0.237
21	16.09.66	86	28.7	67	04.11.69	55	0.135
22	17.10.66	95	41.4	68	06.11.69	52.5	0.014
23	21.10.66	57	1.14	69	08.11.69	50	0.008
24	31.10.66	55	0.48	70	19.09.70	112	63
25		52	0.01	71	20.09.70	115	77
26	07.07.67	65	8.9	72	20.09.70	100	48
27	10.07.67	86	33.8	73	07.10.70	61	2.41
28	15.07.67	110	64.4	74	10.10.70	59.5	1.59
29	15.07.67	128	95.0	75	13.10.70	59	0.890
30	19.07.67	107	57.0	76	19.10.70	53.5	0.439
31	25.07.67	73	20.1	77	21.10.70	53	0.190
32	27.07.67	84	29.4	78	24.10.70	52	0.051
33	29.07.67	148	161	79	28.10.70	48.5	0.009
34	25.08.67	95	40.2	80	06.07.77	45-44 (3)	20.2
35	18.07.68	68	11.6	81	07.07.77	27	7.9
36	24.07.68	78	23.1	82	19.07.77	56-52	28.5
37	12.08.68	97.5	41.5	83	20.07.77	33.5-31	10.4
38	17.08.68	91	32.2	84	08.08.77	69-68	55.0
39	22.08.68	150-144	165	85	09.08.77	75-72	69.0
40	22.08.68	140-138	137	86	12.08.77	58-56	35.8
41	22.08.68	125-123	102	87	13.08.77	223	606
42	10.10.68	58	1.93	88	16.08.77	48-46	36.9
43	12.10.68	56	1.42	89	24.08.77	49	63.0
44	14.10.68	53	0.829	90	08.09.77	104-100	122
45	16.10.68	52	0.588	91	08.09.77	97	118
46	18.10.68	51	0.412	92	08.09.77	93-89	106

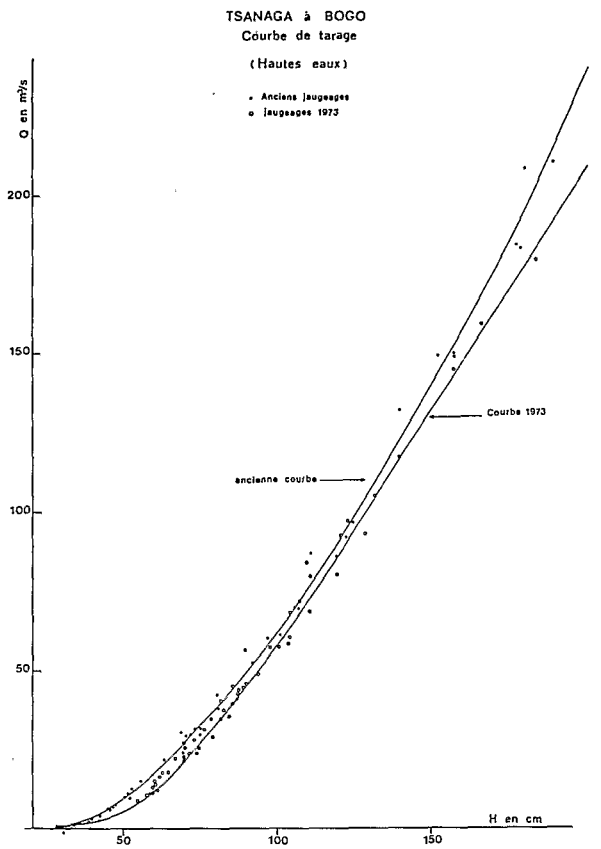
(1) Hauteurs ramenées au zéro de 1966.
(2) Hauteurs lues à l'échelle de 1966 à 1970.
(3) Hauteurs lues à l'échelle depuis 1977.

Tableau XXXVIII. – Jaugeages de la Tsanaga à Bogo.

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
1	16.08.66	71	29.4	37	19.08.69	63.5	21.2
2	25.08.66	106	69.3	38	23.08.69	52.5-58	14.8
3	29.08.66	81	37.3	39	08.09.69	87.5-86.5	40.3
4	04.09.66	52	10.0	40	15.09.69	73	31.4
5	04.10.66	47	6.5	41	18.09.69	53	12.2
6	17.10.66	35	0.85	42	25.09.69	51	9.3
7	22.10.66	30	0.42	43	30.09.69	52	9.9
8	28.10.66	17	0.004	44	06.10.69	45	6.5
9	19.07.67	125-124	92.0	45	08.10.69	42	3.6
10	19.07.67	144-136	132	46	14.10.69	40	2.5
11	23.07.67	127-123	97.0	47	16.10.69	35.5	1.40
12	27.07.67	65-75	23.4	48	18.10.69	33	0.690
13	29.07.67	85-104	60.0	49	21.10.69	34.5	1.10
14	09.08.67	99-102	61.2	50	25.10.69	40	2.7
15	09.08.67	94-91	52.2	51	27.10.69	35	1.16
16	25.08.67	110-112	87.6	52	29.10.69	30	0.200
17	30.08.67	180	208	53	31.10.69	27.5	0.046
18	20.07.68	150-154	149	54	02.11.69	21.5	0.006
19	26.07.68	120-118	86	55	05.11.69	19	0.004
20	08.08.68	48	7.0	56	08.10.70	39.5	2.29
21	10.08.68	46	6.1	57	11.10.70	36	1.27
22	15.08.68	70-73	29.4	58	19.10.70	31.5	0.333
23	16.08.68	88-92	54	59	21.10.70	29	0.125
24	16.08.68	66-72	30.3	60	24.10.70	26.5	0.004
25	17.08.68	81	42	61	03.08.71	52.5	9.0
26	20.08.68	109-105	70	62	21.08.71	76	29.8
27	24.08.68	179-178	180	63	06.09.71	75.5	31.6
28	26.08.68	191-187	210	64	13.10.71	33	0.62
29	29.08.68	179-175	184	65	20.07.73	103-105	67.8
30	04.10.68	41	2.99	66	24.07.73	70	27.0
31	13.10.68	35	0.786	67	25.07.73	62-61	12.4
32	15.10.68	31.5	0.390	68	26.07.73	96-93	48.0
33	18.10.68	29.5	0.170	69	26.07.73	77-77.5	29.6
34	21.10.68	28	0.060	70	27.07.73	65-64	17.5
35	22.10.68	30	0.248	71	30.07.73	110	83.0
36	24.10.68	19	0.008	72	31.07.73	76-74	25.2

Tableau XXXVIIIa. – Jaugeages de la Tsanaga à Bogo (suite).

N°	Date	H cm	Q m^3/s	N°	Date	H cm	Q m^3/s
73	02.08.73	61-60	11.8	108	01.09.73	70	21.4
74	04.08.73	92-89[5]	45.0	109	03.09.73	61	15.5
75	04.08.73	86-85	44.8	110	04.09.73	60	13.8
76	06.08.73	130-128	92.0	111	05.09.73	58	11.4
77	06.08.73	123-119	92.4	112	05.09.73	55.5	9.20
78	07.08.73	83-81	34.0	113	06.09.73	90-89	44.8
79	10.08.73	80-78	34.5	114	06.09.73	87-85	38.6
80	11.08.73	74-73	27.8	115	07.09.73	71-70	26.4
81	12.08.73	114-108	78.4	116	08.09.73	61	18.0
82	26.07.73	105-103	58.0	117	09.09.73	63	16.0
83	20.07.73	92-87	56.0	118	10.09.73	60	13.0
84	12.08.73	125-120	96	119	11.09.73	60	13.6
85	17.08.73	184-183	179	120	11.09.73	81-83	40.4
86	" " "	168-162	159.2	121	12.09.73	70-69	
87	" " "	160-154	144.8	122	12.09.73	67	21.9
88	18.08.73	120-119	79	123	13.09.73	63	18.2
89	18.08.73	112-110	67.6	124	14.09.73	73	28.0
90	18.08.73	105-104	59.8	125	17.09.73	62-64	18.5
91	19.08.73	90-89	40.6	126	18.09.73	75	29.0
92	19.08.73	84	35.5	127	19.09.73	64	16.8
93	20.08.73	88	43.8	128	20.09.73	56	10.5
94	20.08.73	90-100	56.8	129	21.09.73	54	7.20
95	21.08.73	101	56.8	130	21.09.73	53	7.00
96	22.08.73	90-79	28.4	131	22.09.73	52	6.15
97	23.08.73	76-77	31.0	132	23.09.73	54	7.85
98	23.08.73	83	37.5	133	25.09.73	50	4.80
99	24.08.73	72	24.1	134	26.09.73	48	3.90
100	24.08.73	108-107	71.2	135	26.09.73	47.5	3.00
101	25.08.73	74	24.0	136	27.09.73	47	3.20
102	28.08.73	65	17.7	137	28.09.73	52	6.20
103	29.08.73	61	14.2	138	29.09.73	49	4.24
104	30.08.73	59	11.8	139	01.10.73	54	8.20
105	30.08.73	140	116.6	140	02.10.73	51	5.40
106	" " "	134-130	104.2	141	03.10.73	48	3.60
107	31.08.73	90-88	42.8	142	04.10.73	49	4.40


TSANAGA à BOGO
Courbe de tarage
(Hautes eaux)
Anciens jaugeages
Jaugeages 1973
Q en m³/s
200
150
100
50
Courbe 1973
ancienne courbe
H en cm
50
100
150

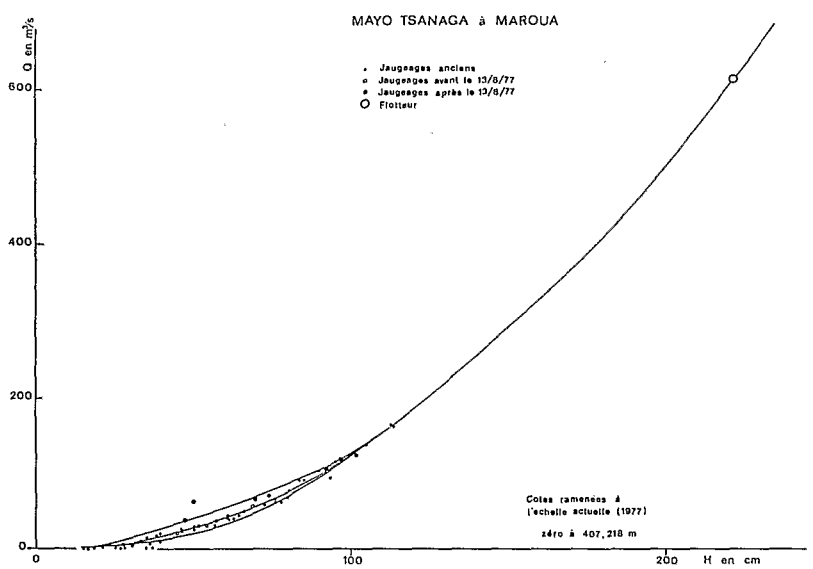

MAYO TSANAGA à MAROUA
Jaugeages anciens
Jaugeages avant le 13/8/77
Jaugeages après le 13/8/77
Flotteur
Q en m³/s
600
400
200
0
Cotes ramenées à
l'échelle actuelle (1977)
zéro à 407,218 m
0
100
200
H en cm

Fig. A22.

Table des matières

RÉSUMÉ, SUMMARY VI
AVANT-PROPOS VII
INTRODUCTION XI

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

Chapitre I – GÉNÉRALITÉS SUR LE MILIEU PHYSIQUE DU CAMEROUN ET LE CADRE DE L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE 3

1. La mise en place des paysages camerounais 3

11. *Esquisse de l'histoire géologique du Cameroun* 4

111. *L'histoire du substratum ancien* 4

1111. L'évolution des théories et des méthodes 4
1112. Les Formations du craton 5
1113. Les séries intermédiaires 6
1114. Les Formations du Protérozoïque Supérieur (Précambrien A) 6
1115. La chaîne Panafricaine, migmatisation et granitisation 7
1116. Le Paléozoïque ancien 7

112. *L'évolution géologique du Cameroun depuis l'ère primaire* 7

1121. La lacune stratigraphique siluro-crétacée 7
1122. Les formations sédimentaires 8
1123. Plutonisme et volcanisme récents 9

12. **Les grandes unités géomorphologiques** 10

121. *Les régions de basse altitude* 10

1211. Les régions basses du Sud-Cameroun 10
1212. Les régions basses du Nord-Cameroun 12

122. *Les reliefs intermédiaires* 12
123. *La surface d'érosion des 700 m* 12
124. *La surface d'érosion des 1 000-1 100 m* 13
125. *La surface de Gondwana* 13
126. *Les montagnes* 14
127. *Conclusions* 15

13. *Les sols et les grands traits de la pédogenèse* 15

131. *Les différentes catégories de sols au Cameroun* 15

1311. Les sols minéraux bruts 15
1312. Les sols peu évolués 15
1313. Les vertisols 16
1314. Les andosols et sols bruns eutrophes 16
1315. Les sols fersiallitiques et ferrugineux ou ferrugineux tropicaux 16
1316. Les sols lessivés, planosoliques et solonetziques 16
1317. Les sols ferrallitiques 16
1318. Les sols hydromorphes 17

132. *Les principaux processus de formation des sols intervenant au Cameroun* 17

1321. La ferrallitisation 17
1322. L'induration 17

1323. L'accumulation de la matière organique 17
1324. Le lessivage 18
1325. L'hydromorphie 18

14. *La végétation* 18
141. *Les différentes zones phytogéographiques* 18
1411. La forêt de la façade maritime 18
1412. La forêt congolaise 18
1413. La forêt semi-décidue 19
1414. Les forêts d'altitude 19
1415. La prairie Afro-subalpine 19
1416. Les savanes périforestières 19
1417. Les savanes de l'Adamaoua 19
1418. Les savanes boisées et forêts claires sèches soudaniennes 19
1419. Le secteur soudanien d'altitude 20
14110. Le secteur sahélo-soudanien 20
142. *L'influence de l'homme sur la végétation* 20

2. **Climats du Cameroun** 21

21. *Les mécanismes du climat* 21

22. *Les différentes unités climatiques* 22

23. *Les précipitations* 26
231. *Les précipitations annuelles* 26
232. *Les variations saisonnières des précipitations* 28
233. *Types de pluies et hauteurs de précipitations journalières* 30
2331. Types de pluies 30
2332. Analyse fréquentielle des précipitations journalières 30
2333. Commentaires sur les résultats 32

24. Autres paramètres climatiques 34
241. *Les températures* 34
242. *L'humidité* 35
243. *L'insolation* 38
244. *L'évaporation* 38
245. *Autres phénomènes* 38

25. *Évolution du climat* 40

3. **Réseaux hydrographique et hydrométrique et présentation de l'étude des régimes hydrologiques du Cameroun** 41

31. *Le réseau hydrographique* 42

32. *Le réseau hydrométrique* 42

33. *Traitement de l'information hydrologique* 43
331. *Travaux en calcul automatique* 46
332. *Travaux d'analyse* 46
333. *Choix de l'année hydrologique* 47

34. *Autres traitements* 47

35. *Les différentes unités hydrographiques et les divisions de l'ouvrage – Le plan-type de l'étude des régimes hydrologiques* 48

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU NYONG ET DES FLEUVES CÔTIERS

Chapitre II – LE MILIEU NATUREL DES RÉGIONS DU NYONG ET DES FLEUVES CÔTIERS 55

1. **L'environnement géographique** 55

11. *La végétation – Une constante des paysages : La forêt humide* 55

12. *Le substratum géologique : du socle cristallin aux dépôts sédimentaires et aux recouvrements volcaniques* 60
13. *Esquisse pédologique : les sols sous forêt* 63

2. **L'environnement climatique : paramètres régionaux du climat** 66
21. *Étude des principaux paramètres climatologiques* 68
211. *Vents* 68
212. *Températures de l'air* 68
213. *Humidité de l'air* 73
214. *Évaporation* 76
215. *Insolation* 79
22. *Étude des précipitations* 80
221. *Critique et homogénéisation des données mensuelles et annuelles* 80
222. *Précipitations annuelles* 82
223. *Précipitations mensuelles* 85
224. *Précipitations journalières* 93

Chapitre III – HYDROLOGIE DU NYONG 99

1. **Description du Nyong et de son bassin versant** 99
11. *Introduction* 99
12. *Le cours supérieur du Nyong* 100
121. *Le réseau hydrographique de la source au confluent du Mfoumou* 100
122. *Le réseau hydrographique du Mfoumou à Kaya* 103
123. *Aspects particuliers du cours supérieur du Nyong* 104
13. *Le cours inférieur du Nyong* 105
131. *Le réseau hydrographique* 105
132. *Aspects particuliers du cours inférieur du Nyong* 107
14. *Morphologie, relief et pentes des bassins* 108
141. *Caractéristiques de forme des bassins* 108
142. *Relief et hypsométrie* 109
143. *Profils en long* 111
15. *Conclusions* 112

2. **Les données de base** 113
21. *Données pluviométriques* 113
22. *Données hydrologiques : les débits* 116
221. *Analyse critique des données brutes* 116
222. *Présentation des résultats* 118
2221. Stations du Nyong 119
2222. Stations de la Méfou 139
2223. *Conclusions* 139

3. **Interprétation des données** 141
31. *Étude des basses-eaux* 141
311. *Étude du tarissement* 141
3111. Généralités et calcul des coefficients de tarissement 141
3112. Tarissement principal 142
3113. Tarissement secondaire 143
3114. Conclusions 144
312. *Analyse statistique des étiages* 145
3121. Comparaison des étiages minimums de grande et petite saison sèche 145
3122. Éventualité d'apparition des débits minimums 146

3123. Évolution des étiages absolus sur la période d'observation 146
3124. Distribution statistique des étiages absolus 147
3125. Signification des résultats 152
3126. Relations entre l'étiage absolu et les débits caractéristiques d'étiage 154
3127. Relations entre les étiages absolus de stations voisines 156

32. *Étude des crues* 156
321. *Éventualité d'apparition des maximums de la crue annuelle* 156
322. *Évolution des débits maximums annuels sur la période d'observation* 158
323. *Analyse statistique* 158
3231. Distribution statistique des débits maximums de crue 158
3232. Signification des résultats de l'étude de prédétermination des crues 162
324. *Relations entre débits maximums de stations voisines* 166
325. *Relations entre le débit maximum et les débits caractéristiques de crue* 166

33. *Étude des modules et du bilan hydrologique* 167
331. *Hydraulicité du Nyong sur la période d'observation* 167
332. *Analyse statistique des modules* 169
3321. Étude fréquentielle des modules 169
3322. Signification des résultats de l'étude de prédétermination des modules 172
3323. Corrélations entre les modules des différentes stations du Nyong 173
333. *Les termes du bilan hydrologique* 175
3331. Lames d'eau écoulées et précipitations annuelles – Corrélations hydropluviométriques 175
3332. Coefficients d'écoulement – Termes du bilan annuel 175
3333. Déficit d'écoulement 177
3334. Bilan mois par mois 178

34. *Conclusions* 180

Chapitre IV – RÉGIMES HYDROLOGIQUES DES AUTRES FLEUVES CÔTIERS ET CONCLUSIONS .. 183

1. **Les fleuves côtiers au sud du Nyong** 183
11. *La Lokoundje* 183
111. *Généralités* 183
112. *Données de base de la Lokoundje à Lolodorf* 185
113. *Les basses-eaux* 187
114. *Les crues* 188
115. *Modules et termes du bilan* 189

12. *La Kienke et la Lobe à Kribi* 190
121. *Généralités* 190
122. *Les données de base* 191
123. *Les basses-eaux* 191
124. *Les crues* 198
125. *Modules et termes du bilan* 200
126. *Conclusions* 200

13. *Le Ntem* 201
131. *Généralités* 201
132. *Données de base* 203
133. *Les basses-eaux* 208
134. *Les crues* 210
135. *Modules et termes du bilan* 211

14. *Conclusions* 211

2. **Fleuves Côtiers à l'ouest de la Sanaga** 212

21. *Les tributaires du Wouri* 213

211. *Le bassin du Wouri* 213

2111. Généralités 213
2112. Données de base 216
2113. Étude des basses-eaux 221
2114. Étude des crues 223
2115. Étude des modules et des termes du bilan 224

212. *Le bassin du Mungo* 226

2121. Généralités 226
2122. Données de base 226
2123. Les basses-eaux 228
2124. Les crues 231
2125. Modules et termes du bilan 231

213. *La Dibamba* 232

214. *Estimation des apports reçus par l'estuaire et la mangrove du Wouri* 233

22. *Les torrents issus du Mont-Cameroun* 233

221. *Généralités* 233

222. *La Sanje à Idenau* 236

223. *Le Ndongo à Tiko* 237

224. *L'Ombe River à Ombe* 237

23. *Les tributaires de la mangrove Ouest* 238

24. *Le bassin de la Cross-River* 239

3. **Conclusions de la 2e Partie** 243

31. *Les ressources* 243

32. *Comparaison des modules et des termes du bilan sur le Nyong et les fleuves côtiers* 245

33. *Comparaison du régime des basses-eaux* 248

34. *Comparaison du régime des crues* 249

35. *Bilan de l'étude et orientations* 256

TROISIÈME PARTIE : ÉTUDES HYDROLOGIQUES DES AUTRES BASSINS AU SUD DE L'ADAMAOUA

Étude hydrologique du bassin de la Sanaga 259

Chapitre V. – LE MILIEU NATUREL DU BASSIN DE LA SANAGA 261

1. **Facteurs géographiques** 261

11. *Forme et relief* 261

12. *Description du réseau hydrographique* 263

121. *Tracé en plan* 263

1211. Le cours supérieur de la Sanaga : Le Djerem 263
1212. L'affluent principal du Haut-Bassin : Le Lom 265
1213. Le cours moyen de la Sanaga 265
1214. Le plus important des affluents de la Sanaga : Le Mbam 266
1215. Le cours inférieur de la Sanaga 267

122. *Profils en long* 267

1221. La Sanaga – Djerem 267
1222. Les principaux affluents 267
1223. Remarques 270

13. *La végétation – De la forêt aux savanes* 270
14. *Esquisse géologique du bassin de la Sanaga* 274
15. *Pédologie du bassin de la Sanaga* 279

2. **Facteurs climatiques** 282
21. *Étude des principaux paramètres climatologiques* 282
211. *Vents* 282
212. *Températures de l'air* 283
213. *Humidité de l'air* 284
214. *Évaporation* 289
215. *Insolation* 294
22. *Précipitations* 294
221. *Étude de la pluviométrie annuelle* 294
222. *Étude de la pluviométrie mensuelle* 301
223. *Les précipitations journalières* 308

Chapitre VI. – HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA SANAGA – LES DONNÉES ET LEUR INTERPRÉTATION 309

1. **Caractéristiques des bassins et données de base** 309
11. *Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques* .. 309
12. *Données de base sur les précipitations* 310
121. *Précipitations moyennes reçues sur le bassin de la Sanaga à Edéa de 1949-50 à 1969-70* . 310
122. *Pluie moyenne interannuelle* 311
13. *Les débits* 313
131. *Bassin du Mbam* 313
132. *Bassin de la Sanaga* 324

2. **Interprétation des données** 342
21. *Étude des basses-eaux* 342
211. *Le tarissement* 342
2111. Généralités 342
2112. Analyse des courbes de tarissement 342
2113. Détermination des coefficients de tarissement 344
2114. Le débit initial de tarissement 345
212. *Analyse statistique des étiages absolus* 345
2121. Éventualité d'apparition de l'étiage absolu annuel 345
2122. Distribution statistique des étiages absolus 347
2123. Variation régionale de l'étiage absolu annuel 349
213. *Relation entre le débit d'étiage absolu et les débits caractéristiques* 351
22. *Étude des crues* 351
221. *Éventualité d'apparition des débits de pointe* 352
222. *Analyse statistique* 354
223. *Corrélations entre stations voisines* 357
224. *Maximums de crues remarquables* 358
225. *Variabilité régionale de la puissance des crues* 358
23. *Étude des modules* 360
231. *Étude fréquentielle* 360
2311. Choix d'une loi de distribution 360
2312. Modules de fréquences rares 363

232. *Recherche de corrélations* 363
2321. Corrélation pluies-lames d'eau écoulées 364
2322. Corrélation entre les lames d'eau écoulées aux différentes stations et celles d'Edéa 366
2323. Corrélation entre lames d'eau écoulées de stations voisines 367
233. *Signification des modules moyens* 367
234. *Irrégularité interannuelle et hydraulicité* 368
2341. Irrégularité interannuelle 368
2342. Variation de l'hydraulicité de la Sanaga à Edéa 368
235. *Comparaison des lames d'eau moyennes écoulées aux différentes stations de la Sanaga* 369
2351. Influence de la superficie du bassin 370
2352. Influence de la forme du bassin et de sa pente 370
2353. Influence de la pluviosité 370
236. *Déficits et coefficients d'écoulement* 372
24. *Actualisation de quelques résultats* 373
241. *Étiages* 375
242. *Maximums de crues* 375
243. *Modules* 376
244. *Conclusions* 377
25. ***Régularisation des débits sur le bassin de la Sanaga*** 377

Chapitre VII. – LES TRIBUTAIRES CAMEROUNAIS DU BASSIN DU FLEUVE CONGO 383

1. Le milieu naturel du bassin de la Sangha 385
11. *Facteurs géographiques* 385
111. *La végétation* 385
112. *Le substratum géologique* 385
113. *Les sols* 386
12. ***Description du réseau hydrographique*** 386
121. *La Sangha en amont de Ouesso et son affluent principal, la Kadéi* 386
122. *Le système Dja-Ngoko* 387
13. ***L'environnement climatique*** 389
131. *Quelques caractéristiques climatiques* 389
132. *Les précipitations* 391

2. Caractéristiques des bassins et données de base 398
21. ***Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques*** 398
22. ***Données de base sur les précipitations*** 399
23. ***Les débits*** 399
231. *Bassin du Dja-Ngoko* 399
232. *Bassin de la Sangha Supérieure* 409
233. *La Sangha à Ouesso* 420

3. Interprétation des données 420
31. ***Étude des basses-eaux*** 420
311. *Le tarissement* 420
312. *Les étiages absolus* 425
3121. Date d'apparition des étiages absolus 425
3122. Étude fréquentielle des étiages absolus 425
313. *Étiages absolus et débits caractéristiques d'étiages* 427
314. *Débits spécifiques d'étiage* 429

32. *Étude des hautes-eaux* 430
321. *Date d'apparition des maximums de crue* 430
322. *Étude fréquentielle des maximums de crue* 431
323. *Signification des résultats* 432
33. *Étude des modules et du bilan hydrologique* 437
331. *Analyse fréquentielle des modules* 437
332. *Signification des résultats de l'étude statistique des modules* 439
333. *Répartition des apports entre Dja-Ngoko et Sangha* 440
334. *Étude du bilan hydrologique* 444

Chapitre VIII. – LES TRIBUTAIRES CAMEROUNAIS DE LA BENOUÉ INFÉRIEURE 447

1. **Généralités** 447

2. **Les données de base** 452
21. ***Caractéristiques des bassins étudiés*** 452
22. ***Précipitations moyennes reçues par les bassins*** 452
23. ***Les débits*** 452

3. **L'interprétation des données** 454
31. ***Les basses-eaux*** 454
32. ***Les hautes-eaux*** 455
33. ***Modules et bilan hydrologique*** 456

QUATRIÈME PARTIE : ÉTUDES HYDROLOGIQUES DU NORD-CAMEROUN

Chapitre IX. – LE MILIEU NATUREL DU NORD-CAMEROUN 461

1. – **Le milieu physique** 461
11. *Aperçu sur la phytogéographie du Nord-Cameroun* 461
12. *Esquisse géologique du Nord-Cameroun* 463
13. *Grands traits de l'hydrogéologie du Nord-Cameroun* 465
14. *Les sols du Nord-Cameroun* 466

2. **Principaux aspects de la climatologie du Nord-Cameroun** 468
21. *Généralités – Les différentes zones climatiques* 468
22. *Principaux paramètres climatiques* 469
221. *Les vents* 469
222. *Les températures* 471
223. *L'humidité de l'air* 473
2231. Humidité relative 473
2232. Tension de vapeur 473
224. *L'évaporation et l'évapotranspiration* 477
225. *Insolation* 481
23. *Étude des précipitations* 481
231. *Précipitations annuelles* 481
232. *Précipitations mensuelles* 483
233. *Précipitations journalières* 483

Chapitre X. – LE BASSIN DE LA BÉNOUÉ 489

1. **Généralités** 489

11. *La place de la Bénoué dans le bassin du Niger* 489

12. *Description du bassin supérieur de la Bénoué* 489

13. *Le réseau hydrographique du bassin de la Bénoué* 491

131. *La Bénoué* 493

1311. La Haute Bénoué 493
1312. Le Mayo Rey 493
1313. Le Mayo Godi 493
1314. Le Mayo Mbay 493
1315. La Moyenne Bénoué 494
1316. La partie inférieure de la Bénoué camerounaise 494

132. *Le Mayo Kébi* 494

1321. Le cours principal du Kébi 494
1322. Le Mayo Louti et le Mayo Oulo 496

133. *Le Faro* 496

1331. Le Faro Supérieur 496
1332. Le Mayo Déo 497
1333. Le Faro Inférieur 497

134. *Les vallées alluviales* 497

2. **Caractéristiques des bassins et données de base** 498

21. *Caractéristiques de forme des bassins versants contrôlés par des stations hydrologiques* 498

22. *Les données pluviométriques* 499

23. *Les débits* 499

231. *Le bassin de la Haute Bénoué* 499

232. *Le bassin du Mayo Kébi* 505

2321. Les affluents camerounais de rive droite 505
2322. Le Mayo Kébi à Cossi 505

233. *La Bénoué à Garoua* 508

234. *Le Faro à Safaïe et Djelepo* 510

235. *Conclusions* 513

3. **Interprétation des données** 517

31. *Étude des basses-eaux* 517

311. *Le tarissement* 517

312. *Les étiages – Périodes d'étiages* 518

3121. Cas des trois stations principales 518
3122. Stations du Buffle Noir et du Faro 521
3123. Conclusions 521

32. *Étude des crues* 521

321. *Date d'apparition des maximums annuels de crue* 521

322. *Étude fréquentielle des maximums annuels de crue* 522

323. *Interprétation des résultats* 523

3231. Forme des distributions 523
3232. Irrégularité interannuelle 526
3233. Débits spécifiques de crue 526

33. *Étude des modules et du bilan hydrologique* 528

331. *Analyse fréquentielle des modules* 528

332. *Signification des résultats* 529

3321. Irrégularité interannuelle 529
3322. Les modules spécifiques 532

333. *Relation entre les écoulements des stations de Riao-Cossi et de Garoua* 532
334. *Lames écoulées et bilan hydrologique* 536
335. *L'aménagement de la Bénoué* 536
336. *Conclusions* 538

Chapitre XI. – LES TRIBUTAIRES CAMEROUNAIS DU BASSIN DU LAC TCHAD 543

1. **Étude hydrologique des bassins de la Vina-Nord et de la Mbéré : Le Logone Supérieur** 543

11. *Généralités* 543
111. *Réseau hydrographique de la Vina-Nord* 543
112. *Réseau hydrographique de la Mbéré* 545
113. *Profils en long et hypsométrie des bassins* 545

12. *Caractéristiques des bassins et données de base* 546
121. *Caractéristiques des bassins contrôlés par des stations hydrologiques* 546
122. *Les précipitations* 546
123. *Les débits* 546

13. **Interprétation des données** 553
131. *Les basses-eaux* 553
1311. Le tarissement 553
1312. Les étiages absolus 553
132. *Étude des maximums annuels de crue* 554
133. *Étude des modules et du bilan hydrologique* 555
1331. Étude fréquentielle des modules 555
1332. Lames écoulées et bilan hydrologique 556
134. *Conclusions* 556

2. **Les apports au Yaéré et au Lac Tchad** 558

21. *Hydrologie des Mayos, affluents du Yaéré (le Mayo Tsanaga, exemple type)* 558
211. *Caractéristique du bassin du Mayo Tsanaga* 558
212. *Les données hydrologiques et leur interprétation* 560
2121. Données de base 560
2122. La saison sèche et l'écoulement des Mayos 561
2123. Les crues du Mayo Tsanaga 563
2124. Modules, lames écoulées et bilan hydrologique 564

22. *Le Logone inférieur et l'alimentation du Yaéré* 565
221. *Le Logone à Laï, Bongor et Logone-Birni* 565
2211. Généralités et données de base 565
2212. Étude fréquentielle des débits du Logone à Bongor 568
222. *Les mécanismes de l'alimentation du Yaéré par le Logone* 570
2221. Généralités 570
2222. Dynamique de l'hydrologie du Yaéré 570

23. *Drainage du Yaéré : hydrologie de l'El Beïd* 571
231. *Généralités* 571
232. *Régime hydrologique de l'El Beïd* 572

24. *Les apports du Chari et le Lac Tchad* 575
241. *Le Chari* 575
242. *Le Serbewel* 575
243. *Le Lac Tchad* 577

25. *Bilan moyen des apports des tributaires camerounais du bassin du lac Tchad* 577

CINQUIÈME PARTIE : CONCLUSIONS ET ANNEXES

Chapitre XII. – CONCLUSIONS 583

BIBLIOGRAPHIE 595

TABLE DES FIGURES 603

LISTE DES TABLEAUX 607

INDEX ALPHABÉTIQUE DES NOMS GÉOGRAPHIQUES CITÉS 613

ANNEXES :
Principales caractéristiques, historique et étalonnage des stations hydrométriques du réseau national camerounais 593

TABLE DES MATIÈRES

CARTES HORS-TEXTE :
Carte géologique du Cameroun
Carte oro-hydrographique du Cameroun

(N.B. : sur commande, aux éditeurs, possible fourniture sur disquette des données hydrométriques de base utilisées par l'auteur.)

Le présent ouvrage
a été achevé d'imprimer en novembre 1986
sur les presses de la Société des Imprimeries MAURY
Z.I. Saint-Georges de Luzençon
12102 Millau
N° d'imprimeur : 10722
Dépôt légal : décembre 1986

ORO - HYDROGRAPHIE ET RÉSEAU HYDROMÉTRIQUE DU CAMEROUN

d'après ATLAS DU CAMEROUN, complété par J.C. OLIVRY

ÉCHELLE : 1/2.000.000

0 100 200 km

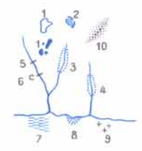
LÉGENDE

100 50 20 5 0 300 600 900 1500 2100 2700 3600 m.

3 station hydrométrique permanente et n° (* non gérée par C.R.H. Yaoundé)

limite des principaux bassins

frontières



1 – Lacs
2 – Lacs ou mares temporaires
3 – Zone inondable
4 – Marais
5 – Rapide
6 – Chute
7 – Vase
8 – Sable découvrant en basse mer
9 – Récif
10 – Dune

LAC TCHAD
N'DJAMENA
Dikoa
Kousseri
Nafada
Bauchi
Yola
Garoua
Maroua
Mokolo
Bongor
Yagoua
Poli
Tcholliré
Moundou
Ngaoundéré
Wukari
Gashaka
N'Kambé
Tibati
Banyo
Bétaré Oya
Batouri
Berbérati
Yokadouma
Lomié
Abong Mbang
YAOUNDE
Mamfe
Foumban
Ndu
Nkongsamba
Bafia
Bakassi
Victoria
Douala
Edéa
Eséka
Kribi
Sangmélima
Ebolowa
Ambam
Lolodorf
Batouri
Moloundou
Ouesso
I.FERNANDO PO
I.Malimba
I.Papagayos
Sta Isabel
C.Nachtigal
pnte d'Europe
pnte Debundsha
pnte de Santiago
pnte Campo
C. des 2 Pointes
I.Pajaros
Cap Bata
Bata
Oyem
Mont Nabeba
Mont Cameroun
MONTS SHEBSHI
MONTS GOTEL
MANENGOUBA
MASSIF DE L'ADAMAOUA
LAC LAGDO
LAC MBAKAOU
Estuaire du Cameroun
BAIE DE BIAFRA
GUINÉE ÉQUATORIALE
RÉPUBLIQUE GABONAISE
RÉPUBLIQUE DU CONGO
RÉPUBLIQUE DU TCHAD
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
NIGERIA

10° Est du Méridien International

ÉDITIONS DE L'O.R.S.T.O.M.
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

© O.R.S.T.O.M. 1984

UNITÉ DE CARTOGRAPHIE - 1984

Imp. H. DIRDE - N° imprimeur 76.687 - Imprimé en France - Dépôt légal - 2e Trimestre - Année 1984

ESQUISSE GEOLOGIQUE DU CAMEROUN

Dressée par M. LASSERRE avec la collaboration de G. Vivier, completee par J. C. OLIVRY d'après les travaux de B. BESSOLES

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

- Tertiaire et alluvions récentes
- Crétacé

FORMATIONS PRÉCAMBRIENNES

Série de Mangbei
- Conglomérats, grès et laves

Série du Dja inférieur
- Complexe tillitique
- Dolérites
- Grès-quartzites, schistes et calcaires

Série du Lom
- Schistes rouges et micaschistes

Série de Poli
- Schistes et micaschistes
- Batholites gabbroïques associés

Série de Mbalmayo-Bengbis
- Schistes chloriteux et quartzites

Série d'Ayos
- Schistes et quartzites

Conglomérats
- Conglomérats de Tibati et Borogounous, position indéterminée

Complexe de base
- Micaschistes
- Gneiss
- Migmatites
- Granites d'anatexie ou orienté
- Complexe calco-magnésien indifférencié
- Granites calco-alcalins à pyroxènes

} Complexe de Ntem

FORMATIONS PLUTONIQUES

Massifs post-tectoniques
- Granite de la série «ultime»
- Syénite de la série «ultime»

Massifs syntectoniques
- Granites
- Syénites

} tardifs, circonscrits, discordants

- Granites syntectoniques anciens subconcordants

FORMATIONS EFFUSIVES

- Rhyolites, trachytes, andésites
- Basaltes

SIGNES CONVENTIONNELS

- Contours géologiques
- Failles réelles
- Failles supposées
- Ville

GÉOCHRONOLOGIE

M.A.	
30 – 100	Séries ultimes (Tertiaire, Crétacé)
500 – 700	Précambrien A (Chaîne Panafricaine)
800 – 1200	Précambrien B
1800 – 2500	Précambrien D1
2600 – 3200	Précambrien D2

LAC TCHAD
NDJAMENA
Mokolo
Maroua
Guider
Hre Mangbei
Garoua
Poli
Baïbokoum
Ngaoundere
Meiganga
Tibati
Banyo
Myo Darle
Ngambe
Wum
Mamfe
Foumban
Linte
Nkongsamba
Bafia
Bertoua
Batouri
Buea
Douala
Edea
YAOUNDE
Ayos
Abong Mbang
Eseka
Mbalmayo
Yokadouma
Lolodorf
Kribi
Ebolova
Sangmelima
Ambam
Moloundou
Ouesso

TCHAD
NIGERIA
REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE
GUINEE EQUATORIALE
GABON
REPUBLIQUE POPULAIRE DU CONGO
OCÉAN ATLANTIQUE

10° 12° 14° 16° — 12° — 10° — 8° — 6° — 4° — 2°