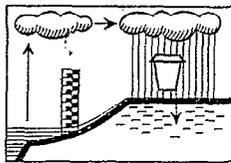


J. RODIER

# Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo



J. RODIER

**RÉGIMES HYDROLOGIQUES  
DE L'AFRIQUE NOIRE  
A L'OUEST DU CONGO**

---

CET OUVRAGE FAISANT L'OBJET D'UNE  
THESE DE DOCTEUR-INGENIEUR A LA  
FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVER-  
SITE DE TOULOUSE, IL EN A ETE TIRE  
20 EXEMPLAIRES SOUS COUVERTURE  
SPECIALE

**J. RODIER**

*Chef de la section hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.  
Ingénieur en chef à Electricité de France  
Professeur à l'Ecole Nationale du Génie Rural*

**RÉGIMES HYDROLOGIQUES  
DE L'AFRIQUE NOIRE  
A L'OUEST DU CONGO**

---

**O. R. S. T. O. M.**

**PARIS**

**1 9 6 4**

# SOMMAIRE

---

Avant-Propos .....	5
<b>Introduction</b> .....	7
<b>Chapitre I. — REGIMES CLIMATOLOGIQUES</b> .....	11
<b>Chapitre II. — REGIMES HYDROLOGIQUES</b> .....	39
A) REGIMES TROPICAUX .....	41
I. Tropical pur .....	41
II. Sahélien .....	50
III. Subdésertique .....	61
IV. Désertique .....	66
V. Tropical de transition .....	68
<i>id.</i> (variante méridionale) .....	78
<i>id.</i> (variante dahoméenne) .....	80
B) REGIME DES PRINCIPAUX COURS D'EAU TROPICAUX .....	87
I. Sénégal .....	87
II. Niger .....	91
III. Volta .....	104
IV. Sanaga .....	108
V. Chari .....	111
VI. Oubangui .....	115
C) REGIMES EQUATORIAUX .....	118
I. Transition boréal .....	118
II. Equatorial pur .....	123
III. Transition austral .....	127
D) REGIME DE QUELQUES GRANDS COURS D'EAU EQUATORIAUX .....	133

---

## AVANT-PROPOS

---

Les régimes hydrologiques présentent une réelle unité dans la partie du Continent Africain qui nous intéresse.

Grâce à diverses circonstances, nous avons eu l'honneur de diriger les recherches hydrologiques sur la majeure partie de cet ensemble, dès le début de l'installation systématique du réseau hydrométrique de base en 1948, laquelle a été suivie, à partir de 1954, par l'aménagement des premiers bassins expérimentaux.

Il nous a semblé intéressant de tenter une première esquisse synthétique du cycle de l'eau sur l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo, au moment précis où la masse des données d'observations accumulées depuis quinze ans permet enfin de procéder à des recherches méthodiques.

Cette synthèse s'appuie généralement sur des données recueillies par notre Service, utilisées dans des recherches personnelles effectuées spécialement pour cette thèse ou dans des études préliminaires déjà réalisées à d'autres occasions. Une grande partie des références est constituée de documents ronéotypés ou même dactylographiés, souvent fragmentaires : une liste bibliographique suffisante aurait considérablement alourdi le présent mémoire. Pour tout ce qui concerne l'écoulement superficiel en pays francophones, on pourrait se référer à la bibliographie du Service Hydrologique de l'ORSTOM. Mais il est possible d'obtenir plus facilement un ensemble comportant à la fois les données concernant la climatologie et celles relatives aux territoires espagnols, portugais et aux pays anglophones en consultant l'ouvrage suivant : « Bibliographie Hydrologique Africaine », par J. Rodier, Unesco, Paris, 1963.

Avant d'exposer les résultats et les conclusions de nos recherches, je tiens à remercier tous mes Professeurs, mes Directeurs, tous mes Amis et Collaborateurs qui ont pu par leur enseignement, leurs conseils ou leur collaboration, me faciliter la réalisation de cette tâche.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à M. le Professeur L. Escande, Membre de l'Institut, pour le grand honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce Jury, ainsi que des encouragements qu'il m'a prodigués pour la mise au point de cette thèse.

M. le Professeur Parde mérite une place particulière dans ma reconnaissance. Il a réussi à me communiquer, dès le début de mes recherches en Afrique, une petite partie de sa foi dans l'hydrologie scientifique et m'a guidé sans ménager son temps, en me faisant bénéficier de toute son expérience.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à M. le Professeur J. Nougaro qui m'a conseillé inlassablement au cours de la préparation de cette thèse et qui, avec toute sa bienveillance, m'a facilité toutes les démarches matérielles, peu familières à un trop vieil étudiant.

Je tiens également à remercier les Directeurs de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer :

— le regretté Professeur Combes, Membre de l'Institut, qui a bien voulu m'honorer de sa confiance en me chargeant de la direction de sa Section d'Hydrologie Scientifique et qui m'a procuré ainsi les moyens de mener à bien ces recherches ;

- M. J.-J. Juglas qui, en des moments particulièrement difficiles, a pu éviter toute interruption dans nos recherches en maintenant, malgré les circonstances, la continuité de nos études ;
- M. J. Sribier, en qui nous avons toujours rencontré la plus grande compréhension pour l'orientation de ces recherches et qui a accru, dans de larges proportions, les moyens mis à notre disposition ;
- M. le Professeur G. Camus qui, dans une période d'expansion où tous les instants de ses Chefs de Sections auraient dû être consacrés à la réalisation du programme de l'ORSTOM, a non seulement accepté qu'une partie de mon activité soit consacrée à cette thèse, mais encore m'a vivement encouragé dans cette entreprise.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à M. l'Inspecteur Général A. Ligouzat qui a suivi toutes mes recherches avec sympathie et intérêt et qui a bien voulu mettre la documentation hydrologique d'Electricité de France à ma disposition.

Le présent mémoire constituant la synthèse d'un travail d'équipe, nous remercions également tous nos collaborateurs et amis hydrologues dont le travail sur le terrain ou au bureau a permis l'exécution de cette tâche.

Enfin, je ne saurais oublier, dans ces remerciements, MM. R. Grottard, J. Métayer, J.-P. Haetich, et le Service Cartographique de l'ORSTOM, pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la mise au net des diagrammes et croquis, Mmes J. Cholet et M. Riotton qui se sont chargées du travail bien ingrat de la mise au net du manuscrit.

J. RODIER.

# INTRODUCTION

---

Le titre de cet ouvrage peut paraître bien ambitieux. Il semblerait, à sa lecture, qu'il n'y ait plus de mystère dans les régimes hydrologiques de cette partie du monde. On verra, au cours de ce qui suit, que l'on sait peu de choses, par exemple, sur le régime très abondant qui prédomine dans les régions s'étendant de l'Ouest de la Côte d'Ivoire jusqu'à l'Est de la Guinée ; les rivières de l'Ouest du Fouta-Djallon et du Plateau Mandingue sont très mal connues, et ne parlons pas des régions désertiques et subdésertiques au Sud du Sahara.

Ceci est normal : il y avait fort peu de stations de mesures en 1947, époque à laquelle les hydrologues de l'ORSTOM ont commencé leurs travaux, et on ne peut pas prétendre, en quinze ans, à équiper en totalité le réseau hydrologique et amasser ensuite suffisamment d'observations pour une étude exhaustive sur un territoire plus grand que l'Europe et infiniment moins riche et moins peuplé.

Mais, malgré son caractère incomplet, une synthèse s'impose et, en fait, pour notre usage intérieur, nous avons dû établir une première ébauche de ce travail dès 1951. Il a été retouché plusieurs fois depuis, en particulier pour la mise au point d'un cours aux élèves de l'École Nationale du Génie Rural, et la dernière série de retouches a été faite de 1961 à 1963. A l'origine, l'étude ne concernait que les anciens territoires français d'A.O.F. et d'A.E.F. et les territoires sous tutelle du Togo et du Cameroun. Or, l'hydrologue s'accommode fort mal des frontières politiques. L'évolution politique de ces régions nous a encouragés à adopter un cadre plus naturel, celui de l'Afrique Noire limitée au Congo. Les régimes hydrologiques y présentent, en effet, une certaine unité. Ils évoluent progressivement en liaison avec le processus désigné improprement sous le terme de « mousson », du régime équatorial au régime tropical, puis au régime désertique. Cette évolution n'est pas troublée par d'imposants reliefs comme dans d'autres régions tropicales du monde : en Amérique du Sud, en Asie ou même beaucoup plus près, en Afrique Orientale. En ce qui concerne l'évolution des débits dans le temps, l'hydrogramme est déterminé par une saison des pluies régulière, sans cyclone. Les variations sont donc relativement simples et il aurait été regrettable de ne pas les étudier sur un grand ensemble et de ne pas étendre nos recherches aux territoires anglophones ou portugais limitrophes.

Mais cette modification tardive de notre étude a rencontré quelques difficultés. Alors que, pour les anciens territoires français, nous avons utilisé presque toute la documentation existante, ce qui était d'autant plus facile que la majeure partie du réseau d'observations avait été installée par nos soins ou avec notre concours, pour les autres territoires, il n'a pas été possible d'opérer de même. Nous nous sommes contentés de consulter quelques ouvrages essentiels tels que :

- « River Studies and Recommendations on improvement of Niger and Benue », par Nedeco.
- « Amélioration de la Navigabilité de la Bénoué », par E.D.F.-ORSTOM et le Service des Ports et Voies Navigables du Cameroun.
- « The Volta River Project », par Sir William Halcrow and Partners, ainsi que les publications des Services météorologiques.

Nous tenons, à cette occasion, à remercier nos amis hydrologues anglais et néerlandais, R. Porter, G. Dekker, M. Fritjlink, qui nous ont remis cette documentation et nous ont aidé de leurs conseils.

Malheureusement, cette documentation ne couvre qu'une partie des cours d'eau du Ghana et du Nigeria, de sorte que l'homogénéité de la présente étude en a souffert quelque peu.

Les régimes des cours d'eau africains ont été étudiés suivant des bandes très peu inclinées sur les parallèles. Pour les cours d'eau les plus septentrionaux, ces bandes correspondent sensiblement aux isohyètes annuelles. Les hauteurs de précipitations sont, en effet, assez caractéristiques du régime hydrologique, depuis le désert jusqu'à l'isohyète 1 000.

La classification des régimes que l'on trouvera ici a été mise au point entre 1949 et 1951. Nous n'avons pas eu à y apporter de modifications notables depuis ; elle n'est pas sans défaut, comme on le verra plus loin, mais nous n'avons pas trouvé mieux.

Nous avons cherché autant que possible, pour chaque régime et ses variantes, à dégager les caractéristiques générales de telle façon que, pour un cours d'eau quelconque, quelle que soit la superficie de son bassin versant, l'ingénieur puisse, après l'avoir situé dans une catégorie déterminée, chiffrer ses différentes caractéristiques hydrologiques en s'aidant de la hauteur de précipitations annuelle, de la pente, de l'altitude et de la nature géologique du sol. C'est là un idéal bien théorique que nous nous sommes fixé. Nous sommes bien loin d'y être parvenus, mais telles que sont nos données, elles permettent la généralisation à des cours d'eau non étudiés directement. C'est ainsi que les débits sont toujours donnés en l/s.km<sup>2</sup>, bien qu'il n'y ait pas lieu de se faire trop d'illusions sur cette notion de « débit spécifique » qui suppose des bassins homogènes et toutes les caractéristiques des débits variant proportionnellement à la superficie des bassins versants, ce qui est absolument faux. Cependant, on peut dire que dans des bandes assez étroites, par exemple pour deux bassins versants dont les superficies ne diffèrent pas de plus de 30 %, les débits spécifiques sont les mêmes si les régimes hydrologiques sont identiques. Au-delà, il faut des corrections plus ou moins qualitatives. Pour pallier cet inconvénient, nous avons essayé de présenter des débits spécifiques pour les grands, moyens et petits bassins versants. Cela a été assez facile pour les derniers grâce aux études sur bassins expérimentaux.

Cependant, pour les grands bassins fluviaux, il aurait été ridicule d'ignorer les débits aux stations principales, alors que notre documentation est souvent très abondante sur ce point : c'est pourquoi, dans deux chapitres, nous donnons les débits en m<sup>3</sup>/s aux stations principales de ces grands bassins. Nous n'avons présenté, pour ces bassins, que l'essentiel. On trouvera des développements beaucoup plus considérables dans les monographies qui ont été mises au point pour presque tous ces fleuves. Le plan suivi pour l'étude de chaque régime s'inspire du canevas mis au point par la Société Hydrotechnique de France à la suite de la monographie de la Maronne.

Quelle peut être la valeur des chiffres que nous présentons ? Pour les anciens territoires français, nous avons, avec nos collaborateurs, vérifié les lectures pendant les dix premières années. Nous connaissions généralement chaque observateur et chaque station, ce n'est plus possible maintenant car ils sont trop nombreux. Les jaugeages, faits dans la plupart des cas par nos équipes, ont été vérifiés et les courbes d'étalonnage soigneusement contrôlées. Pour les stations principales, la mise au point de l'Annuaire hydrologique et d'ouvrages tels que la Monographie du Niger nous ont contraints à faire d'innombrables recoupements. Bien entendu, nous avons fait bien des découvertes : nous ne parlerons pas d'erreurs isolées, mais il a été parfois nécessaire d'éliminer des mois entiers absolument faux. Cependant, les valeurs extrêmes, hautes et basses, des hauteurs d'eau, ont toujours fait l'objet de vérifications directes ; ceci a été facile puisque, depuis douze ans, il y a toujours eu un hydrologue spécialiste sur place dans chaque territoire, et que celui-ci, pendant les hautes eaux, n'était pas retiré dans la capitale, mais travaillait sur les fleuves et rivières : les chiffres essentiels ont toujours été mis au point avec son accord. Le risque de certaines erreurs de détail n'est pas exclu, mais nous pensons en avoir éliminé la plupart, sans avoir supprimé des valeurs exceptionnelles, sous prétexte que leur caractère inusité les rendait suspects.

Le lecteur, qui désirerait des renseignements plus complets, pourra se référer à la bibliographie de l'ORSTOM, mais nous attirons son attention sur le fait que la plupart des références concernent des notes ronéotypées dont il n'existe parfois que très peu d'exemplaires ; une collection complète de ces documents existe à la Section Hydrologique de l'ORSTOM, 1, rue Léon-Cladel, Paris (2<sup>e</sup>). Il est bon de noter que de nombreuses études, surtout les plus anciennes, sont, en fait, des rapports provisoires et que leurs résultats ont dû souvent être corrigés dans les publications ultérieures. Il sera généralement plus aisé de consulter la Bibliographie Hydrologique Africaine mise au point par l'auteur et éditée par l'UNESCO en 1963. Cette bibliographie est moins complète mais elle contient les références essentielles.

Bien qu'une seule signature figure sur la couverture, cette étude est, en fait, le travail de toute une équipe : la Section Hydrologique de l'ORSTOM.

Les chercheurs, ingénieurs ou assimilés, qui y ont participé, sont les suivants :

J. Aimé, M. Aldegheri, C. Auvray, R. Berthelot, M. Beslon, B. Billon, A. Bouchardeau, R. Braquaval, Y. Bresson, Y. Brunet-Moret, O. Camus, J. Colombani, P. Dubreuil, G. Girard, P. Giscaro, J. Guiscafré, J. Herbaud, G. Hiez, G. Jacon, P. Jarre, J.-C. Klein, R. Lefèvre, F. Moniod, † Y. Mouné, H. Pelleray, M. Roche, C. Rochette, † J. Tixier, P. Touchebeuf de Lussigny.

Leurs travaux n'ont été rendus possibles que par la collaboration de leurs agents techniques.

Indiquons, à ce propos, qu'on ne saurait attacher trop d'importance, en Afrique, au travail sur le terrain. On imagine difficilement la ténacité, l'esprit d'initiative, la faculté d'adaptation et même, parfois, le courage nécessaire, pour établir un réseau de stations de jaugeages dans ces contrées, les exploiter de façon continue pendant des années et effectuer les mesures nécessaires, quelles que soient les crues, alors que précisément les communications sont presque impossibles. En regard, le calme travail de dépouillements, d'études critiques et d'interprétation semble peu de chose.

Outre les mesures effectuées par les hydrologues de l'ORSTOM, ont également été utilisés, dans la présente étude, les résultats des mesures du Service de l'Hydraulique de l'A.O.F., de la Mission d'Aménagement du Sénégal, de la Mission d'Etude et d'Aménagement du Niger, de l'Office du Niger, de la Mission de l'Ouémé, du Service d'Annonce des Crues de la Bénoué, du Service du Génie Rural de Mauritanie et de la Mission des Vallées Sèches du Niger.

L'exposé de climatologie générale a été mis au point grâce aux conseils des ingénieurs de l'Office National Météorologique. Nous ne saurions trop les remercier pour leur précieux concours. Pour toute la partie climatologique, les publications et les documents inédits de cet Office ont été largement utilisés.

Il ne nous reste plus qu'à souhaiter que les ingénieurs auxquels est destiné ce livre réussissent à trouver ce qu'ils y cherchent et ne tombent pas trop souvent sur les lacunes : dans ce cas, qu'ils ne « tirent pas trop vite » sur l'hydrologue, il n'a pas pu inventer les relevés de stations qui n'existent pas encore, et il promet sincèrement de faire mieux la prochaine fois.

# RÉGIMES CLIMATOLOGIQUES D'AFRIQUE NOIRE

---

Le régime d'un cours d'eau est déterminé :

- 1° par les apports en eau de l'atmosphère, constitués essentiellement par les précipitations (1) ;
- 2° par les caractéristiques inhérentes au bassin de réception.

Ces caractéristiques comportent, d'une part, les facteurs concernant le sol du bassin, à savoir : la constitution du sol, la couverture végétale, la pente et le réseau hydrographique, et, d'autre part, les divers facteurs climatologiques propres au bassin intervenant dans le processus d'évaporation.

Les régimes hydrologiques varieront donc suivant la répartition des précipitations et suivant les conditions naturelles des bassins versants.

En Afrique Noire, les précipitations se reproduisent à intervalles réguliers et sont bien groupées ; le terrain est généralement imperméable, de sorte que les diagrammes saisonniers des débits sont souvent voisins de diagrammes de précipitations correspondants. C'est pourquoi nous classerons, autant que possible, les régimes hydrologiques à partir des caractéristiques climatologiques, plutôt qu'en fonction des sols, et, chaque fois qu'il y aura lieu de le faire, nous citerons, pour chaque régime type, les variantes correspondant aux diverses caractéristiques pédologiques ou géologiques des bassins versants.

Nous rappellerons rapidement les conditions climatologiques générales et la classification des climats, classification qui tient compte surtout de la pluviométrie. Nous étudierons ensuite les deux grandes classes des régimes hydrologiques d'Afrique Noire :

- le régime tropical et ses variantes ;
- le régime équatorial et ses variantes.

## A) CONDITIONS CLIMATOLOGIQUES GÉNÉRALES.

### 1° *Caractéristiques essentielles des climats*

Avant de donner un aperçu du mécanisme météorologique qui détermine les variations de température, de degré hygrométrique, de nébulosité et de précipitation, nous indiquerons les caractères les plus marquants des deux grandes catégories que nous rencontrerons : les climats tropicaux et équatoriaux.

Le climat tropical type est caractérisé essentiellement par une saison sèche bien marquée, qui a lieu au cours de notre hiver boréal, et une saison des pluies, également bien marquée en été.

Indépendamment de la rareté des précipitations, la saison sèche est caractérisée par de grands écarts de température : nuits relativement froides, journées chaudes, alors que la saison des pluies, que l'on appelle aussi l'« hivernage », présente de faibles écarts de température et des moyennes assez faibles.

---

(1) L'action des précipitations occultes, sensibles dans certains cas particuliers, est généralement négligeable.

Juste avant la saison des pluies, on rencontre une courte période très chaude en avril et mai, période pénible.

Les régimes équatoriaux sont caractérisés par le dédoublement de la saison des pluies, une petite saison sèche venant se placer (dans l'hémisphère boréal) vers le mois d'août, entre les deux saisons des pluies de mai-juin et d'octobre-novembre.

Nous verrons qu'ils peuvent être définis par le fait que les régions équatoriales sont généralement au Sud du Front Intertropical (F.I.T.) (\*).

En général, on trouve le régime équatorial au Sud du parallèle 8-9° dans l'ex-A.O.F., 6-7° dans l'ex-A.E.F. Les saisons sèches et humides sont moins contrastées que dans le régime tropical, comme il sera précisé plus loin.

En fait, chaque catégorie présente une grande diversité, comme nous le verrons par la suite.

Nous n'avons pas parlé du climat désertique. En effet, le climat désertique type a des caractéristiques tout à fait différentes du climat tropical. Mais les régions septentrionales de l'ex-A.O.F. et de l'ex-A.E.F. correspondent à des variantes de ce régime désertique, assez différentes du climat type du Sahara. Au Sud du 22° parallèle, en effet, les seules précipitations donnant lieu à des écoulements notables sont dues à des incursions de la « mousson ». Les averses provoquées par les masses d'air dérivées de l'air polaire, qui interviennent habituellement dans le régime désertique, sont beaucoup moins importantes (sauf sur la côte mauritanienne). C'est pourquoi nous ferons rentrer le régime désertique de la Mauritanie, du Nord-Sénégal, du Soudan (Mali) Septentrional, du Niger Septentrional et du Tchad, dans le régime tropical.

On notera que notre classification est légèrement différente de celle utilisée actuellement par certains climatologues. Notre classification des régimes hydrologiques doit tenir compte des caractéristiques propres aux variations de débits, de préférence à celles dues au climat, dans les quelques cas où les classifications des climatologues ne pourraient pas donner satisfaction aux hydrologues. Nous avons été conduits, par exemple, à séparer le sahélien Nord, des climatologues (notre subdésertique), du sahélien Sud qui, avec le soudanien Nord, constitue, au point de vue hydrologique, un ensemble bien cohérent : notre régime sahélien. Nous avons cru nécessaire d'adopter, pour les climats, les mêmes désignations que pour les régimes hydrologiques correspondants. On trouvera, page 41, le tableau de correspondance entre notre classification et celle des climatologues de l'ex-A.O.F.

## **2° Conditions météorologiques générales**

En liaison avec la circulation générale de l'atmosphère, le champ de pression au niveau de la mer laisse apparaître des zones de haute et basse pression : les anticyclones et les dépressions, autour desquels l'air se meut conformément à la loi de Bueys-Ballot.

Les cartes des pressions moyennes présentent des zones de haute et basse pression bien organisées ; ces zones correspondent respectivement à une fréquence assez grande d'anticyclone et de dépression dans certaines régions privilégiées, et l'on est ainsi conduit à parler de centres d'action, anticyclone ou dépression, semi-permanents.

Les anticyclones intervenant en Afrique Noire d'expression française sont :

- d'une part, l'anticyclone des Açores et l'anticyclone de Sainte-Hélène, qui persistent toute l'année avec de légers déplacements ;
- d'autre part, l'anticyclone continental boréal qui couvre le Sahara en hiver et l'anticyclone subtropical qui couvre les régions voisines du Transvaal et a son maximum d'extension pendant l'été boréal, où il vient recouvrir le Moyen-Congo et arrive jusqu'au Golfe de Guinée en août.

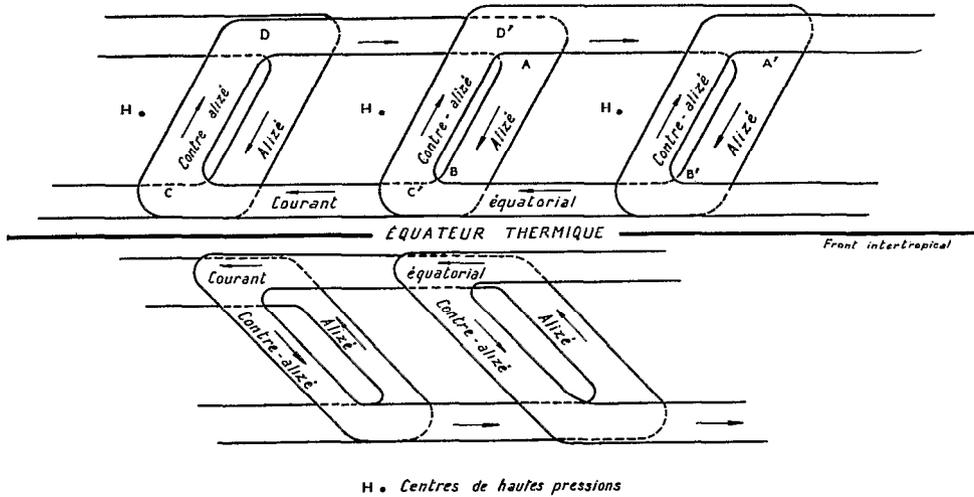
---

\* A part de brèves incursions de quelques jours de l'harmattan.

Les dépressions qui déterminent les mouvements des masses d'air dans les régions tropicales et équatoriales sont comme les anticyclones, permanentes ou temporaires.

La ceinture des basses pressions équatoriales associée au front intertropical, dont nous parlerons plus loin, recouvre les régions voisines de l'Equateur en janvier. Elle remonte ensuite lentement et rejoint le Sud du Sahara en août, venant alors remplacer le centre de hautes pressions observé en janvier.

SCHÉMA DE LA CIRCULATION DE L'AIR INFÉRIEUR  
AUTOUR DES CENTRES TROPICAUX DE HAUTE PRESSION



Au Sud de l'Equateur, par contre, c'est en janvier qu'une dépression, centrée sur le Kalahari, recouvre toute l'Afrique australe et vient remplacer l'anticyclone du Transvaal.

Les masses d'air intervenant sont les suivantes :

- a) *L'alizé boréal maritime* : masse d'air qui provient de l'anticyclone des Açores, de direction Nord ou Nord-Est, de température modérée, assez humide (1).
- b) *L'air tropical continental* : c'est une masse d'air qui vient de l'Est ou du Nord-Est du Sahara. Air chaud et sec. On lui donne le nom d'air soudanien quand, après un certain parcours sur le continent, il s'est échauffé au sol et parvient dans les régions du Soudan. Il est désigné communément par le terme « *harmattan* ».
- c) *L'air équatorial maritime* : originaire de l'anticyclone de Sainte-Hélène et dérivé de l'alizé austral, de Sud-Est, l'accélération de Coriolis l'orienté à Sud, puis Sud-Ouest, lorsqu'il traverse l'Equateur et aborde l'ex-A.O.F. ou les parties australes ou septentrionales de l'ex-A.E.F. C'est une masse d'air relativement froide, humide et instable. On l'appelle communément la « *mousson* ».
- d) *L'alizé austral direct* : de direction Sud à Sud-Est, il vient de l'anticyclone subtropical austral. C'est un air moins humide et plus stable que l'air équatorial maritime. Il atteint rarement le littoral du Golfe de Guinée et seulement au cours de l'été boréal.

(1) Il s'oriente parfois au cours de la journée à Nord Nord-Ouest ou Nord-Ouest sur le littoral de la Mauritanie, du Sénégal et de la Guinée, par suite de la brise de mer.

En théorie, les déplacements de ces masses d'air obéissent au schéma classique de circulation des alizés (voir fig. n° 1).

Les rôles essentiels sont joués par l'air équatorial maritime et l'air tropical continental (la mousson et l'harmattan). Les deux situations types suivantes peuvent être observées dans les régions tropicales :

- en hiver, l'anticyclone saharien occupe une position méridionale. Il est centré vers le 30° parallèle. L'harmattan souffle en permanence du Nord-Est ou du Nord ;
- en été, au contraire, l'anticyclone saharien a fait place à la dépression saharienne et l'anticyclone de Sainte-Hélène, particulièrement puissant, est remonté vers le Nord. L'air maritime équatorial (mousson) envahit les régions tropicales.

On voit qu'il y a là un mouvement de bascule entre l'air équatorial maritime et l'air tropical continental.

Le phénomène est assez différent de celui de la vraie mousson d'Asie où, au cours de l'année, une mousson d'été et une mousson d'hiver totalement différentes se succèdent.

Ici, il s'agit d'un même courant dont l'extension est minimale en hiver et maximale en été, époque dite de la « mousson ».

Pour simplifier, nous parlerons, dans tout ce qui suit, de la mousson, pour désigner l'air équatorial maritime, bien que, en toute rigueur, ce terme ne puisse être employé dans le cas présent.

La mousson joue le rôle de masse froide par rapport à l'harmattan et également par rapport à l'alizé boréal, bien que les différences de températures ne soient pas très élevées entre mousson et alizé boréal. Nous allons rencontrer deux fronts principaux, dont nous ne considérerons d'ailleurs que la trace au sol :

- d'une part, le front des alizés, entre alizé des Açores et harmattan ;
- d'autre part, le front intertropical (F.I.T.), entre harmattan et mousson.

Le front des alizés, de direction Nord-Sud, se déplace parallèlement aux côtes du Sénégal et de la Mauritanie. Front assez peu actif en général, sauf dans les régions de Dakar et de Port-Etienne.

Le front intertropical suit une direction générale Est-Ouest (voir carte ci-après). Il se déplace lentement, suivant les saisons, conformément au mouvement de bascule dont nous avons parlé plus haut. Ces déplacements, qui conditionnent les saisons des pluies du régime tropical, sont lents.

En janvier, le F.I.T. occupe sa position la plus méridionale ; il passe au Nord de Conakry, à Bouaké (Côte d'Ivoire), puis il s'infléchit, passe vers Yaoundé et au centre de la grande forêt inondée qui couvre toute la moitié Nord du Moyen-Congo.

A partir de février ou mars, il remonte lentement, mais de façon irrégulière, vers le Nord et occupe en août sa position la plus septentrionale qui correspond, *grosso modo*, au 20° parallèle.

En plus de ce déplacement d'ensemble, il y a des mouvements de moins grande amplitude : déplacements diurnes ou déplacements accidentels.

Sur une coupe verticale, les positions relatives de la mousson et de l'harmattan sont les suivantes :

La mousson forme sous l'harmattan un coin d'air frais et humide, son épaisseur pouvant atteindre 2 000 à 2 500 m.

Lorsque le F.I.T. est stable, il n'y a pas de formations nuageuses, pas de précipitations. Lorsque le F.I.T. se déplace vers le Sud, il se comporte comme un front chaud et il n'y a également pas de précipitations. Mais lorsqu'il se déplace vers le Nord, il se comporte comme un front froid ; il produit alors des systèmes nuageux très importants et des averses orageuses. Le processus est le suivant :

a) Au passage du F.I.T. lui-même, l'épaisseur de la mousson est insuffisante pour qu'il y ait précipitation ; il se forme seulement quelques formations nuageuses et le degré hygrométrique au sol devient assez élevé, ce qui contribue à rendre particulièrement désagréable le mois d'avril.

b) Plus en arrière, lorsque l'épaisseur de la mousson atteint 7-800 m, il se produit, par action dynamique, des séries de grains suivant une ligne Est-Ouest. Ce sont les premières averses, averses orageuses.

c) Lorsque l'épaisseur de la mousson atteint 2.000 m, la surface de contact entre mousson et harmattan prend un aspect assez irrégulier. Il se produit des séries d'ondes d'Est en Ouest, donnant lieu à des grains répartis sur une ligne Nord-Sud. Ce sont ces grains que l'on appelle « tornades », bien que le terme de tornade tende à indiquer un mouvement tourbillonnant qui n'existe pas.

Enfin, lorsque l'épaisseur de la mousson est maximale, il se produit des formations nuageuses, non plus au contact mousson-harmattan, mais à l'intérieur de la mousson. Ces formations nuageuses, plus instables, donnent lieu à des pluies beaucoup plus prolongées. Ce sont des pluies à caractère continu.

Un observateur situé dans la région du 10° parallèle en ex-A.O.F. assistera successivement aux quatre phénomènes suivants :

- 1° un temps lourd ;
- 2° une série de grains remontant du Sud vers le Nord ;
- 3° des lignes de grains se déplaçant d'Est en Ouest, grains beaucoup plus fréquents et plus intenses que ceux de la série précédente ; ce sont les véritables tornades ;
- 4° des pluies de mousson qui correspondent sensiblement au milieu de la saison des pluies.

Puis, après quelques grains isolés, correspondant à la diminution de l'épaisseur de la mousson, le F.I.T. repasse par le point considéré et l'observateur se trouve sous le régime de l'harmattan. On voit que la saison des pluies est d'autant plus longue que le temps qui s'écoule entre les deux passages du F.I.T. est plus long, c'est-à-dire que la région considérée est plus méridionale.

Entre le 9° parallèle et l'Equateur, la situation est différente.

L'observateur n'est jamais dans l'air continental, à part quelques brèves incursions dans le milieu de l'hiver que l'on appelle « coup d'harmattan ». En plein hiver, l'épaisseur de la mousson est trop faible pour donner lieu à des précipitations normales : c'est la grande saison sèche.

Très tôt, le déplacement du F.I.T. vers le Nord donne lieu à une première saison des pluies en mai et juin, saison des pluies qui est la plus forte. Puis, en août et septembre, la situation générale tend à devenir anticyclonique par suite du déplacement vers le Nord de l'anticyclone subtropical, les précipitations deviennent plus rares, c'est la petite saison sèche dont la sévérité est d'ailleurs assez relative.

En septembre et octobre, le recul de cet anticyclone donne lieu à la disparition de l'alizé correspondant et, avec la mousson, réapparaissent les précipitations, c'est la petite saison des pluies.

Le régime des pays occidentaux (Mauritanie, Sénégal, Ouest de la Guinée) est légèrement différent. Il est, en effet, soumis à l'alizé boréal maritime qui vient des Açores et qui reçoit parfois des apports d'air polaire. Cet alizé boréal joue, vis-à-vis de la mousson, un peu le même rôle que l'harmattan, mais il est nettement plus humide que ce dernier. Vis-à-vis de l'harmattan, d'ailleurs, il peut donner lieu, sur le front des alizés, à des ascendances entraînant quelques grains qui, rarement, conduisent à des pluies notables.

A la suite de mouvements complexes, l'alizé boréal maritime peut s'étendre en hiver jusque vers Conakry, donnant lieu à des précipitations rares et faibles. En général, le principal effet de cet alizé en Guinée est de retarder la mousson qui ne commence qu'en mai. Son effet le plus important sur la côte Ouest de l'Afrique est l'influence rafraîchissante sur une longue période puisqu'il s'établit à Dakar, par exemple en novembre, pour durer jusqu'en février.

Au Sud de l'Equateur, on trouvera un processus analogue à celui que nous avons décrit pour le Nord, l'anticyclone du Transvaal jouant, en été boréal, le même rôle que l'anticyclone saharien. Il est remplacé en hiver par une dépression centrée sur le Kalahari.

Nous n'aurons pas à étudier le régime tropical austral : la moitié Sud du Moyen-Congo reste, en effet, dans le régime équatorial. La petite saison sèche sera inversée par rapport à l'hémisphère Nord. La grande saison sèche se produira en août-septembre-octobre, au lieu de décembre-janvier-février. De même, l'importance relative des deux saisons des pluies sera inversée.

## B) CARACTERISTIQUES DU CLIMAT TROPICAL.

Nous considérerons essentiellement les facteurs qui intéressent les précipitations et l'évaporation. Nous avons vu plus haut que le climat tropical était caractérisé par une saison sèche et une saison des pluies, toutes deux bien marquées.

Les caractéristiques de ce climat varient de façon continue depuis le désert jusqu'à la bordure de la zone équatoriale. Les hauteurs d'eau annuelles, par exemple, passent de 50 mm à 1.600-1.700 mm et même, par endroits, à 3.000 mm et plus.

Le climat tropical typique peut être représenté par celui de la région de Bamako (hauteur de précipitations annuelles : 1.000 mm environ).

Il comprend un certain nombre de variantes pour lesquelles nous donnons, ci-après, le tableau des classifications avec, en regard, la classification correspondante des climatologues de l'ex-A.O.F. et les limites de précipitations annuelles. Nous reviendrons plus loin sur cette classification.

### 1° *Précipitations*

L'étude des régimes pluviométriques, comme celle de la plupart des phénomènes naturels utilisant la statistique, fait appel à un certain nombre de grandeurs qui sont les unes des moyennes et les autres des écarts.

Nous trouverons, dans les moyennes : les hauteurs de précipitations moyennes annuelles, les hauteurs de précipitations moyennes mensuelles ; dans les écarts : l'irrégularité saisonnière, l'irrégularité interannuelle et les précipitations exceptionnelles.

#### a) *Hauteurs de précipitations annuelles :*

On peut les caractériser par un réseau d'isohyètes annuelles suivant la carte ci-après.

Avant de donner des indications générales sur le tracé des diverses courbes isohyètes, nous soulignerons le point suivant, souvent oublié dans la mise au point de ces courbes :

Bien que les précipitations en Afrique soient relativement régulières, la hauteur des précipitations n'en est pas moins assez variable entre deux points voisins. Il suffit d'une forêt, d'une grande étendue d'eau pour donner lieu à une recrudescence des précipitations qui peut dépasser 100 mm par an. A une plus petite échelle, une colline isolée ou même un gros bouquet d'arbres peuvent donner lieu à une recrudescence des précipitations très sensible sur la face exposée au vent humide et, au contraire, un abaissement des hauteurs de précipitations annuelles sur l'autre face. Il en résulte qu'une ligne d'isohyètes sur un plan à relativement grande échelle, au 1/20 000<sup>e</sup> par exemple ou au 1/15 000<sup>e</sup>, serait une véritable « dentelle » avec des quantités d'enclaves humides dans la région à pluviométrie plus faible que la hauteur de précipitations de référence, et, *vice versa*, des quantités d'enclaves sèches dans la région à pluviométrie plus forte que la hauteur d'eau annuelle choisie comme référence. Il est, bien entendu, impossible de tracer cette ligne d'isohyètes idéale. Dans la pratique, on utilisera donc une ligne approximative qui passera au milieu de la « dentelle » et qui sera d'autant plus simplifiée que l'échelle utilisée sera plus petite. Mais nous devons retenir de ces considérations qu'il n'est pas anormal de trouver, par exemple, une station de précipitations 950 mm au Nord de l'isohyète 900, s'il s'agit d'une situation privilégiée.

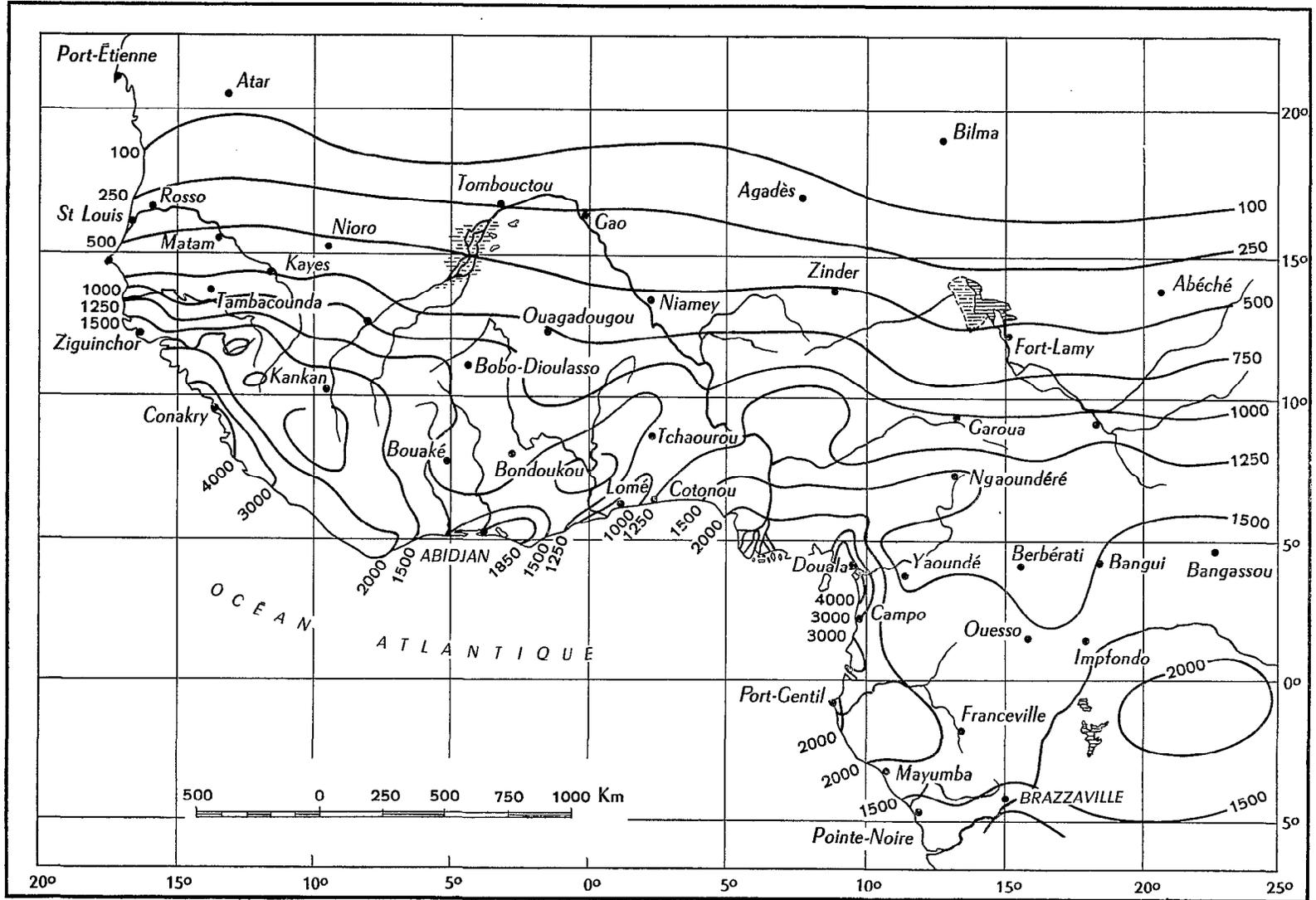
En règle générale, nous avons vu, en effet, que les précipitations annuelles croissent du Nord au Sud. Les isohyètes suivent très vaguement des parallèles : elles sont légèrement inclinées vers le Sud, de l'Ouest à l'Est. Elles peuvent prendre une forme assez complexe dans la moitié Sud du Cameroun et la partie Ouest de l'Oubangui (République Centrafricaine).

Indépendamment de la forme générale, de grands massifs, comme la dorsale entre le Cameroun et le Nigéria, ou de grandes nappes d'eau, comme le delta intérieur du Niger, peuvent donner lieu à des distorsions importantes.

Pour fixer les idées, donnons quelques jalons sur les principales isohyètes :

— l'isohyète 300 passe au Nord de Saint-Louis, au Sud de Tombouctou, à la limite Nord du lac Tchad ;

PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE DE L'AFRIQUE NOIRE A L'OUEST DU CONGO



- l'isohyète 700 passe au Sud de Dakar, à Kayes, au Sud du delta central nigérien, au Sud de Niamey, au Sud de Fort-Lamy ;
- l'isohyète 1 000 passe à l'embouchure de la Gambie, à Bamako, au Sud de Ouagadougou, à Garoua, au Nord de Fort-Archambault ;
- l'isohyète 1 500 passe par la Casamance, le Fouta-Djallon, au Nord de Kankan et au Sud de la Côte d'Ivoire. Elle ceinture les Monts du Togo, puis, au Cameroun, elle passe par le milieu de l'Adamaoua et rejoint la région de Bangui ;
- l'isohyète 2 000 entoure la Basse-Guinée, elle entoure également le Sud de la Guinée forestière et l'Ouest de la Côte d'Ivoire.

La région de Conakry dépasse 4 000 mm.

### **b) Variations annuelles :**

Considérons le régime tropical type tel qu'il existe à Bamako.

Nous rencontrerons en janvier et février une saison très sèche, sans aucune précipitation en général. Quelquefois, en février ou en mars, une faible averse dite « pluie des mangues », qui dépasse assez rarement 20 mm.

En avril, commencent les premières pluies précédées de tornades sèches.

En mai et juin, la saison des pluies s'installe : les précipitations sont de l'ordre de 100 à 150 mm par mois.

En juillet, août et septembre, la saison des pluies est bien installée : les précipitations sont, en moyenne, de 200 mm par mois ; elles peuvent atteindre parfois 4 à 500 mm.

Pendant la première quinzaine d'octobre, on note encore quelques pluies, puis c'est la saison sèche qui dure à peu près six mois.

La saison des pluies proprement dite dure trois mois. On note deux mois de faibles pluies et, au total, une période d'un mois de transition.

Dans les régions les plus septentrionales, la saison sèche devient plus longue et la saison des pluies plus brève. En même temps, les précipitations annuelles diminuent. A Fort-Lamy et à Niamey, par exemple, la hauteur annuelle est de l'ordre de 600 mm. La saison sèche dure sept mois, la saison des pluies trois mois, pendant lesquels les précipitations ne sont plus que de 150 à 200 mm. Des périodes de transition séparent les deux saisons, la transition en fin de saison des pluies est très courte.

Plus au Nord, la saison des pluies ne dure plus que deux mois : du 15 juillet au 15 septembre.

Enfin, dans les régions subdésertiques et désertiques, on note quelques pluies isolées en août, qui ne se produisent, d'ailleurs, pas tous les ans lorsqu'on arrive au régime désertique proprement dit.

Vers le Sud, au contraire, la saison sèche est de plus en plus courte et la saison des pluies de plus en plus longue : par exemple, à Kankan (précipitations annuelles : environ 1.700 mm), la saison sèche ne dure plus que cinq mois ; la saison des pluies, par contre, dure six mois : mai, juin, juillet, août, septembre, octobre, dont quatre mois à plus de 200 mm.

Enfin, à la limite Sud, par exemple sur l'Adamaoua, la saison vraiment sèche ne dure plus que trois mois : décembre, janvier, février ; la saison des pluies, sept mois : d'avril à novembre ; la période de transition, deux mois.

### **c) Précipitations journalières :**

Pour ces régions, l'étude des précipitations journalières correspond sensiblement à l'étude des averses. Sauf pour les régions à très forte pluviométrie (Basse-Guinée), les averses continues de plus de 24 h sont très rares, contrairement aux pays de cyclones ou de typhons, comme Madagascar ou la Nouvelle-Calédonie. D'autre part, les journées à deux ou trois averses ne sont pas rares au Sud de l'isohyète 300 mm, mais elles sont loin de constituer le cas général.

Trois catégories principales d'averses peuvent être observées dans les régions tropicales et équatoriales que nous étudions :

1° LES TORNADES : Nous avons vu que ces averses résultent du contact entre la mousson et l'har-mattan, suivant un processus assez complexe ; elles ne se produisent plus lorsque l'épaisseur de la

mousson dépasse une certaine valeur supérieure à 2 000 m, elles sont alors remplacées par ce que nous appelons les pluies de mousson. Les tornades sont pratiquement les seules averses que l'on observe au Nord de l'isohyète 1.000 mm. Le diagramme d'intensité classique d'une tornade moyenne ou forte est le suivant :

- une période préliminaire d'intensité moyenne : 10 à 30 mm/h, de courte durée ;
- le corps de la tornade : à forte ou très forte intensité moyenne, 40 à 80 ou 100 mm/h. La durée de cette période est courte et parfois très courte : 5 minutes à 20 minutes, avec généralement un paroxysme de 5 minutes ou moins, qui peut atteindre 150-200 mm/h ou même plus pour les très fortes tornades. Cette pointe peut se dédoubler, auquel cas le corps de la tornade dure plus de 20 minutes ;
- la traîne de la tornade, à faible intensité : 15 à 30 mm/h au début et très vite 10, puis 5 à 1 mm/h. La traîne dure, en général, de 1/2 heure à 2 heures.

Il est assez fréquent que la période préliminaire n'existe pas. La traîne peut être absente également. Enfin, la tornade peut être double.

Les tornades se produisent, en général, l'après-midi ou la nuit.

2° LES AVERSES A CARACTÈRE CONTINU, que nous appelons plus brièvement « pluies de mousson », se produisent à l'intérieur de la mousson. On les observe au milieu de la saison des pluies, au Sud de l'isohyète 1 200 à 1 300 mm. Elles sont beaucoup plus fréquentes, bien entendu, dans le régime équatorial. De telles averses durent plusieurs heures avec des intensités moyennes modérées ; elles présentent plusieurs pointes, dont l'intensité peut atteindre 50 à 80 mm/h, mais, de façon générale, l'intensité de ces pointes est bien inférieure aux intensités maximales des tornades.

3° Des pluies de crachin peuvent se produire, mais elles sont rares. Elles sont caractérisées par une assez longue durée et des intensités très faibles.

La hauteur moyenne des précipitations journalières varie relativement peu du Nord au Sud de la zone tropicale.

Dans le tableau ci-dessous, nous avons donné la valeur des précipitations de fréquences : 10 %, 30 % et 50 %, pour 65 stations dont les précipitations annuelles varient de 20 mm à 2 500 mm (1) :

Hauteur de précipitations annuelles	Fréquence 50 %	Fréquence 30 %	Fréquence 10 %
20 à 90 mm	3 à 4,5 mm	5,5 à 7 mm	8,5 à 12,5 mm
90 à 200 mm	3 à 6 mm	6 à 10 mm	16 à 19 mm
200 à 300 mm	6 à 7,5 mm	11 à 15 mm	24 à 28 mm
300 à 500 mm	6 à 7,5 mm	12 à 15 mm	25 à 31 mm
500 à 750 mm	6 à 7,5 mm	13 à 16 mm	29 à 34 mm
750 à 1 000 mm	6 à 8 mm	13,5 à 16,5 mm	30 à 35 mm
1 000 à 1 200 mm	6 à 8,5 mm	13,5 à 16,5 mm	30 à 36 mm
> 1 200 mm	7 à 9 mm	13,5 à 17 mm	31 à 38,5 mm

(1) Sont exclues de ce tableau les stations du littoral.

Ce tableau est assez significatif : de 20 à 200 mm, la hauteur de la précipitation médiane croît nettement, elle se stabilise pour des hauteurs de précipitations annuelles de 200 à 1 000 mm, puis croît *lentement* au-delà. Pour la fréquence 30 %, qui correspond à ce que communément on peut appeler tornades moyennes, la stabilité est un peu moins grande. Pour les fréquences 10 % : ce sont les « grosses tornades » ; on constate une croissance très nette jusqu'à l'isohyète 200 mm ; au-delà, la croissance est très lente. Cette dernière colonne donne une idée des variations des averses décennales

de fréquence beaucoup plus faible. On devine qu'à partir du régime sahélien, ces averses seront de hauteurs très voisines.

Les averses de fréquence faible étant très voisines pour des hauteurs de précipitations annuelles assez différentes, on voit que, pour l'étude de certaines caractéristiques de ces averses, il sera possible de considérer des stations assez éloignées en latitude, ce qui augmente singulièrement le nombre de stations susceptibles d'être utilisées, d'autant plus que la mise au point du tableau ci-dessus a montré que, de Boutilimit à Adré, les caractéristiques pluviométriques sont les mêmes.

L'ensemble de ce tableau montre que l'augmentation de la hauteur de précipitations annuelles du Nord au Sud résulte non pas d'averses plus fortes, mais d'averses plus fréquentes. Ce fait présente une très grande importance au point de vue du ruissellement. A couverture végétale et à pente identiques, les petits bassins versants du Nord devraient avoir les mêmes débits de crues que ceux du Sud (sauf sur sol très perméable où la saturation joue un rôle prépondérant). Mais, comme la couverture végétale est beaucoup plus dense dans le Sud et que l'intensité maximale tend à être plus faible, les crues sur petits bassins y sont beaucoup moins fortes.

Signa'ons que certains sites peuvent être privilégiés en ce qui concerne l'importance des averses, surtout en montagne : c'est le cas notamment des Monts du Nord-Cameroun.

#### d) Précipitations exceptionnelles :

On peut avoir une idée des précipitations décennales par les maximums relevés en 24 heures (voir tableau ci-dessous).

#### RÉGIMES TROPICAUX PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES DÉCENNALES

##### *Régime désertique*

STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)	STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)
Bilma .....	20	31	Fada .....	76	(50)
Faya .....	25	(35)	Tessalit .....	100	47
Fort-Etienne .....	29	(50)	Akjoujt .....	102	(60)
Araouane .....	49	45	Atar .....	108	(55)
Fort-Gouraud .....	63	35	Kidal .....	138	52
Iférouane .....	63	31			

##### *Régime subdésertique*

STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)	STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. mm
Bourem .....	160	53	Goundam .....	257	78
Agadès .....	173	59	Tamchakett .....	260	92
Tikdjidja .....	175	78	Moudjeria .....	263	81
Gourma Rharous ...	180	57	Menaka .....	267	64
Nguigmi .....	222	83	Gao .....	267	73
Boutilimit .....	228	78	Aleg .....	278	93
Bamba .....	231	66	Tanout .....	299	84
Tombouctou .....	234	61			

## RÉGIME SAHÉLIEN

STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)	STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)
Diré .....	300	80	Téra .....	526	100
Bol .....	310	87	Linguère .....	534	127 (1)
Ansongo .....	312	81	Dakar Hôpital .....	534	145 (1)
Boghé .....	323	90	Dakar Ouakam .....	538	110,5 (1)
Niafunké .....	324	85,7	Mopti .....	543	95
Saint-Louis .....	359	104 (1)	Sokolo .....	545	96
Kiffa .....	359	92	Dori .....	546	83,2
Aïoun el Atrouss .....	363	85	Dakar Hann .....	556	143 (1)
Ati .....	382		Tessaoua .....	562	95,5
Tahoua .....	396	79,2	Kolo .....	567	94,2
Kaédi .....	409	102	Niamey .....	575	92
Gouré .....	419	103	Bokoro .....	578	
Mbout .....	423	78	Oum Hadjer .....	579	
Hombori .....	429	82	Ke Macina .....	588	103
Louga .....	464	117 (1)	Dakar Yoff .....	591	130 (1)
Abécher .....	472	(90)	Abougoudam .....	592	89
Massakory .....	480		Birni Nkonni .....	596	108
Bakel .....	483	113,5	Sofara .....	598	101
Douentza .....	499	94	Niamey Aéro .....	600	96
Zinder .....	501	95	Nïoro .....	602	115
Tillabery .....	508	91	Rufisque .....	604	156,5 (1)
Filingue .....	513	109	Djibo .....	609	109
Matam .....	522	112,5	Fort-Lamy .....	643	
Madaoua .....	524	91	Tivaouane .....	616	132 (1)
Tourcoingbam .....	653	105,7	Maradi .....	623	102
Magaria .....	654	119	Goz-Beida .....	628	(90)
Diourbel .....	669	120 (1)	Dogondoutchi .....	640	107
Adré .....	671		Ségou .....	718	91
Say .....	680	101	Nyamina .....	724	103
Bambey .....	693	143 (1)	Ouahigouya .....	725	101
Markala .....	694	106	Bitkine .....	740	
Dosso .....	694	107	Namary .....	755	105
Thiès .....	699	166 (1)			

(1) Proximité de la mer.

*Régime tropical pur*

STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)	STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)
Kayes .....	754	113	Katibougou .....	951	124,5
San .....	759	107	Mokolo .....	966	(105)
Kantchari .....	782	104	Dédougou .....	970	122
Tougan .....	791	103	Garoua .....	983	
Kaelé .....	794	110	Boromo .....	990	130
Barouéli .....	814	106	Po .....	1 013	118
Koupéla .....	821	116	Koulouba .....	1 027	123
Gaya .....	836	(117)	Doba .....	1 041	
Koulou .....	839	115	Kandi .....	1 042	(90)
Diapaga .....	841	102	Houndé .....	1 045	125
Ouagadougou Ville ..	898	107	Kélo .....	1 064	(115)
Koudougou .....	881	123	Laï .....	1 073	
Ouagadougou Aéro ..	901	110	Bamako .....	1 080	127
Fada Ngourma .....	908	117	Pala .....	1 096	
Bongor .....	910	(102)	Kangaba .....	1 112	117
Guider .....	914		Kita .....	1 156	117
Tambacounda .....	918	128,5	Gaoua .....	1 158	116
Bafoulabe .....	922	128	Bobo-Dioulasso .....	1 169	118
Toukoto .....	927	120	Fort-Archambault ...	1 197	(125)
Manga .....	941	116			

*Régime tropical de transition et ses variantes*

STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)	STATIONS	PRÉCIPITATION ANNUELLE (mm)	MAXIMUM 24 h. (mm)
Bouna .....	1 033	(110)	Kéniéba .....	1 331	175
Tanguiéta .....	1 044	(114)	Ferkessédougou .....	1 338	130
Dassa Zoumé .....	1 054	130	Bossangoa .....	1 344	(120)
Boukombe .....	1 078		Djougou .....	1 367	130
Savé .....	1 082	(127)	Fort Sibut .....	1 384	(110)
Parahoué .....	1 091	(145)	Korhogo .....	1 403	115
Tchaourou .....	1 142	(111)	Sokodé .....	1 410	(154)
Parakou .....	1 200		Goualala .....	1 440	169
Bouca .....	1 214	(115)	Bétaré-Oya .....	1 452	(120)
Moundou .....	1 212	(104)	Bambari .....	1 454	(140)
Lama Kara .....	1 260		Berbérati .....	1 470	(120)
Savalou .....	1 270	130	Carnot .....	1 473	(140)
Kandé .....	1 291	(130)	Meiganga .....	1 500	(120)
Blitta .....	1 298	(126)	Bria .....	1 533	(105)
Bougouni .....	1 302	166	Ngaoundéré .....	1 584	105
Natitingou .....	1 305	(110)	Bangui .....	1 587	(125)
Fort-Crampel .....	1 306	(130)	Yoko .....	1 619	(100)
Sikasso .....	1 308	135,5	Odienné .....	1 634	130
Kédougou .....	1 308	131	Tibati .....	1 713	(115)
Bor ar .....	1 310	(102)	Bangassou .....	1 780	(120)
Sedhiou .....	1 321	142	Bafoussam .....	1 817	(130)

Les valeurs entre parenthèses ont été sommairement estimées et n'ont pas fait l'objet de déterminations statistiques comme les autres valeurs.

Pour presque toute la zone étudiée, les maximums décennaux varient de 100 mm à 150 mm par 24 heures, avec une légère augmentation du Nord au Sud, alors que les hauteurs annuelles varient de 300 à 1 800 mm.

La zone désertique donne lieu à des précipitations décennales plus faibles, mais il doit y avoir un grand écart entre précipitations décennales et précipitations cinquanteaires. Au contraire, les régions particulièrement bien arrosées du Fouta-Djallon ou de la Guinée Forestière peuvent donner lieu à des maximums décennaux de 200 mm par 24 heures.

Enfin, toute la bande côtière, depuis le Sénégal jusqu'au Cameroun, donne lieu à des maximums dépassant largement 200 mm en 24 heures.

Il est nettement plus difficile de préciser les valeurs des précipitations cinquanteaires. Théoriquement, la méthode des stations-années devrait permettre d'obtenir des résultats valables. Mais, pour des fréquences aussi faibles, cette méthode ne fournit, pour un régime pluviométrique donné, que *quelques* valeurs supérieures à l'averse cinquantaire théorique. Il y a les plus fortes chances pour que la plupart de ces valeurs résultent tout simplement d'erreurs d'observations. On comprendra que, dans ce cas, à moins d'une étude critique très poussée concernant les plus fortes valeurs, il est très difficile de trouver des valeurs sûres de pluie de fréquence cinquantaire. Or, il est rare que de telles études critiques soient possibles.

Elles ont pu être effectuées jusqu'ici dans deux cas seulement : l'un dans la région de Kindia, où la précipitation cinquantaire a été trouvée égale à 154 mm ; l'autre en Mauritanie (isohyète 250 mm), où l'averse, de période de retour 20 ans, a été trouvée égale à 109 mm. Cette valeur est nettement moins sûre que la première.

Deux averses mémorables, de fréquence nettement plus faible que décennale, ont été observées, ces dernières années, à Fort-Lamy et à Bamako, dans des conditions qui ne laissent aucun doute sur la valeur des chiffres obtenus.

Le 12 août 1950, il est tombé à Fort-Lamy 181 mm en 24 heures, dont 135 mm en deux heures.

Le 27 août 1954, il est tombé à Bamako 163,3 mm en une seule précipitation qui n'a duré en tout que quelques heures.

#### **e) Irrégularité interannuelle :**

Le coefficient de variation des hauteurs de précipitations moyennes semble s'imposer pour caractériser l'irrégularité interannuelle. Cependant, nous lui avons préféré le coefficient  $K_3$ , rapport entre les hauteurs de précipitations annuelles de l'année décennale humide et de l'année décennale sèche : ce coefficient est plus parlant et plus rapide à déterminer.

Sa valeur est beaucoup plus faible que dans d'autres régions, telles que la région méditerranéenne par exemple ; elle croît assez régulièrement du Sud au Nord, en sens inverse de la hauteur de précipitations annuelle. Le coefficient d'irrégularité, de l'ordre de 1,5 à 2 vers l'isohyète 1 500 mm, peut atteindre 2,5 vers l'isohyète 500 mm et dépasser 3 en dessous de l'isohyète 250 mm.

### **2° Autres facteurs climatologiques**

#### **a) Températures :**

Les écarts diurnes et saisonniers, faibles au Sud, sont considérables dans le Nord. Les températures moyennes n'ont pas grande signification, mais leur étude présente un certain intérêt pour la raison suivante : la croissance de la température moyenne est parallèle à la baisse générale du degré hygrométrique ; ceci explique que, tout au moins pour les régimes tropicaux, on puisse établir des corrélations assez satisfaisantes entre évaporation et température moyenne.

Les températures moyennes annuelles varient, en général, de 25° à 31°. Elles croissent lentement du Sud au Nord. La décroissance vers le Sud est due surtout au refroidissement correspondant aux pluies.

Cependant, il sera prudent de ne pas attacher une importance exagérée aux températures moyennes. Conakry présente une température moyenne de 27° pour une hauteur pluviométrique annuelle de plus de 4 000 mm et Fort-Lamy, 28°3 pour une hauteur pluviométrique de 620 mm. L'écart n'est que de 1°3 entre les températures annuelles, alors que les climats sont tout à fait différents.

#### **b) Variations saisonnières :**

Par contre, les variations saisonnières sont très intéressantes.

En effet, du Nord au Sud, les cycles annuels des températures varient progressivement, donnant lieu à trois diagrammes annuels types nettement différents :

1° Au Nord, dans les régions désertiques, les variations de température se rapprochent assez de celles du climat méditerranéen : il y a nettement un été et un hiver (voir diagramme des températures de Bilma) : on observe en effet :

- une période assez prolongée de fortes températures diurnes (approchant ou dépassant 40° en moyenne), qui couvre les mois de mai à septembre inclus, avec des écarts diurnes assez forts (10 à 12°) ;
- une période également prolongée de températures nettement plus faibles, qui s'étend de décembre inclus à février inclus :
  - températures moyennes diurnes : 24 à 30°,
  - températures nocturnes beaucoup plus faibles (moyennes de 9 à 14°),
  - écarts diurnes élevés : 12 à 16°.

Les minimums absolus nocturnes peuvent être beaucoup plus faibles et approcher 0°, même en plaine. Ils descendent au-dessous de 0° en altitude.

Cependant, le maximum diurne est en juin, quelquefois en juillet, mais non en août, comme dans le climat méditerranéen. L'augmentation de la nébulosité, due à la mousson, donne déjà lieu à une certaine baisse des températures moyennes mensuelles en août et septembre.

En progressant vers le Sud, l'influence de la mousson se traduit par un rafraîchissement estival de plus en plus marqué, correspondant à l'augmentation de la nébulosité et à l'apparition de précipitations de plus en plus abondantes et fréquentes.

Dans les zones subdésertiques (voir le diagramme d'Agadès), un fléchissement très net apparaît en juillet et août. Le maximum de température est décalé d'un mois en avant : il se produit en mai.

Cependant, les températures diurnes sont encore fortes en été, les moyennes mensuelles dépassant généralement 32°. Les écarts diurnes restent élevés. La disparition des pluies en septembre donne lieu à une remontée de la température diurne.

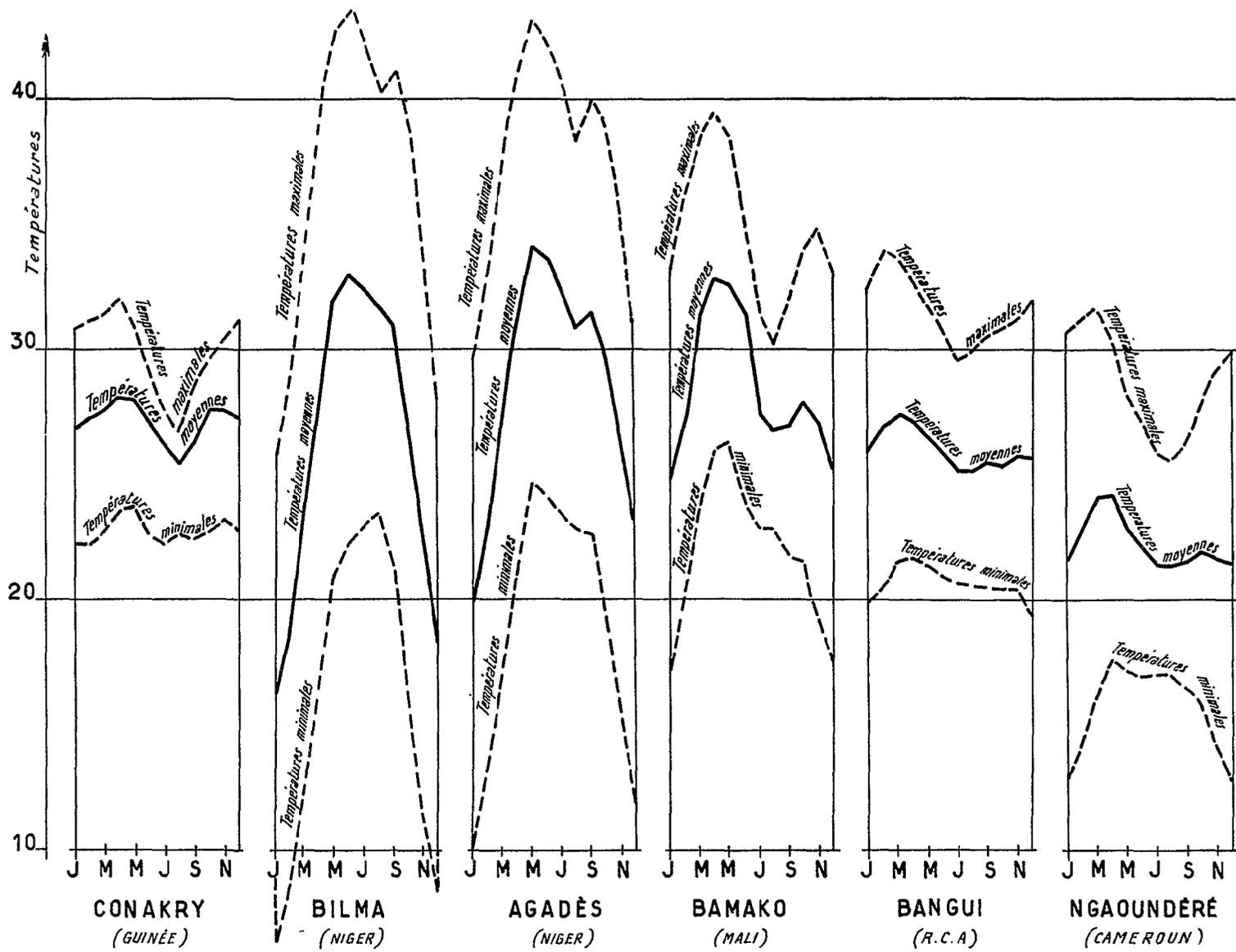
L'« hiver » est un peu plus court qu'au désert, les températures diurnes et surtout nocturnes sont nettement plus élevées que dans le régime désertique. Les écarts diurnes sont plus élevés par suite de l'augmentation des températures diurnes.

2° Ces tendances s'accroissent plus au Sud pour aboutir au climat tropical typique, tel qu'il peut être observé à Bamako, Ségou, Kayes ou Garoua (voir diagramme de Bamako). Les variations sont les suivantes :

Une période « fraîche », très courte, un mois à un mois et demi, à cheval sur décembre et janvier, avec très forts écarts diurnes.

Les températures diurnes sont voisines de 30° ; les températures nocturnes entre 15 et 17°, mais le minimum absolu peut descendre au-dessous de 10°. Puis, températures moyennes diurnes et nocturnes croissent rapidement, pour atteindre un maximum voisin de 40° en avril (en mai, pour les régions les plus septentrionales).

Puis, arrive la mousson ; les températures diurnes décroissent lentement en mai, puis rapidement en juin et juillet, pour atteindre un minimum de 30 à 35° en août, au moment des plus fortes précipitations. L'écart diurne baisse sensiblement (il est de 8 à 10°), l'humidité réduisant les déperditions nocturnes.



Ce rafraîchissement, combiné avec les fortes précipitations, explique le terme d'hivernage qui correspond à l'état boréal.

Les températures remontent nettement en octobre. En novembre, les températures nocturnes recommencent à baisser ; de novembre à décembre, la baisse est très sensible pour les températures diurnes et nocturnes.

Donc, on observe deux périodes de températures diurnes relativement faibles : l'une, courte, en hiver ; l'autre, plus prolongée, en été. Les températures nocturnes de décembre et janvier sont nettement plus faibles que celles de l'été. On observe un maximum diurne bien marqué en avril.

3° Plus au Sud, le rafraîchissement hivernal devient très court et est de moins en moins sensible. Le rafraîchissement estival dure plus longtemps, avec des températures diurnes un peu plus faibles que dans le régime tropical : 29° environ, et des écarts diurnes nettement plus faibles (7 à 10°) (voir diagramme de Bangui).

Le minimum de températures diurnes se produit toujours en août, mais ce minimum est nettement inférieur au minimum de décembre.

Le maximum diurne se produit juste avant la saison des pluies en mars.

Le diagramme des températures n'a pratiquement plus de point commun avec celui du désert.

Enfin, à l'extrême Sud du régime tropical et dans des régions très arrosées, on trouve un climat peu contrasté (voir diagramme de Conakry) :

- le maximum diurne a lieu en ..... avril,
- le minimum diurne a lieu en ..... janvier,
- l'écart diurne varie de ..... 9,6 en avril à 4,2 en août.

Ce climat monotone correspond au maintien presque permanent d'une très forte humidité.

Indépendamment de cette variation régulière, notons quelques climats particuliers.

Les régions voisines de la côte de Mauritanie bénéficient de l'influence de l'alizé boréal maritime. Le maximum de température se trouve décalé en septembre et, d'autre part, les températures diurnes sont, de façon générale, beaucoup plus faibles qu'à l'intérieur.

D'autre part, en altitude : Fouta-Djallon, Adamaoua, Hauts-Plateaux de l'Oubangui Occidental, les températures sont plus basses que dans la plaine, surtout les températures diurnes. On voit, sur le diagramme relatif à N'Gaoundéré (Adamaoua), que les variations sont à peu près les mêmes que celles observées en régime tropical de transition. Le décalage varie entre 5 et 7°.

En outre, il existe d'innombrables singularités locales dues à des expositions particulières, cuvettes rocheuses abritées des vents, zones marécageuses, crêtes ou plateaux très exposés, donnant lieu à des températures ou plus fortes ou plus faibles que celles des régions environnantes. Ces singularités étaient bien connues des anciens coloniaux qui installaient leurs habitations en conséquence.

La connaissance des variations de la température est très importante pour l'étude de l'évaporation.

### c) Degré hygrométrique :

Dans les grandes lignes, ses variations se produisent en sens inverse de celles des températures.

L'hiver, dans les régions septentrionales, donne lieu à des matinées humides, marquées parfois par de la brume ou même de la rosée ; mais, au milieu du jour, bien que la température ne soit pas excessive, l'humidité relative est faible. Il n'y a plus de matinées humides lorsque la saison sèche s'avance.

En saison des pluies, non seulement le matin, mais encore le milieu de la journée, sont marqués par de fortes humidités relatives qui deviennent vite très élevées pour les stations tropicales et tropicales de transition.

Entre ces périodes extrêmes, on trouve des périodes intermédiaires. Notons, en particulier, au printemps, entre saison sèche et saison des pluies, une période chaude et assez humide, très désagréable, qui s'observe en mai en régions tropicales et sahéliennes, en avril plus au Sud.

Dans les régions méridionales et à précipitations abondantes, telles que Conakry, les nuits sont toujours très humides, les journées également, sauf de mi-décembre à avril.

Les valeurs du pourcentage d'humidité relative sont les suivantes :

RÉGIME DÉSERTIQUE : Les moyennes matinales sont de :

- 35 à 40 % le matin, de décembre à février ;
- 40 à 50 % en juillet-août (« saison des pluies ») ;
- 20 à 30 % le reste du temps.

Les moyennes de midi varient peu : 8 à 20 %, légère augmentation en août.

RÉGIME SUBDÉSERTIQUE : La saison des pluies a une influence beaucoup plus nette :

- 70 à 80 % le matin
  - 35 à 50 % à midi
- } en juillet-août.

La période de décembre à février est marquée par :

- 35 à 45 % le matin,
- le milieu de la journée reste sec : 15 à 20 %.

Mai donne déjà lieu à :

- 40 à 45 % à 6 h,
- 20 à 25 % à 12 h.

RÉGIME SAHÉLIEN : Il présente des caractéristiques analogues, avec une plus grande humidité en saison des pluies :

- 65 à 75 % à 6 h
  - 45 à 55 % à 12 h
- } en saison des pluies.

La saison sèche correspond à :

- 30 à 50 % le matin,
- 15 à 20 % à midi.

RÉGIME TROPICAL : L'effet d'« hiver » de décembre et janvier est moins sensible en ce qui concerne l'humidité. Cependant, janvier présente encore 40 à 45 % d'humidité relative à 6 h.

En saison des pluies, on observe :

- 85 à 95 % à 6 h
  - 65 à 80 % à 12 h
- } de juin inclus à septembre inclus.

Octobre présente, respectivement, des coefficients de 90 % et 55 %.

En saison sèche, février et mars, l'humidité relative est de :

- 40 à 45 % le matin,
- 18 à 22 % l'après-midi.

RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION : Nous avons vu que l'« hiver » a à peu près disparu, alors que la saison des pluies s'allonge :

- 95 % environ à 6 h
  - 75 à 90 % à 12 h
- } de juin inclus à novembre inclus.

En saison sèche, l'humidité relative est de l'ordre de :

- 70 à 80 % à 6 h,
- 25 à 35 % à midi.

A CONAKRY enfin : L'humidité relative reste comprise :

- entre 85 et 98 % à 6 h toute l'année,
- entre 75 et 80 % à 12 h de juin à décembre.

La saison « sèche » est marquée par des valeurs de :

- 55 à 70 % de décembre à mai.

Encore doit-on noter une certaine influence de l'alizé boréal maritime à cette époque.

#### **d) Evaporation :**

L'indication la plus intéressante pour ce facteur climatologique est celle des bacs Colorado qui représentent bien les phénomènes d'évaporation à la surface de l'eau, assez bien les mêmes phénomènes sur un sol saturé et beaucoup moins bien sur les feuillages pour lesquels l'évaporomètre Piche serait peut-être plus approprié.

Chaque fois que, dans ces régions, il s'agit de relevés de bacs évaporatoires, deux questions se posent :

- 1° Quel est le type de bac utilisé ?
- 2° Quelles sont les caractéristiques du site où le bac a été implanté, en particulier la nature de son microclimat ?

En effet, au Nord de l'isohyète 1 200 mm, les résultats obtenus en saison sèche et, par suite, l'écart entre les indications recueillies et l'évaporation sur grande nappe d'eau, varient largement suivant le type de bac et son implantation : en zone sahélienne, par exemple, un bac, situé sur une hauteur bien exposée au vent, donnera des résultats de 30 à 50 % plus élevés que ceux obtenus avec le même bac implanté au voisinage immédiat d'une grande nappe d'eau.

Le type de bac idéal, à ce point de vue, serait le bac flottant qui, parfaitement aménagé, donnerait des écarts inférieurs à 10 % avec l'évaporation sur nappe d'eau libre. Malheureusement, l'observation d'un bac flottant pose des problèmes difficiles et il ne pourrait être question de réaliser un réseau d'observations avec un tel appareil. On ne peut qu'en installer quelques-uns dans des sites privilégiés.

A l'opposé, le bac de classe A, posé sur un caillebotis, est facile à installer et à exploiter.

Malheureusement, pendant les périodes les plus chaudes, l'écart entre les données du bac de classe A et l'évaporation sur nappe de surface infinie devient nettement plus élevé dans les régions sahéliennes et subdésertiques que l'écart entre bac enterré et nappe d'eau de surface infinie, et, comme cet écart est mal connu, il y a intérêt à le réduire au minimum. En outre, pendant longtemps, les petits ateliers de mécanique de ces régions ne pouvaient pas toujours construire des bacs ronds : c'est pourquoi les réseaux de l'ex-A.O.F. et de l'ex-A.E.F. ont été constitués à l'origine de bacs « Colorado enterrés », de 1 m × 1 m de section et de 0,60 m de profondeur. On a installé depuis 1961 quelques bacs de classe A pour pouvoir traduire, en résultats « classe A », les résultats « Colorado enterrés ».

Dans toute la mesure du possible, ces bacs ont été installés au voisinage d'une nappe d'eau, sauf pour une partie des sites subdésertiques et sahéliens pour lesquels cette condition était irréalisable.

Le tableau ci-après précise les évaporations annuelles sur bac enterré pour les régions tropicales.

Nous avons rapporté les résultats obtenus, non à la latitude, mais à la hauteur pluviométrique moyenne annuelle, qui caractérise mieux le climat, tout au moins dans l'Afrique Noire, à l'Ouest du Congo (ce serait absolument faux en régions méditerranéennes).

HAUTEUR PRÉCIPITATION ANNUELLE en mm	EVAPORATION ANNUELLE	
	sur bac enterré loin de tout bas-fond humide en m	sur bac enterré dans le lit majeur de grand fleuve en m
100	4 (1) (2)	
300	3,30-3,40 (1)	2,80
600		2,50
1 000	2,70-2,80	2,30
1 200-1 400	2,40-1,90	1,80
1 400-1 800	1,90-1,70	1,60
2 000	1,50-1,60	1,20

- (1) Prendre des valeurs plus élevées pour les sites particulièrement exposés au vent.  
(2) D'après les relevés de Fada et d'Iférouane.

Les mesures en régions désertiques et subdésertiques sont rares. Assurer l'alimentation régulière en eau d'un ou plusieurs bacs, consommant chacun 15 à 20 litres d'eau par jour, pose des problèmes que les météorologues de ces régions préfèrent ne pas avoir à résoudre.

Pour passer de l'évaporation sur bac enterré à l'évaporation sur nappe d'eau libre, nous disposons de deux données, correspondant presque aux deux limites extrêmes des régimes tropicaux.

1° Sur le Lac Tchad (isohyète 300 mm), le rapport entre évaporation sur nappe d'eau infinie et évaporation sur bac enterré au voisinage du lac est égal à 0,90. Le même rapport, pour bac soustrait au microclimat du lac, est égal à 0,66.

2° A l'opposé, en régime équatorial à très fortes précipitations, l'évaporation annuelle est inférieure à 1 m, quelle que soit la constitution ou l'implantation du bac ; le rapport est assez voisin de 1.

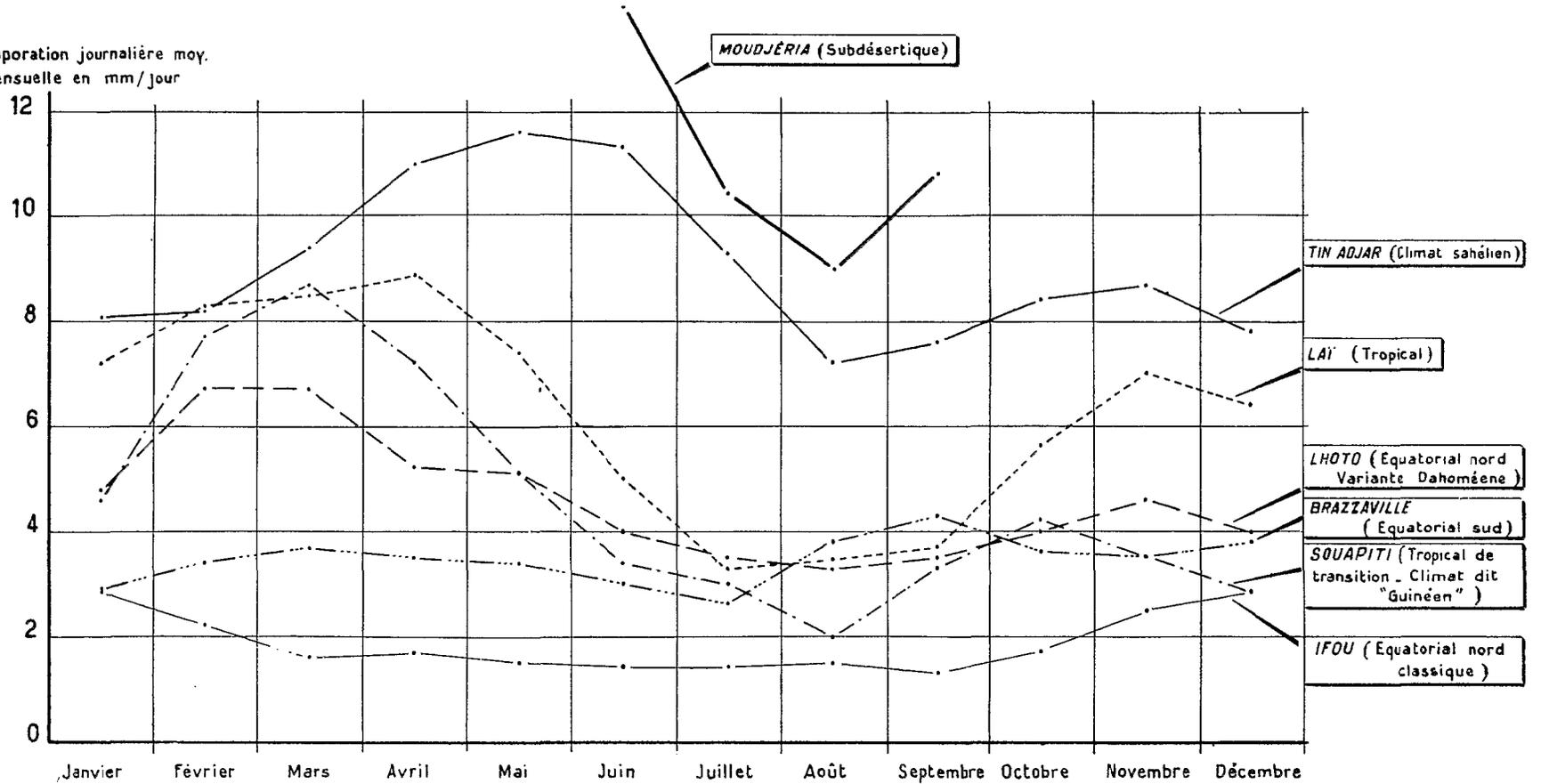
Il a donc été possible d'établir le tableau des rapports entre bac enterré et nappe d'eau de surface infinie. On doit, d'ailleurs, considérer les valeurs ci-dessous comme des ordres de grandeur. Entre l'isohyète 300 et le climat équatorial, nous avons quelques points de repère, mais ils sont loin d'avoir la valeur des données du Lac Tchad, et ils sont en nombre tout à fait insuffisant pour que l'on puisse admettre que ces résultats soient précis et définitifs.

PRÉCIPITATION ANNUELLE en mm	COEFFICIENT DE RÉDUCTION BAC LOIN DE MICROCLIMAT HUMIDE	COEFFICIENT DE RÉDUCTION BAC DANS MICROCLIMAT ASSEZ HUMIDE
200- 400	0,60-0,70	0,80-0,85
400- 800	0,70-0,80	
800-1 200	0,75-0,85	
1 200-2 000	0,80-0,90	0,90-0,95

Les variations saisonnières de l'évaporation sont commandées, dans le régime tropical, par l'humidité relative, la température, la vitesse du vent et l'insolation. Dans les régions où les vents prolongés sont appréciables, la période où leur vitesse est élevée correspond à la période où le degré hygrométrique est bas. Contrairement à certains régimes de l'hémisphère austral, la nébulosité n'est forte qu'en

VARIATIONS DE L'ÉVAPORATION JOURNALIÈRE MOYENNE MENSUELLE SUR BAC  
 AU COURS DE L'ANNÉE POUR DIFFÉRENTS TYPES DE CLIMATS D'AFRIQUE NOIRE

Évaporation journalière moy.  
 mensuelle en mm/jour



saison des pluies, alors que la température est relativement faible. On peut donc, pour le régime tropical et en première approximation, lier uniquement l'évaporation à la température et à l'humidité relative. C'est ce que l'on peut voir sur le tableau ci-après, montrant, dans dix cas classiques, les variations saisonnières de l'évaporation.

Les variations du Nord au Sud, pour un mois donné, sont irrégulières, car, indépendamment de microclimats locaux, les données ci-après correspondent à des périodes trop courtes pour que les moyennes puissent être établies avec précision.

On constate que l'effet d' « hiver » est sensible au Nord, alors qu'au contraire, l'effet de la saison des pluies est plutôt faible. Le minimum de l'évaporation se produit presque toujours en saison des pluies. Notons que, au Sud de l'isohyète 300 mm, l'évaporation mensuelle varie très peu du Nord au Sud, dès que la saison des pluies est installée.

EVAPORATION COLORADO A QUELQUES STATIONS

*Moyennes mensuelles en mm*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Iférouane + P = 50 mm	6,4	7,7	10	14	15	13	13	13	12,8	10	8	7
Fada + P = 100 mm	10,1	10,8	12,5	10,6			12,2	8,8	10,6	11,2	11,5	11,1
Tin Adjar + P = 300 mm	7,7	7,6	8,3	9,8	10,4	11,3	9,2	6,5	7,6	9,3	8,7	7,8
Bol (île) — P = 310 mm	9,1	10,0	12,3	11,8	10,1	8,7	7,0	6,0	6,5	9,6	9,5	8,4
Bol (île) — P = 310 mm	6,3	7,4	8,9	9,0	7,5	8,4	7,6	4,8	5,3	7,2	7,3	6,2
Maroua + — P = 850 mm	6,8	7,4	9,4	10,1	9,1	6,1	4,4	2,8	3,4	6,2	5,7	7,4
Laï — P = 1 080 mm	7,2	8,3	8,5	8,9	7,4	5,0	3,3	3,5	3,7	5,6	7	6,4
Ferkéssédougou + P = 1 340	5,8	7,3	7,7	7,8	5,9	5,7	5,0	3,7	3,5	4,5	4,7	5,0
Djougou + P = 1 370 mm	6,2	7,6	7,9	7,0	5,1	4,4	3,8	2,7	3,0	4,1	4,8	5,2
Souapiti — P = 2 500 mm	3,7	5,6	6,2	5,1	3,6	2,9	2,3	1,9	2,0	2,8	3,0	3,0

+ : microclimat sec.

— : microclimat humide.

Les évaporations journalières varient beaucoup d'un jour à l'autre, suivant les variations de la température, du vent et de la nébulosité. C'est, d'ailleurs, ce qui rendait décevantes les premières tentatives d'études d'évaporation.

Signalons deux points concernant les régimes tropicaux :

1° L'évaporation, telle qu'elle est mesurée à l'appareil Piche, n'est pas en rapport constant avec l'évaporation sur nappe d'eau libre ou sur bac Colorado enterré. Le rapport des évaporations sur bac enterré et à l'évaporomètre Piche varie de 0,5 à la saison sèche à 1,3 à la saison des pluies.

2° Nous utilisons parfois, pour les régions comprises entre les isohyètes 300 et 1.300 mm, la formule empirique suivante, tirée de la loi de Dalton :

$$E = 0,33 (F - f).$$

E = évaporation journalière en mm,

F = tension de vapeur saturante correspondant à la température de l'air,

f = tension de vapeur de l'air ambiant.

F et f sont mesurées en millibars.

Il y a différentes méthodes pour tenir compte des variations journalières de F et f, mais il est inutile de chercher des procédés trop complexes qui n'apporteraient qu'une précision illusoire. Il faut cependant tenir compte des valeurs de F à 6 h et à 12 h.

Il n'y a aucune raison *a priori* pour que cette formule soit valable pour d'autres régions climatiques avec le même coefficient puisqu'elle ne tient pas compte de tous les facteurs de l'évaporation.

Si l'on veut tenir compte du vent, on peut utiliser la formule suivante qui a donné de bons résultats, toujours dans les mêmes régions :

$$E = 0,358 (1 + 0,58 V) D.$$

E = évaporation journalière en mm,

V = en mètres/seconde,

D = F — f en millibars.

### C) CARACTERISTIQUES DU CLIMAT EQUATORIAL.

En principe, toute zone située au Sud de la position moyenne la plus méridionale du front inter-tropical est sous l'influence du climat équatorial (1). Au point de vue pratique, un tel climat est caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons des pluies bien distinctes. La transition est, d'ailleurs, insensible entre régime tropical et régime équatorial :

En descendant vers le Sud, la saison des pluies du régime tropical s'allonge, marquant parfois un léger fléchissement en juillet-août (régime tropical de transition) ; puis le dédoublement apparaît nettement (régime équatorial de transition) et, vers l'équateur thermique, les deux saisons des pluies et les deux saisons sèches arrivent à être sensiblement symétriques, tout au moins en année moyenne. C'est ce que l'on pourrait appeler le régime équatorial pur.

Le climat suit donc *une variation régulière* du Nord au Sud, qui est marquée surtout par l'importance relative des saisons sèches.

Au Nord de l'Equateur, la grande saison sèche se produit de décembre inclus à février inclus ; la saison des pluies qui lui succède en Afrique Occidentale est plus importante que la seconde saison des pluies ; c'est le contraire au Cameroun.

Au Sud de l'Equateur, la grande saison sèche a lieu d'août à octobre inclus ; la saison des pluies d'avril à juin est celle qui donne lieu aux plus fortes précipitations.

---

(1) Il s'agit de la position moyenne de janvier. Nous ne tenons pas compte des incursions accidentelles de l'harmattan dans les régions septentrionales de la zone équatoriale, incursions qui durent quelques jours en général, deux semaines au maximum.

La zone de régime équatorial pur est étroite : elle est légèrement déportée vers le Nord par rapport à l'Équateur géographique ; elle correspond à la moitié Nord du Gabon et au Nord des Plateaux Batékés.

De nombreuses variations se superposent à cette variation de base, suivant la longitude. Elles sont dues à des influences maritimes ou continentales, à des expositions particulières, à des singularités locales.

Les variations de la hauteur des précipitations annuelles donnent une idée de cette diversité. Les valeurs extrêmes sont de 6 000 mm à Manoka et de 750 mm à Lomé.

Le schéma de répartition des précipitations au cours de l'année est nettement plus complexe que celui du régime tropical.

Nous distinguerons deux ensembles d'importance très inégale :

- a) la Basse Côte d'Ivoire et la zone côtière du Togo et du Dahomey ;
- b) le Sud du Cameroun, le Gabon et le Moyen-Congo.

## A) BASSE CÔTE D'IVOIRE, CÔTES DU TOGO ET DU DAHOMEY.

### 1° *Précipitations annuelles*

EN CÔTE D'IVOIRE, la limite du climat équatorial est sensiblement le 9° parallèle.

Les courbes isohyètes dessinent une série de V parallèles dont les pointes seraient dirigées vers la mer, en direction d'un point situé légèrement à l'Ouest d'Abidjan.

Au centre, les précipitations sont faibles, la hauteur d'eau annuelle croissant de 1 100-1 200 mm dans l'intérieur à 1 500 mm sur la côte.

A l'Ouest, les branches du V sont très redressées sur les parallèles. C'est ainsi que l'isohyète 1 900 mm remonte jusqu'à Toulépleu. Les précipitations, au Sud de cette isohyète 1 900, augmentent assez rapidement vers le Sud pour atteindre au maximum 2 300 mm à l'extrémité Ouest du littoral de Côte d'Ivoire.

A l'Est, au contraire, les isohyètes sont assez peu inclinées sur les parallèles, de sorte que si l'on se déplace de l'Ouest vers l'Est, en partant d'Abidjan, on verra les précipitations croître beaucoup plus lentement que vers l'Ouest. La hauteur pluviométrique annuelle atteint 1 800 mm vers Aboisso et 2 000 mm à la frontière du Ghana.

Il convient d'insister sur les répercussions des faibles précipitations annuelles du centre de la Côte d'Ivoire sur l'écoulement. Une hauteur annuelle de précipitations de 1 100 mm conduit, en régime équatorial, à un volume d'écoulement beaucoup plus faible qu'en régime tropical. La végétation absorbe davantage ; en outre, les pluies sont réparties sur six mois séparés en deux périodes au lieu de trois mois en régime tropical. Si le terrain est perméable, il est rare que la saturation soit atteinte. Si l'année est déficitaire, l'écoulement sera nul. Ce fait a bien été mis en évidence sur le bassin expérimental de l'Ifou : en 1957, la saturation était presque atteinte à la fin de la première saison des pluies. A ce moment, l'arrêt des précipitations a ramené le sol dans l'état où il se trouvait au mois d'avril, de sorte que la majeure partie des précipitations de la seconde saison des pluies a été utilisée pour saturer à nouveau le terrain, alors qu'en régime tropical, la 2° série d'averses survenant immédiatement après la première aurait ruisselé en grande partie.

Si une telle répartition des averses est peu propice au ruissellement, elle est, par contre, favorable à l'entretien de la végétation. De nombreux végétaux, que l'on rencontre en régime équatorial sous l'isohyète 1 100, ne peuvent subsister, en régime tropical, qu'avec des hauteurs de précipitations annuelles bien supérieures.

AU TOGO ET AU DAHOMEY, nous rencontrons une anomalie bien connue : les précipitations décroissent du Nord au Sud, le point le plus sec étant la ville de Lomé : 750 mm. La faiblesse de ces précipitations est due probablement à l'exposition de la côte, relativement protégée des vents d'Ouest. Mais, notons, et nous reviendrons plus loin là-dessus, que déjà la région Nord-Est de Côte d'Ivoire est défavorisée au point de vue des précipitations. Les mêmes déductions sur le régime hydrologique que celles que nous venons de faire pour la Côte d'Ivoire sont valables.

Les isohyètes dessinent également un V dont la pointe est tournée vers l'intérieur. Le régime équatorial ne s'observe que sur la bande côtière assez étroite ; à partir de Lomé, les précipitations annuelles augmentent vers l'Est pour atteindre 1 300 mm à la frontière du Nigeria et vers le Nord-Ouest pour atteindre 1 500 mm dans les Monts Togo.

## 2° Variations saisonnières

### Côte d'Ivoire :

Si nous considérons une station située à mi-chemin de la côte et du 9° parallèle, nous observerons les variations saisonnières suivantes :

La grande saison sèche dure deux mois et demi à trois mois (décembre-février). Elle comporte quelques petites pluies.

La première saison des pluies, qui se produit en mai et juin, après une période de transition, est la plus forte. Les précipitations mensuelles sont à peu près équivalentes à celles du Mali : 150 à 250 mm par mois.

La petite saison sèche, en juillet-août, ou août-septembre suivant les années, présente des hauteurs de précipitations mensuelles de 70 à 80 mm en moyenne.

La seconde saison des pluies en octobre-novembre est plus courte que la première, les hauteurs d'eau mensuelles restant sensiblement les mêmes.

Ce schéma se modifie légèrement suivant la latitude. Vers le 9° parallèle, la petite saison sèche n'est, en année moyenne, qu'un simple fléchissement des précipitations. En descendant vers la côte, au contraire, elle s'accroît et s'allonge ; elle dure deux mois et demi avec des précipitations moyennes de 35 à 40 mm par mois. La grande saison sèche, au contraire, est à la fois moins longue et moins sévère. Les précipitations mensuelles de la première saison des pluies (mai-juin) peuvent dépasser 300 mm.

### Togo et Dahomey :

Les variations saisonnières sont très bien marquées. La grande saison sèche dure quatre mois (décembre à mars), comportant quelques petites averses ; elle est nettement moins sévère qu'au Mali, mais nettement plus qu'en Côte d'Ivoire.

La petite saison sèche est également plus nette. On observe, par exemple, 10 mm en général, au mois d'août.

## 3° Précipitations journalières, précipitations exceptionnelles

Il s'agit très souvent de pluies de mousson, moins intenses mais plus prolongées que les tornades proprement dites.

Les précipitations de fréquence 50 %, 30 % et 10 % sont les suivantes :

PAYS	PRÉCIPITATIONS ANNUELLES	FRÉQUENCE 50 %	FRÉQUENCE 30 %	FRÉQUENCE 10 %
Côte d'Ivoire . . . . .	1 800 à 2 100 mm	6 à 16 mm	15 à 27 mm	32 à 44 mm
Côte d'Ivoire . . . . . Togo-Dahomey . . . . .	1 200 à 1 500 mm	4,5 à 11,5 mm	9,5 à 21 mm	26 à 39 mm
Togo-Dahomey . . . . .	1 000 à 1 200 mm	6 à 9 mm	18 à 22 mm	40 à 43 mm
Togo-Dahomey . . . . .	750 à 1 000 mm	5 à 9 mm	12 à 16 mm	28 à 31 mm

Comme pour les régions tropicales, on constate que les précipitations de fréquence 10 % varient assez peu malgré de fortes variations de la hauteur de précipitations annuelles. La dispersion est un peu plus grande.

Les maximums décennaux sont de l'ordre de 150 à 180 mm/24 h à l'intérieur et de 200 à 300 mm sur la côte.

Pour préciser davantage, disons que l'une des averses les plus fortes observées récemment, celle du 28 mai 1954 à Abidjan : 224 mm en 24 h (189 mm en 5 h), est assez forte mais n'est pas de fréquence beaucoup plus faible que la fréquence décennale.

#### **4° Irrégularité interannuelle**

Elle est d'autant plus forte que les précipitations annuelles sont plus faibles : 1,6 à 1,7 à Abidjan, 2 environ à Cotonou.

#### **5° Températures et autres caractéristiques climatologiques**

L'amplitude des variations est plus faible que dans le régime tropical, les températures les plus élevées étant observées en fin de saison sèche, les plus basses en saison des pluies.

La température nocturne est à peu près constante toute l'année : vers 22°.

La température maximale diurne est maximale en avril : 33°, et minimale en août : 28°.

La petite saison sèche est sans grande influence.

L'humidité relative varie, au cours de la saison sèche, de 95 % le matin à 60 % dans l'après-midi, et de 95 % le matin à 70-75 % en saison des pluies.

Bien entendu, les humidités relatives citées pour la saison sèche doivent subir une légère réduction pour l'intérieur de la Côte d'Ivoire ou la côte du Togo.

L'évaporation annuelle sur bac Colorado enterré varie entre 1 m et 1,20 m en Basse Côte d'Ivoire. Au bassin expérimental de l'Ifou, sous un couvert forestier très léger, on a trouvé 0,60 m.

L'évaporation sur nappe d'eau libre est très voisine de l'évaporation Colorado.

Plus au Nord, elle est nettement plus forte : à Kotobi, par exemple, vers la limite Nord du régime équatorial, le bac Colorado enterré indique 1.400 mm par an. Mais à Man, où joue l'influence d'une forte pluviométrie annuelle, l'évaporation Colorado redescend à 1 080 mm.

A l'intérieur du Dahomey, elle est assez forte également : 1 700 mm environ vers Dassa-Zoumé pour redescendre sur la côte, tout en restant à une valeur nettement plus élevée qu'en Basse Côte d'Ivoire.

Les variations saisonnières sont faibles, surtout en Côte d'Ivoire, où l'on note un maximum assez net en mars : 4 à 5 mm par jour. Le minimum, voisin de 2 mm, est en août.

### **B) SUD-CAMEROUN, GABON ET MOYEN-CONGO.**

#### **1° Hauteurs de précipitations annuelles**

La ligne sur laquelle s'observe le fléchissement estival des précipitations est plus méridionale qu'en Afrique Occidentale. Elle correspond à 5-6° à l'Ouest du Cameroun et à 4° à Bangui au lieu de 7-8° au Dahomey.

Le tracé des isohyètes est assez complexe.

Au Nord de l'Equateur, au Cameroun et au Gabon, elles sont vaguement parallèles à la côte sur laquelle il tombe 2 500 à 3 500 mm/an avec quelques singularités locales : à Douala, Manoka et sur le Mont-Cameroun (4 000 à 6 000 mm). En progressant vers l'intérieur, les précipitations diminuent rapidement : 1 800 mm à 200 km de la côte, 1 600-1 700 mm vers l'Oubangui. A la limite Nord du régime équatorial, on rencontre souvent des régions nettement plus sèches : 1 400 à 1 500 mm, à Yaoundé par exemple.

Au Sud de l'Equateur, les pluviomètres sont assez rares ; les isohyètes, difficiles à tracer, suivent très vaguement la direction Est-Ouest.

Les précipitations semblent croître légèrement vers le Sud, jusque vers le 2° parallèle Sud où elles atteignent 2 200 mm/an, puis décroissent assez rapidement jusqu'à 1 100 mm/an au Sud de Pointe-Noire. Mais de nombreuses perturbations sont apportées par le relief : on relève 1 400 mm dans le Massif du Mayombé, alors que la côte ne reçoit que 1 100-1 200 mm. Bien entendu, ces massifs donnent lieu à des effets d'écran : par exemple, dans la basse vallée du Niari, derrière le Mayombé, certains points reçoivent moins de 1 100 mm/an. Les précipitations semblent relativement faibles dans les régions situées dans l'hémisphère austral.

## 2° Variations saisonnières

On peut distinguer trois ensembles :

### a) Zones situées au Nord de l'Equateur :

La station type serait Yaoundé, bien que sa situation soit un peu trop septentrionale.

La grande saison sèche dure trois mois, de décembre à février, avec précipitations mensuelles de 20 à 60 mm. Cette saison est un peu moins sévère qu'en Côte d'Ivoire.

Les deux saisons des pluies sont à peu près équivalentes, mais la première saison, en mai et juin, est un peu plus faible.

La petite saison sèche dure d'un à deux mois (juillet-août), précipitations mensuelles : 20 à 70 mm.

La grande saison des pluies a lieu en octobre et novembre : précipitations comparables à celles de Côte d'Ivoire.

Vers Douala et, en général, sur la côte du Cameroun et la côte Est du Nigeria, la petite saison sèche disparaît, la grande saison sèche est peu marquée. Les mois de saison des pluies reçoivent 600 à 700 mm.

### b) Sous l'Equateur :

En fait, la ligne de symétrie pour les précipitations diffère de l'Equateur ; c'est une ligne oblique qui, partant de la frontière Sud du Cameroun, passe au Sud de Ouesso avec une direction sensiblement parallèle à la direction générale des isohyètes.

Sur la côte, les petites saisons sèches disparaissent pratiquement.

A l'intérieur, les deux saisons sèches sont à peu près équivalentes en durée et en aridité (toute relative).

Par exemple, à la frontière Nord du Gabon, deux saisons sèches :

— Décembre-janvier-février .....	60 à 80 mm/mois
— Juillet-août .....	40 à 60 mm/mois

Deux saisons des pluies à peu près équivalentes :

— Mars-avril-mai-juin .....	} 250 à 450 mm/mois
— Septembre-octobre-novembre .....	

### c) Au Sud de l'Equateur :

Il y a inversion des saisons :

A Brazzaville, par exemple, la grande saison sèche a lieu en juin-juillet-août-septembre, parfois octobre ; elle est très bien marquée, beaucoup plus qu'en Basse Côte d'Ivoire. Précipitations mensuelles voisines de 0. Par contre, on observe assez fréquemment des brumes dans les vallées.

La petite saison sèche de janvier à février présente 50 à 80 mm/mois.

Il y a également inversion des saisons des pluies. La grande saison des pluies a lieu en avril-mai : 150 à 250 mm/mois, davantage sur la côte : 450 à 500 mm/mois.

La petite saison des pluies se produit en octobre-novembre-décembre.

### 3° Précipitations journalières et exceptionnelles

Les précipitations de fréquence 50 %, 30 %, 10 % sont les suivantes :

PAYS	PRÉCIPITATIONS ANNUELLES	FRÉQUENCE 50 %	FRÉQUENCE 30 %	FRÉQUENCE 10 %
Cameroun .....	< 2 100 mm	6 à 8,5 mm	12 à 18 mm	27 à 37 mm
Oubangui .....	> 1 500 mm	6,5 à 15 mm	14 à 25 mm	31 à 40 mm
Gabon .....	1 600 à 2 400 mm	7 à 16 mm	17 à 25 mm	40 à 48 mm
Moyen-Congo équatorial .....	1 600 à 1 900 mm	7,5 à 8,5 mm	14 à 15 mm	35 à 40 mm
Moyen-Congo austral .....	1 000 à 2 000 mm	6 à 10 mm	14 à 19 mm	30 à 41 mm

Au Cameroun et au Gabon, il s'agit de pluies de mousson ; dans le Sud du Moyen-Congo, on retrouve les trois catégories de précipitations qui ont été citées pour le régime tropical.

Aucune étude systématique d'ensemble des averses exceptionnelles n'a été faite.

L'analyse des précipitations journalières dans le bassin du Kouilou et au voisinage a montré que l'averse de fréquence décennale était de 130 mm, l'averse de fréquence cinquantenaire de 160 mm.

Il n'a pas été décelé de variation systématique du Nord au Sud de ce bassin. Par contre, on retrouve de nombreuses irrégularités locales. Par exemple, il semble que Mvouti enregistre des averses anormalement fortes alors que Dolisie, au contraire, soit relativement abritée (Hâtons-nous d'ajouter qu'il n'y a absolument rien à reprocher à l'implantation du pluviomètre).

Les précipitations décennales sont plus élevées sur la côte comme dans l'ex-A.O.F. Il semble, par exemple, qu'au Moyen-Congo, elles soient de l'ordre de 200 mm. Ce fait, qui semble général, est d'autant plus frappant que la côte est beaucoup moins arrosée que l'intérieur. Pointe-Noire n'échappe pas à cette règle.

### 4° Irrégularité interannuelle

Elle est assez faible, surtout au Cameroun :

- Douala ..... 1,4-1,5.
- Bangui, Brazzaville et Yaoundé ..... 1,6.

### 5° Températures et autres facteurs climatologiques

Considérons les résultats de la station de météo de Brazzaville qui correspond à un climat un peu moins régulier que le climat moyen de la zone équatoriale.

Le minimum de température nocturne se produit en saison sèche ; il est faible : 16 à 17°. Le maximum de température diurne ne se produit pas en saison sèche, mais en saison des pluies : 31°5 en mars-avril.

La saison sèche semble bien correspondre à un véritable hiver, comme nous l'avons vu dans le climat sahélien. Cette singularité, que nous retrouverons à Madagascar, donne lieu à des variations de l'évaporation nettement différentes de ce que l'on observe à même latitude dans l'hémisphère Nord.

Les écarts diurnes et saisonniers sont d'autant plus faibles que l'on se rapproche de l'Equateur et de la côte. A Douala, par exemple, les températures moyennes extrêmes sont très rapprochées : 22°2 et 31°2. Vers Yaoundé, les écarts sont beaucoup plus importants ; la saison sèche donne lieu au maximum diurne : 29°6 en février. L'effet d'hiver est pratiquement inexistant. Le minimum diurne a lieu en août : 18°5. L'écart entre maximum et minimum diurne est minimal en juillet : 7°1.

Nombreuses singularités locales, surtout avec l'altitude.

L'humidité relative, toujours très forte sur la côte et au Gabon, est plus faible à l'intérieur, surtout aux limites Nord et Sud où les écarts sont plus grands qu'en Basse Côte d'Ivoire.

L'évaporation annuelle est mal connue : elle varie probablement de 0,80 m dans les zones les plus arrosées du Gabon à 1,50 m environ à Brazzaville ou Yaoundé.

Le rapport entre évaporation sur bac Colorado enterré et évaporation sur nappe d'eau libre semble être assez voisin de l'unité.

Les variations saisonnières de l'évaporation sont très intéressantes au Sud de l'Equateur. On pourrait s'attendre à ce que, comme en Côte d'Ivoire, le maximum se produise en saison sèche. Il n'en est rien, par suite probablement de la forte nébulosité qui caractérise cette saison. Le maximum se produit, au contraire, pendant la première saison des pluies. Les évaporations mensuelles sur le site de réservoir du Kouilou sont les suivantes (il s'agit d'observations sur bac Colorado) :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3,4	2,5	3,8	4,0	3,6	2,4	2,6	3,4	3,7	4,7	4,0	2,9

correspondant à un total annuel de 1.250 mm, soit environ 1 100 mm sur une retenue de très grande superficie.

## RÉGIMES HYDROLOGIQUES

Au premier abord, il semble qu'il n'y ait rien de commun entre les régimes extrêmes de l'Afrique Noire : entre celui d'un oued de la région de Kidal, dont l'écoulement torrentiel ne dure que quelques heures par an, et celui d'une petite rivière de la Basse Guinée à écoulement permanent et à fortes crues, ou celui d'un cours d'eau des Plateaux Batékés à débit presque constant toute l'année.

Cependant, tous les régimes d'Afrique Noire présentent un certain nombre de traits communs qui contribuent à leur donner une réelle unité. Ils doivent ces ressemblances à l'ensemble des phénomènes que l'on désigne communément par « la mousson » et, à un moindre degré, aux caractères physiques généraux du continent africain : surtout la rareté de massifs montagneux jeunes et l'imperméabilité fréquente du sous-sol.

C'est en premier lieu une succession de périodes de hautes eaux et de basses eaux bien marquées se répétant toujours aux mêmes époques, à quinze jours près au maximum.

Ces périodes de crues se produisent en plein été dans les régimes à une seule période de hautes eaux ou encadrent le milieu de l'été pour les régimes à deux saisons des pluies (été boréal dans l'hémisphère Nord, été austral dans l'hémisphère Sud).

Le schéma général de répartition saisonnière des périodes de hautes eaux se déforme progressivement du désert à l'Equateur.

La période des crues, très courte au Nord : un mois à un mois et demi, augmente de durée vers le Sud pendant qu'inversement, la période à débit nul diminue progressivement et que l'écoulement devient permanent. Plus au Sud, la période de hautes eaux présente un palier, puis un creux qui s'accroît et qui devient une période d'étiage analogue à la période d'étiage principale, sous l'Equateur. Dans les régions australes, la période d'étiage secondaire continue à s'accroître et devient période d'étiage principale diminuant en durée et en sévérité.

Nous arrivons alors aux limites Sud de l'Afrique Noire d'Expression Française. Il serait fort intéressant de continuer vers le Sud ; on verrait, en particulier, que la symétrie est loin d'être parfaite de part et d'autre de l'Equateur. Mais ce n'est pas l'objet du présent ouvrage.

Un autre caractère commun, lié également à la mousson, est la valeur relativement faible de l'irrégularité interannuelle. Cette heureuse circonstance facilite les études en réduisant la durée des périodes d'observations minimales.

Enfin, le relief peu accentué en général et le caractère particulier des grains de la mousson conduisent, pour les grands bassins versants, à des maximums annuels et, surtout, à des crues exceptionnelles de valeur modérée :

- moins de 100 l/s.km<sup>2</sup> pour les crues annuelles ;
- moins de 150 l/s.km<sup>2</sup> pour des bassins versants de plus de 4 à 5 000 km<sup>2</sup>, pour les crues au moins décennales. Encore doit-on ajouter que si on élimine les régions présentant un relief assez marqué, peu fréquentes dans cette région de l'Afrique, il faudrait adopter 100 l/s.km<sup>2</sup>

au lieu de 150 l/s.km<sup>2</sup> pour les crues décennales et 80 l/s.km<sup>2</sup> pour les crues annuelles. Les régions à relief très accentué peuvent présenter des crues décennales de 200 à 400 l/s.km<sup>2</sup>, toujours pour plus de 5 000 km<sup>2</sup>.

(Les petits bassins, comme nous le verrons par la suite, sont moins modérés dans leurs débordements).

Ce sont surtout ces deux dernières particularités qui ont donné aux cours d'eau d'Afrique Noire leur réputation de régularité : réputation qui est méritée certes, mais qu'il ne conviendrait pas d'exagérer outre mesure.

Pour tenir compte de la transformation progressive du Nord au Sud du schéma de répartition annuelle des hautes et des basses eaux, nous rangeons ces régimes en deux grandes classes analogues aux classes de climats :

- les régimes tropicaux,
- les régimes équatoriaux.

Si nous nous reportons au sens étymologique, ces deux termes, surtout le premier, n'ont pas une signification bien nette. En fait, le régime tropical devrait correspondre à la latitude 23°5, donc au régime désertique. Les climatologues tendent à ne plus les utiliser pour cette raison. Cependant, ils sont employés depuis fort longtemps et compris de tout le monde avec, à peu près, les limites territoriales que nous leur avons données. C'est pourquoi nous avons, en définitive, conservé ces désignations.





Tornade au Nord d'Agadès

LEFÈVRE



Une rue de Fort-Lamy  
après l'averse exceptionnelle du 12 août 1950

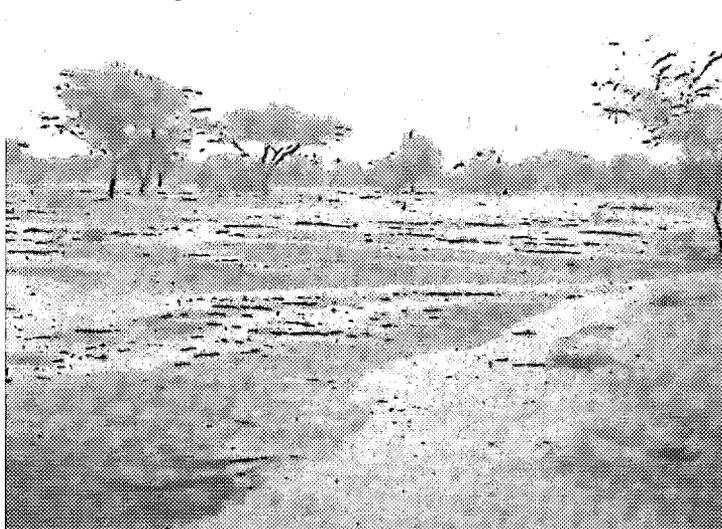
RODIER

PLANCHE II



LEFÈVRE

Ruissellement sur le reg  
au Nord d'Agadès



LEFÈVRE

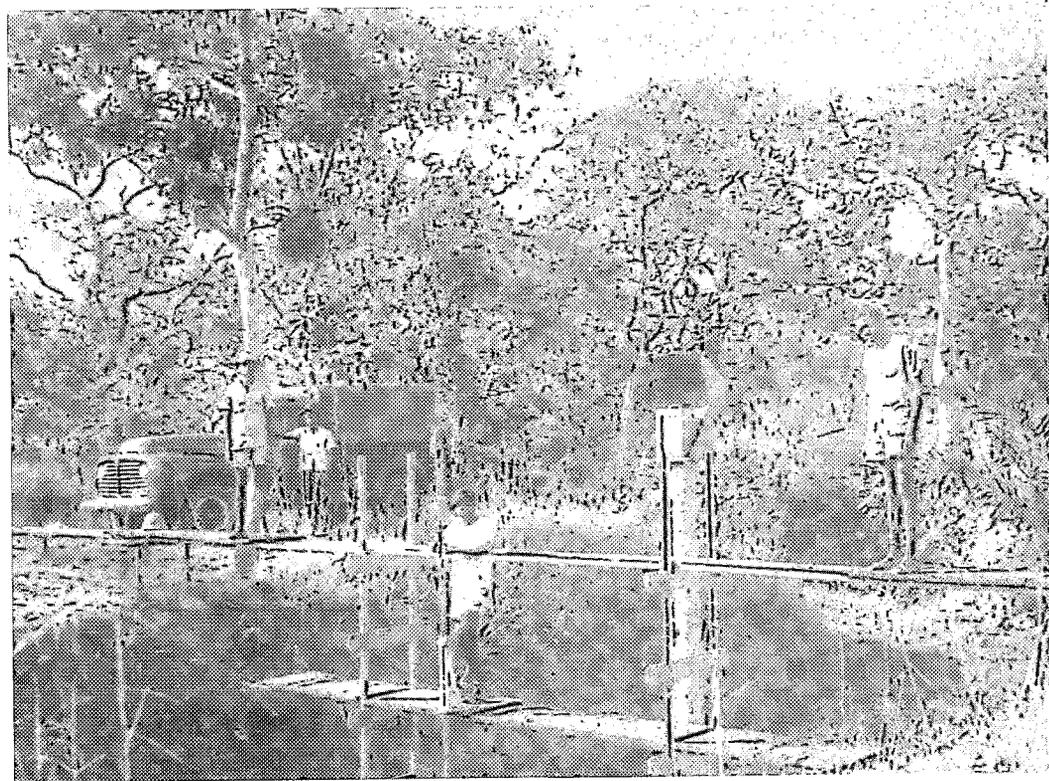


LEFÈVRE



Station climatologique sur bassin expérimental

JARRE



Bassin expérimental de Moumoudji (Dahomey)  
Station principale

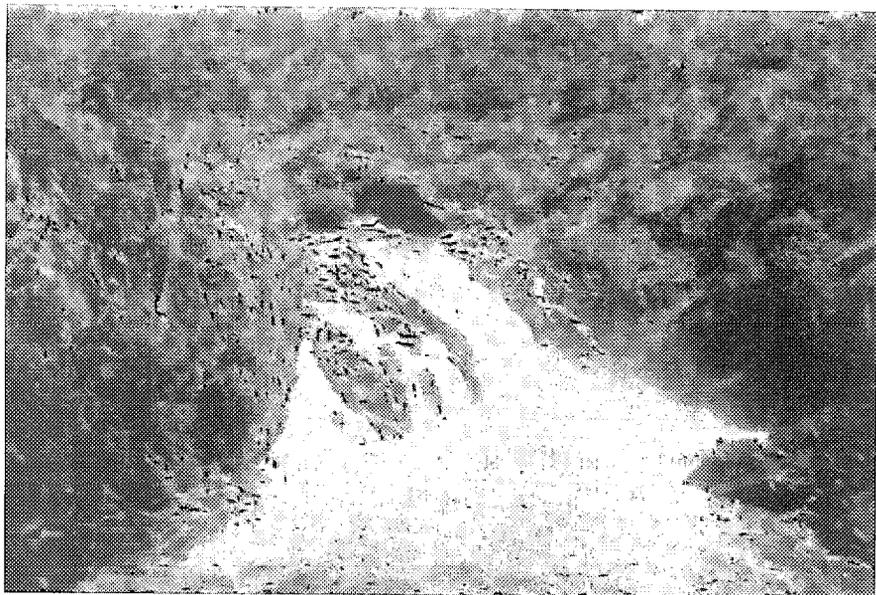
JARRE



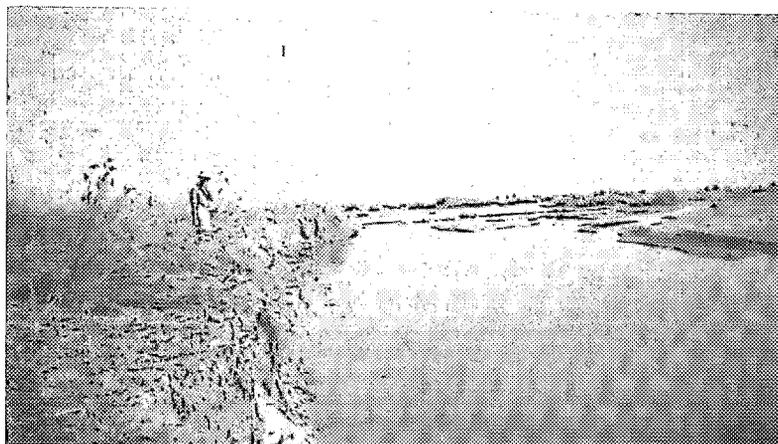
Cours d'eau tropical en basses eaux  
(Mayo Sala, janvier 1950).

RODIER

Cours d'eau tropical  
en hautes eaux  
(Mayo Kebbi  
aux chutes Gauthiot;  
le débit passant par  
ces chutes comporte  
le flot de capture  
du Logone).



ROCHETTE



Cours d'eau tropical  
en basses eaux (Bénoué en amont  
de Garoua, janvier 1950).

RODIER

## A) RÉGIMES TROPICAUX

Ils comprennent les régimes principaux suivants :

Le régime tropical pur et ses grandes variantes, résultant soit des variations régulières du climat du Nord au Sud, soit de conditions particulières à certaines régions.

Ce sont, du Nord au Sud :

- le régime désertique,
- le régime subdésertique,
- le régime sahélien.

Puis, au Sud du régime tropical type :

- le régime tropical de transition avec sa variante Sud,
- le régime dahoméen.

Il existe, bien entendu, des variantes que nous ne citons pas dans cette liste, mais généralement elles ne couvrent que des territoires de faible superficie.

On trouvera ci-dessous le tableau de correspondance entre notre classification et celle des climatologues d'Afrique Occidentale.

CLASSIFICATIONS COMPARÉES  
DES MÉTÉOROLOGUES ET DES HYDROLOGUES

HAUTEUR DE PRÉCIPITATION ANNUELLE	CLASSIFICATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	CLASSIFICATIONS HYDROLOGIQUES
$H < 100-150 \text{ mm}$	Saharien	Désertique
$150 \text{ mm} < H < 300 \text{ mm}$	Sahélien Nord	Subdésertique
$300 \text{ mm} < H < 750 \text{ mm}$	Sahélien Sud	Sahélien
$750 \text{ mm} < H < 1\ 200 \text{ mm}$	Soudanien I	Tropical pur
$H > 1\ 200 \text{ mm}$	Soudanien II et Soudanien III	Tropical de transition
Au Sud du 8 à 9° (ex-A.O.F.)	Libéro-dahoméen	Equatorial de transition

### I. RÉGIME TROPICAL PUR

Ce régime correspond presque au régime théorique le plus simple qu'on puisse imaginer.

Bien caractéristique sous l'isohyète annuelle 1 000 mm, il présente pour les moyens et grands bassins versants :

- une saison de hautes eaux de juillet à début octobre,
- une saison de basses eaux de début décembre à début juin.

Une très belle courbe de tarissement termine les hautes eaux et se prolonge pendant toute la période de basses eaux : un très faible écoulement permanent persiste pour les grands bassins à l'étiage.

## 1° *Limites d'extension*

Il est limité :

- au Nord, aux isohyètes 750 à 800 mm ;
- au Sud, aux isohyètes 1 200-1 300 mm.

Il comprend :

- la majeure partie du bassin du Sénégal ;
- les affluents secondaires du Niger entre Siguiri et le delta central nigérien, et entre le W, au Sud de Niamey, et la frontière du Nigéria, la majeure partie du bassin du Bani ; au Nigeria, la Sokoto et la Kaduna ;
- les branches mères de la Volta : Volta Noire, Volta Blanche, Volta Rouge ;
- les affluents rive droite, notamment la Gongola, et une partie des affluents rive gauche de la Bénoué ;
- quelques petits affluents du Logone ;
- l'Aouk, affluent rive droite du Chari.

## 2° *Débit moyen annuel*

Le régime tropical, malgré un diagramme annuel de précipitations de forme simple, présente, pour les modules, étiages et crues, des valeurs caractéristiques assez variées pour les raisons suivantes :

a) Les grands cours d'eau, dont tout le bassin est situé entre les isohyètes 750 et 1 200 mm, sont rares. Certains débordent sur la zone guinéenne, d'autres sur la zone sahélienne, d'où des valeurs trop fortes ou trop faibles des facteurs caractéristiques.

b) D'autre part, la pente est souvent faible, comme sur une grande partie du continent africain, et même, parfois, très faible dans les anciennes cuvettes lacustres dont nous parlerons à propos du régime sahélien.

Un type très fréquent de rivières de type tropical pur, par exemple, correspond aux affluents du Bani ou de la Volta Noire : ceux-ci entrent en plaine presque dès leur source. Les lits majeurs décrivent d'innombrables méandres au milieu d'une plaine d'inondation, alors que, pour des pentes plus fortes, la plaine d'inondation n'apparaît que beaucoup plus tard, lorsque le bassin d'alimentation couvre déjà 3 à 4 000 km<sup>2</sup> au moins.

Les pertes dans les plaines d'inondation réduisent la valeur du module, régularisent le diagramme annuel, abaissent le débit maximal annuel et les débits de crues exceptionnelles. La décrue se trouve retardée.

Ce phénomène est encore amplifié dans l'ancienne cuvette tchadienne : l'Aouk, par exemple, une des branches-mères du Chari, se traîne au milieu de marécages, présentant un hydrogramme annuel très plat. La décrue est tellement retardée que l'écoulement est permanent.

Au contraire, lorsque la pente est très forte, comme sur les affluents rive droite de la Bénoué, on a affaire à de véritables torrents coulant sur un large lit de sable. L'hydrogramme de crue n'est plus une cloche régulière, comme dans le cas précédent, mais une dentelle de pointes aiguës entre lesquelles le débit de base est nul : très vite, le cours d'eau s'assèche après la fin des pluies. Entre ce type de rivière et celui qui a été décrit plus haut, on trouve toute une série d'intermédiaires avec des pentes modérées. Ce sont certains affluents rive gauche de la Bénoué, les affluents dahoméens du Niger, les affluents du Sénégal drainant le plateau mandingue.

Le module annuel présentera, bien entendu, des variations notables suivant ces différents cas.

Dans le régime tropical, ce module n'a pas grande signification pratique, puisque les débits journaliers n'approchent de cette valeur que quelques jours par an, mais il donne cependant une idée de l'abondance annuelle. On trouvera, ci-après, les modules de quelques cours d'eau tropicaux.

En général, les modules spécifiques sont compris entre 2,5 et 5 l/s.km<sup>2</sup> : 2,5 l/s.km<sup>2</sup> correspondent au cas de la Volta Noire, 5 l/s.km<sup>2</sup> aux affluents dahoméens du Niger. Dans le cas de bassins plus ou moins soumis à l'influence guinéenne, les modules peuvent croître jusqu'à 8,5 l/s.km<sup>2</sup>. L'influence sahélienne se fait sentir, au contraire, sur de grands bassins tels que la Volta à Boromo, avec des valeurs plus faibles. La très faible pente de l'Aouk, donnant lieu à des pertes énormes par évaporation, ramène à 0,75 l/s.km<sup>2</sup> le module spécifique. C'est une valeur que l'on retrouvera, par exemple, pour des cours d'eau sahéliens, plus au Nord.

Par ailleurs, de façon générale, les débits moyens annuels spécifiques tendent à diminuer de l'Ouest à l'Est par suite d'influences continentales.

#### RÉGIME TROPICAL TYPE

##### Modules annuels spécifiques

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	MODULES m <sup>3</sup> /s	MODULES SPÉCIF. l/s.km <sup>2</sup>	OBSERVATIONS
Benoué à Riao .....	31 000	1 285	260	8,4	en partie guinéen
Bani à Douna .....	101 600	1 265	668	6,6	tropical presque pur
Volta à Kouri .....	20 000	1 025	45	2,3	tropical pur influence sahélienne
Comoé à Karfiguela ...	812	1 200	7,3	9	presque guinéen
Sénégal à Galougo .....	108 000	1 150	681	6,3	en partie guinéen
Alibori à Rte Kandi ...	8 150	1 140	42	5,1	en partie guinéen
Benoué à Garoua .....	64 000	1 130	375	5,9	tropical pur
Tandjilé à Bologo .....	3 950	1 070	(10)	2,5	tropical pur
Pendjari à Porga .....	20 300	965	86	4,2	tropical pur
Mayo-Kebi à Cossi .....	26 000	925	90	3,5	tropical pur
Aouk à Golongosso ....	120 000	920	(90)	(0,75)	tropical pur

### 3° Variations saisonnières des débits

La courbe de régime varie suivant la superficie des bassins :

a) PETITS BASSINS (moins de 1 000 km<sup>2</sup>) : On retrouve bien le schéma esquissé plus haut : une longue période de basses eaux et une période de hautes eaux, mais de notables différences peuvent être relevées d'un bassin à un autre, suivant les divers facteurs conditionnels :

De façon assez générale, le débit apparent est nul pendant six mois : de décembre à mai.

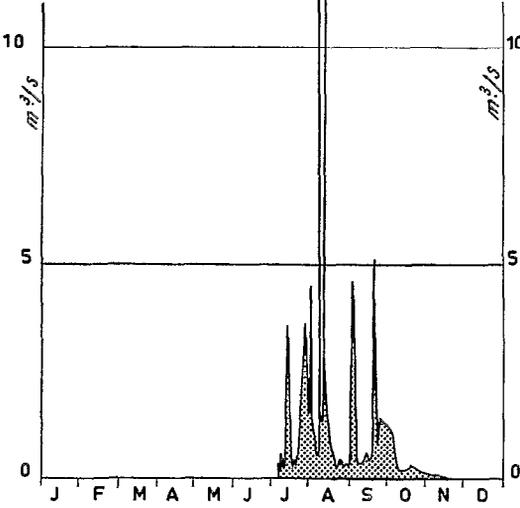
Mais, si le lit présente un fort remplissage d'alluvions, comme au Nord-Cameroun, une réserve d'eau se constitue dans la masse même des alluvions et elle peut donner lieu à un léger écoulement au passage d'un seuil rocheux, comme sur le Mayo-Tsanaga à Gazaoua, un peu à l'amont de Maroua, où, à l'étiage, on peut mesurer 1 l/s environ pour 900 km<sup>2</sup>.

Il est plus rare que les réserves souterraines soient constituées dans le sol du bassin lui-même et non uniquement dans les alluvions du lit, comme nous venons de le voir. Un cas assez classique est celui des zones couvertes de produits de décompositions latéritiques, comme on peut l'observer vers le Sud de la bande 750-1 200 mm. La réserve ainsi constituée est parfois suffisante pour donner lieu à un léger écoulement permanent, qui peut atteindre près de 1 l/s.km<sup>2</sup> sur le bassin expérimental du Doufing, près de Bamako.

RÉGIME TROPICAL PUR

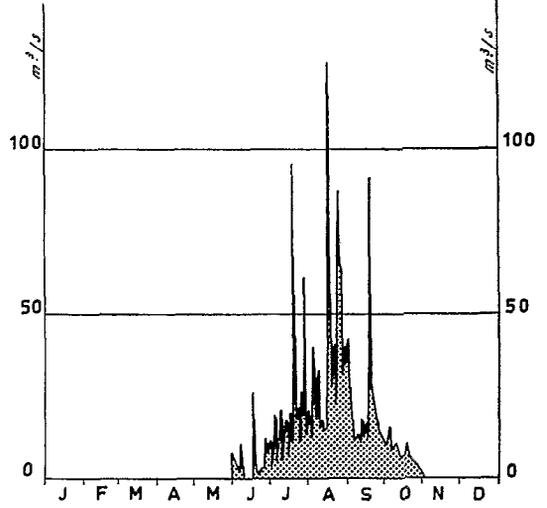
LE DJITIKO A MADINA

82 Km<sup>2</sup>  
(MALI)  
Débits en 1960



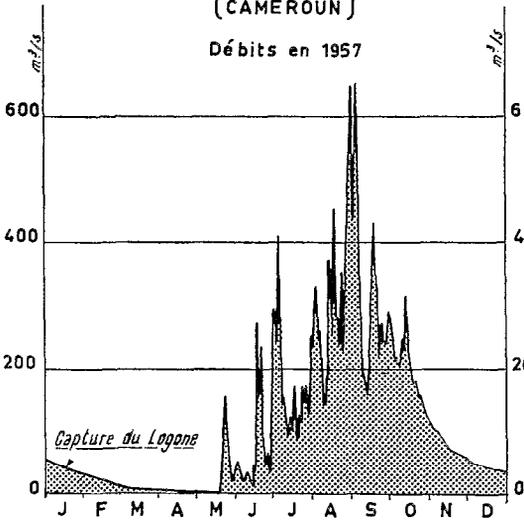
LA TSANAGA à MAROUA

932 Km<sup>2</sup>  
(CAMEROUN)  
Débits en 1954



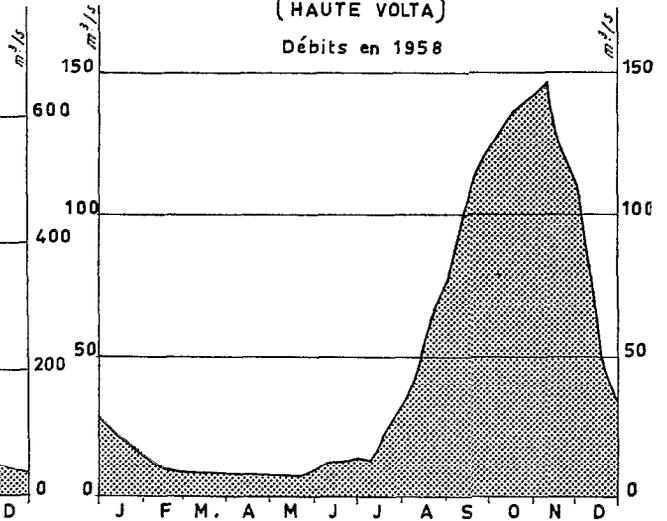
LE MAYO-KÉBI à COSSI

26.000 Km<sup>2</sup>  
(CAMEROUN)  
Débits en 1957



LA VOLTA NOIRE à KOURI

20.000 Km<sup>2</sup>  
(HAUTE VOLTA)  
Débits en 1958



Les grès ordoviciens diaclasés peuvent également constituer des réserves et donner lieu à des sources permanentes.

Mais le cas le plus général est celui d'un lit à sec pendant six à huit mois, suivant la latitude.

La période de basses eaux se termine par quelques crues isolées de faible importance en mai et juin, sauf si le terrain est perméable, auquel cas les premières averses sont sans effet sur le ruissellement. Si le terrain est assez imperméable au contraire et les pentes fortes, il peut arriver que des averses très violentes de juin donnent lieu à des crues extrêmement brutales, qui ne saturent que les premiers millimètres du sol et ruissellent sur ce film avec un coefficient de ruissellement nettement plus élevé qu'en juillet ou en août, la couverture végétale n'étant pas encore reconstituée.

Puis, vient la période de hautes eaux qui commence avec une série de crues brutales en juillet et début août, si le sol est imperméable ; la couverture végétale n'est toujours pas reconstituée. Un faible débit de base sépare les pointes de crues. En septembre, dans les mêmes terrains, le sol est saturé, mais la couverture végétale freine efficacement le ruissellement, de sorte que, malgré un coefficient de ruissellement parfois plus élevé qu'en juillet, les pointes de crues sont plus faibles.

En terrains perméables, au contraire, les averses de juillet et de la première quinzaine d'août ont uniquement pour effet de saturer le terrain, et les crues se produisent alors à fin août et au mois de septembre, donnant des crues beaucoup moins fortes qu'en terrains imperméables.

La dernière crue est suivie par une courbe de tarissement qui se poursuit jusqu'en octobre ou novembre, suivant la latitude et surtout la capacité de rétention du terrain.

La valeur du maximum annuel (valeur médiane des maximums des diverses années) varie avec la superficie du bassin. La courbe théorique du débit spécifique avec la superficie a une allure exponentielle. Cette courbe est très théorique puisqu'elle suppose que, au fur et à mesure que croît la superficie, viennent s'ajouter des bassins versants identiques en tous points. La décroissance correspond :

- au type des averses : grains isolés couvrant de faibles surfaces ;
- à l'atténuation des pointes d'hydrogrammes par le simple transfert des débits de l'amont à l'aval ;
- aux pertes dans les petites plaines d'inondation.

La décroissance est très rapide entre 200 et 1 000 km<sup>2</sup>, surtout pour les terrains imperméables et à forte pente.

Au Nord-Cameroun, par exemple, on peut trouver des courbes jalonnées par les points suivants :

- 4 000 à 6 000 l/s.km<sup>2</sup> pour 5 km<sup>2</sup> ;
- 2 000 à 3 000 l/s.km<sup>2</sup> pour 25 km<sup>2</sup> ;
- 200 à 300 l/s.km<sup>2</sup> pour 1 000 km<sup>2</sup>.

Pour un bassin de superficie donnée, 25 km<sup>2</sup> par exemple, le maximum annuel varie beaucoup d'un bassin à un autre (de 1 à 50), suivant la pente et surtout suivant la perméabilité des couches superficielles du sol, *très peu avec la hauteur de précipitation annuelle*. C'est d'ailleurs assez normal puisqu'on a vu plus haut que les averses de faibles fréquences sont à peu près les mêmes lorsque la hauteur de précipitation annuelle varie de 300 à 1 200 mm.

Pour des terrains assez perméables, à faible pente, le maximum annuel ne semble pas dépasser 150 à 200 l/s.km<sup>2</sup>.

Pour des terrains latéritiques perméables, des pentes modérées, le maximum annuel peut être de l'ordre de 400 à 500 l/s.km<sup>2</sup>. Si la pente s'accroît, dans le même terrain, le maximum passe à 800-1 000 l/s.km<sup>2</sup> (Bassin expérimental de Doufing).

Les terrains granitiques sans latérite et sans trop d'arènes granitiques, avec les mêmes pentes, donnent des débits peut-être un peu plus forts : de l'ordre de 1 200 l/s.km<sup>2</sup>. Avec pentes très fortes, argiles imperméables et faible couverture végétale, le maximum annuel peut atteindre 3 ou peut-être même 5 000 l/s.km<sup>2</sup>.

On voit que l'influence de la perméabilité du sol est prépondérante. Ce sont surtout les pédologues qui peuvent donner les indications les plus sûres pour l'aptitude de ces bassins au ruissellement.

b) Pour les grands bassins, les singularités des divers affluents s'estompent par compensation, la violence des crues isolées a disparu et on retrouve des caractéristiques beaucoup plus homogènes.

La période de basses eaux commence un peu plus tard que sur les petits bassins, par suite du temps d'écoulement, mais, par contre, les premières pluies de mai ne donnent lieu, en général, à aucune pointe visible. La période de basses eaux dure six mois.

Le débit d'étiage devrait être nul, mais il est bien rare que le bassin ne comporte pas une zone guinéenne, ou latéritique, ou une source, ou un lac régularisateur, ou enfin une région dont le réseau hydrographique comporte des biefs à lit sableux. La section d'alluvions d'un cours d'eau est, en général, inférieure au total des sections d'alluvions des affluents le composant. Il en résulte que le débit, réduit à l'inféro-flux à l'amont, peut, dans le dernier cas évoqué ci-dessus, réapparaître à l'aval.

Le débit spécifique d'étiage (débit apparent) est donc très faible en général et assez souvent nul, comme on peut le voir sur le tableau ci-contre. La sévérité de l'étiage est également fonction de la latitude, l'évaporation sur nappe d'eau libre variant de 2,50 m à 1,80 m par an du Nord au Sud (bac Colorado sis dans un lit majeur).

Parmi les cours d'eau importants présentant, en année moyenne, des débits nuls pendant six mois au moins, citons les Voltas Blanche et Rouge. Cette sévérité peut être atténuée par la restitution de zones étendues d'inondation (cas de l'Aouk, du Bani).

La période de très faibles débits va de janvier à fin mai.

#### RÉGIME TROPICAL TYPE

##### *Débits caractéristiques d'étiage*

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANNUELLE mm	ETIAGE CARAC. (10 j.) m <sup>3</sup> /s	ETIAGE CARACT. SPÉCIF. l/s.km <sup>2</sup>	DC 9 m <sup>3</sup> /s	DC 9 SPÉCIF. l/s.km <sup>2</sup>
Benoué à Riao . . . .	31 000	1 285	0,35	0,011	2,7	0,09
Bani à Douna . . . . .	101 600	1 265	25	0,25	55	0,54
Comoé à Karfiguela	812	1 200	3,2 (1)	3,94	3,72	4,6 (1)
Sénégal à Galougo .	108 000	1 150	4	0,04	35	0,36
Alibori à Rte Kandî	8 150	1 140	0	0	0	0
Benoué à Garoua .	64 000	1 130	0,6	0,009	10	0,11
Tandjilé à Bologo .	3 950	1 070	0	0	(0,2)	(0,05)
Pendjari à Porga . .	20 300	965	0	0	1,5	0,07
Mayo-Kébi à Cossi	26 000	920	0,1	≡ 0	6,0	0,23

(1) Sources ?

Nous avons vu que, généralement, les averses de mai étaient sans effet, sauf sur certains bassins à forte pente et, encore, au cours des années favorables.

En juin, période de transition, les débits croissent, mais restent souvent faibles.

En juillet, sur la plupart des bassins, la crue arrive et se prolonge jusqu'en septembre, avec des irrégularités secondaires, si la pente est notable. Si la pente est faible, la courbe de hautes eaux devient très régulière, comme on l'a vu plus haut, et tend à être décalée de plusieurs semaines : cas de la Volta Noire et du Chari.

Le tableau ci-après donne les débits spécifiques de crue annuelle. Pour les bassins de 10 000 km<sup>2</sup> au moins et des conditions normales, les débits spécifiques varient de 25 à 80 l/s.km<sup>2</sup>.

Ils varient en premier lieu avec la hauteur de précipitations annuelle. Le maximum est formé par la superposition de plusieurs averses individuelles et est influencé par le débit de base entre les averses. Il est donc en liaison directe avec l'abondance annuelle, alors que, sur les petits bassins, il correspond à l'averse la plus forte ou celle survenant dans les meilleures conditions de saturation.

L'influence de la pente générale est grande :

Pour la Volta Noire, dont la pente est très faible, le maximum annuel, au Pont de Kouri, est de 145 m<sup>3</sup>/s, soit près de 7 l/s.km<sup>2</sup>.

Pour l'Aouk, dont la pente est encore plus faible, il est de l'ordre de 2,5 l/s.km<sup>2</sup>.

En octobre, les débits décroissent dès le début du mois, un peu plus tard pour les bassins très grands ou à très faible pente. On observe alors une courbe de tarissement très régulière, qui se poursuit en novembre. Il serait intéressant de déterminer l'équation de ces courbes, mais le faible nombre de bassins tropicaux purs homogènes rend ingrate l'étude comparative des coefficients de cette équation.

Les études effectuées sur le Niger et sur l'Ouémé Supérieur ont montré que l'équation de tarissement était de la forme classique :

$$Q_0 \cdot e^{-at},$$

« a » variant de 0,030 à 0,016 : 0,030 correspondant aux moyens bassins et 0,016 à 0,020 aux très grands bassins.

Sur la Volta Noire et l'Aouk, la décrue ne commence que dans le courant de novembre.

En décembre, pour la moyenne des bassins, le débit est redevenu très faible.

#### RÉGIME TROPICAL TYPE

##### Débits de crues

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	DÉBIT DE CRUE ANNUELLE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE l/s km <sup>2</sup>	OBSERVATIONS
Mayo Kereng .....	4	25	6.250	
Dounfing .....	17,5	20	1.140	
Barlo .....	36,6	40	1.120	
Comoé à Karfiguéla .....	812	150 ?	185 ?	
Alibori à Rte Kandi .....	8 150	420	51	
Pendjari à Porga .....	20 300	600	29,6	
Mayo-Kébi à Cossi .....	26 000	750	28,8	
Bénoué à Riao .....	31 000	2 700	87	faible influence guinéenne
Bénoué à Garoua .....	64 000	3 100	48	
Bani à Douna .....	101 600	2 980	29,3	
Sénégal à Galougo .....	108 000	4 090	37,9	
Tandjilé à Bologo .....	3 950	(100)	(25)	
Volta à Kouri .....	20 000	140	7	

#### 4° Crues exceptionnelles

Leur caractère est, bien entendu, très différent pour les petits et les grands bassins.

a) PETITS BASSINS : La crue est provoquée par une averse exceptionnelle ou une averse très forte tombant dans des conditions de saturation exceptionnelle.

Pour fixer les idées, nous ne considérerons que les crues de fréquence décennale. Les phénomènes de cette fréquence sont assez faciles à reconstituer par extrapolation, ce qui permet des comparaisons valables.

1) Une averse décennale est généralement une tornade dont le corps, pour des intensités supérieures à 20 mm/h, dure en moyenne 90 minutes et correspond à 85 % de l'averse totale. Mais il n'est pas impossible, sous ces latitudes, surtout au Sud de l'isohyète 1 000 mm, que l'averse décennale soit constituée par des pluies de mousson durant quatre à six heures. Nous reviendrons sur ce point à propos des régimes tropicaux de transition et sahéliens.

La hauteur de précipitation moyenne diminue rapidement dès que la superficie du bassin augmente, car il s'agit de grains isolés, mais il est fort possible que, pour des fréquences plus faibles que la fréquence décennale, il soit nécessaire de considérer une ligne de grains continue, ce qui majorerait singulièrement le coefficient de réduction : rapport de la pluie moyenne à la pluie ponctuelle sur une superficie donnée autour de ce point.

Par ailleurs, pour la fréquence décennale, et toutes choses restant égales, le débit spécifique de crue varie en fonction de la superficie du bassin, suivant une courbe du type  $CS^{-n}$  ( $n$  est ici compris entre 0,5 et 0,8), analogue à la courbe des maximums annuels. Ladite courbe, tout aussi théorique, varie suivant les différents facteurs conditionnels.

Pour un bassin assez imperméable, à forte pente (Nord Cameroun), on trouverait les valeurs suivantes :

— pour moins de	10 km <sup>2</sup> .....	10 000 l/s.km <sup>2</sup> ,
	25 km <sup>2</sup> .....	5 à 7 000 l/s.km <sup>2</sup> ,
50 à	100 km <sup>2</sup> .....	2 à 3 000 l/s.km <sup>2</sup> ,
500 à	1 000 km <sup>2</sup> .....	300 à 500 l/s.km <sup>2</sup> .

Il s'agit là de simples repères plutôt forts, mais qui peuvent être dépassés.

Sur les bassins du Bouloré et du Kéreng, au Nord-Cameroun, ainsi que du Ligan, au Tchad (pente moyenne 10 %), on a trouvé, pour 25 km<sup>2</sup>, que la crue décennale était de 8 à 10 000 l/s.km<sup>2</sup>.

Sur les terrains de garnite décomposé, nettement plus perméables, mais ne comportant pas trop d'arènes granitiques, avec des pentes un peu plus faibles, la crue décennale, pour la même surface, est de 4 000 à 5 000 l/s.km<sup>2</sup> (bassin expérimental du Barlo). Si la pente diminue, sur des terrains analogues, on trouve 1 000 à 2 000 l/s.km<sup>2</sup>.

Sur terrains latéritiques ou sur terrains gréseux (bassins expérimentaux du Dounfing et de la Téro), on trouve entre 1 000 et 2 000 l/s.km<sup>2</sup> suivant la pente. Ce sont à peu près les chiffres qui ont été trouvés en Haute-Volta pour des bassins ruisselant assez bien.

Si la pente longitudinale tombe nettement en dessous de 0,5 %, il est possible de trouver des valeurs beaucoup plus faibles : 300 à 500 l/s.km<sup>2</sup> dans la cuvette de Koulou (Niger), par exemple. On pourrait peut-être adopter des valeurs de 200 à 400 l/s.km<sup>2</sup> pour les régions *très mal drainées*, avec très faible pente.

2) Comme pour la crue annuelle, les crues décennales ne dépendent absolument pas de la hauteur de précipitations annuelle.

b) POUR LES GRANDS BASSINS, les crues exceptionnelles sont dues, en général, à de très fortes hydraulicités annuelles ; ces années humides ne coïncident pas obligatoirement avec les années à fortes

averses ; il est donc possible de trouver des années pour lesquelles les grands bassins présentent des crues exceptionnelles, par exemple l'année 1955, sans que les petits bassins soient l'objet de très fortes crues. Sur ces grands bassins, les débits spécifiques de crues exceptionnelles diminuent rapidement quand la superficie augmente, pour les mêmes raisons que pour les crues annuelles.

Dans les cas courants, pour 10 000 km<sup>2</sup>, les débits de crue décennale varient de 40 à 100 l/s.km<sup>2</sup> suivant la pente ; ils ne sont plus que de 30 à 70 l/s.km<sup>2</sup>, en général, pour 100 000 km<sup>2</sup>. Bien entendu, ces chiffres sont à majorer si le bassin comporte des zones guinéennes ; à réduire, s'il contient des zones sahéliennes (Bas Chari, Sénégal Inférieur).

Pour les très faibles pentes, les crues décennales sont nettement plus faibles. Sur la Volta Noire, au Pont de Kouri, par exemple, la crue décennale est probablement de l'ordre de 20 l/s.km<sup>2</sup>. Elles sont encore plus faibles pour certains affluents du Chari à pente extrêmement faible.

Il est difficile de donner des renseignements directs pour des crues de plus faible fréquence. En effet, la plupart des grands fleuves soudaniens étant de régime mixte, nous manquons de données directes sur les crues de fréquence inférieure à 1/10. On pourra se référer au régime tropical de transition, en notant que les écarts entre crues décennales et crues de fréquence plus faible doivent être plus grands que dans le régime tropical de transition, l'irrégularité interannuelle étant plus forte.

### **5° Irrégularité interannuelle**

La distribution des hydraulicités annuelles étant souvent gaussique, on pourrait la caractériser par le coefficient de variation, mais on a préféré employer, dans ce qui suit, le rapport  $K_3$  du module le plus élevé au module le plus faible, sur une période de durée donnée. Nous prendrons 10 ans dans le cas présent.

Pour les cours d'eau tropicaux,  $K$  varie de 2 à 3,5 environ.

Il décroît quand la hauteur de précipitations annuelle croît. Il tend à augmenter légèrement pour les petits et très petits cours d'eau.

### **6° Déficit d'écoulement**

La moyenne interannuelle est élevée et varie régulièrement entre 700 et 1 000 mm (mesurés sur des bassins de plus de 10 000 km<sup>2</sup>), dans le même sens que la hauteur de précipitations annuelle.

Le coefficient d'écoulement varie de 9 à 16 %. Il peut descendre très au-dessous au cas où la pente est très faible : Volta Noire, 5 à 8 % environ. Certains affluents rive droite du Chari et certains cours d'eau de Haute-Volta présentent des coefficients d'écoulement encore plus faibles.

### **7° Transports solides**

L'érosion sur parcelles cultivées est forte, surtout lorsque la pente s'accroît. On a trouvé des chiffres de 500 t/an/km<sup>2</sup> sur des fosses à sédiments installées sur un bassin de quelques hectares au Nord-Cameroun. Mais la proportion de terres cultivées, pour l'ensemble d'un bassin, est faible : les petits cours d'eau atteignent très rapidement la plaine en général, et ils rejoignent souvent les collecteurs principaux par une zone plus ou moins deltaïque, où ils déposent une grande partie des matériaux transportés, de sorte que, sur les cours d'eau dont le bassin dépasse 3 à 4 000 km<sup>2</sup>, la turbidité est faible : elle ne dépasse guère 0,3 ou 0,4 kg/m<sup>3</sup> en crue (vase, limons et sables fins), sauf dans les montagnes du Nord-Cameroun (Mayo Louti), où elle atteint peut-être, en crue, 2 ou 3 kg/m<sup>3</sup>.

## II. REGIME SAHELIEEN

Au Nord de la courbe isohyète 750 mm, les cours d'eau présentent des régimes de nature assez différente de celle du régime tropical classique. La dégradation du réseau hydrographique devient systématique avec, parfois, tendance à l'endoréisme. C'est pourquoi nous avons jugé nécessaire de ranger ces cours d'eau dans une classe distincte du régime tropical pur : *le régime sahélien*. Entre les isohyètes 300 mm et 750 mm, des phénomènes d'écoulement sont courants tous les ans et à peu près partout, sauf dans des terrains extrêmement perméables (régions très ensablées). C'est là une autre caractéristique du régime sahélien qui le distingue de celui des régions situées plus au Nord. En effet, au-delà de l'isohyète 300 mm, les phénomènes d'écoulement ne se produisent que dans certaines régions privilégiées : c'est le régime subdésertique.

Cependant, le terme de « sahel » s'applique communément à la bande comprise entre les isohyètes 400-500 mm et 100 mm, et c'est bien cette zone climatique que les météorologues ont désignée par zone sahélienne. Mais, du point de vue des hydrologues, la dégradation hydrographique commence bien avant 600-700 mm, parfois sous l'isohyète 700-800 mm, ou même plus au Sud si la pente est extrêmement faible, comme nous l'avons vu pour l'Aouk. On a donc adopté la valeur moyenne 750 mm qui convient pour la plupart des régions de cette zone et on a fait commencer à cette limite le régime sahélien, en conservant ce terme qui convient le moins mal.

Dans toute la zone correspondant à ce régime sahélien, la dégradation du réseau hydrographique, conjuguée avec l'abondance relative de l'écoulement et les faibles pentes que l'on trouve fréquemment dans cette région de l'Afrique, donne lieu à des inondations sur de très vastes zones, de sorte que ces régions sont, de façon un peu paradoxale, beaucoup plus difficiles à parcourir à l'hivernage que les territoires plus méridionaux correspondant, par exemple, au régime tropical de transition, que nous verrons plus loin.

En outre, l'eau commence à y devenir précieuse pendant une notable partie de l'année et il est essentiel de bien en connaître le bilan pour l'utiliser au mieux.

Il a semblé nécessaire, avant de présenter les données numériques recueillies sur ce régime, de décrire les phénomènes de dégradation hydrographique. Ils sont dus à l'effet combiné de trois facteurs :

a) Une très longue saison sèche, à l'issue de laquelle la végétation herbacée ayant à peu près disparu, le sol est nu entre les rares arbres et est l'objet de phénomènes d'érosion intense quand il pleut suffisamment.

b) Des crues sporadiques donnant lieu, au total, à une durée d'écoulement très faible, et des débits spécifiques insuffisants pour transporter tous les matériaux arrachés par l'érosion ou entretenir un lit continu, dès que la pente devient faible.

c) D'immenses étendues à très faibles pentes résultant des très importantes modifications du réseau hydrographique général au cours des derniers millénaires. Dans ces plaines, les crues s'étendent en nappe assez mince, vite consommée par une évaporation intense (2,50 m par an). Les cas les plus typiques sont constitués par la zone lacustre du Niger et, surtout, la cuvette tchadienne.

Dans le détail, il n'est pas très facile de mettre un peu d'ordre dans la complexité des phénomènes hydrologiques qui caractérisent l'immense bande sahélienne qui s'étend sur 4 000 km, de Saint-Louis du Sénégal jusqu'à l'Est du Nil. Les modalités d'écoulement varient suivant la pente, la perméabilité du sol et l'abondance des précipitations. On distinguera le cas des cours d'eau prenant naissance dans cette zone de celui des fleuves provenant des régions plus méridionales.

## 1° Cours d'eau ayant leur origine en zone sahélienne

Les fortes tornades de la saison des pluies ne donnent lieu à aucun écoulement organisé dans deux cas : celui des régions sablonneuses et celui des régions très plates argileuses.

Dans le premier cas, il s'agit généralement de dunes mortes, fixées par des graminées et des arbustes plus ou moins épineux, dont la densité varie suivant la hauteur de précipitations annuelle. L'écoulement sur les pentes est presque nul. Quelques rigoles mal marquées conduisent parfois l'excédent des précipitations dans les dépressions. Il ne faut pas négliger non plus le cheminement des eaux d'infiltration parallèlement à la pente dans la couche superficielle humide qui couvre la dune après les pluies.

Ces eaux peuvent se rassembler au creux des dunes, souvent garnies d'une couche de terrain argileux imperméable, créant ainsi des mares isolées ou alignées suivant des dépressions correspondant parfois à d'anciens thalwegs. Ces mares s'assèchent souvent dès le début d'octobre, mais, si elles sont bien alimentées, elles peuvent garder de l'eau beaucoup plus longtemps, par exemple jusqu'en février ou mars.

Il peut arriver, dans certains cas exceptionnellement favorables, que la dépression collectrice présente un écoulement sensible pendant une longue période. C'est le cas de la Korama, coulant d'Ouest en Est, un peu au Nord de la frontière du Niger et du Nigeria. Le massif sablonneux important doit reposer sur des terrains imperméables, à faible profondeur ; la hauteur de précipitations annuelle est assez forte : 600 mm ; la pente générale de la dépression est notable.

Cette dépression est encombrée de roseaux qui freinent considérablement l'écoulement. On observe deux maximums : l'un vers la fin de la saison des pluies, dû au ruissellement direct sur le fond de la dépression et en faibles proportions sur les pentes bordant la dépression ; l'autre vers février, provenant des eaux infiltrées dans le massif.

Il semble que les variations de débits soient lentes et de faible amplitude, un peu comme celles que nous verrons plus loin en pleine zone équatoriale, sur les plateaux Batékés.

Dans le second cas, en terrain plat et imperméable, l'eau provenant des averses s'accumule de juillet à septembre dans des mares de très faible profondeur, non loin du point de chute, et s'évapore. De très légères dépressions peuvent faire communiquer ces mares, donnant lieu à un léger écoulement de l'une à l'autre. Ce réseau de courants, ou mieux de communications (qui n'évoque pas l'idée de déplacement dans une direction bien déterminée), peut être très complexe, surtout dans d'anciennes plaines fluviales. Le coefficient d'écoulement est presque nul, mais on peut rencontrer, sur de petites superficies, de très forts coefficients d'écoulement, comme cela a été observé au bassin expérimental de Gagara-Est. Il s'agit d'un plateau encombré de graminées, légèrement suspendu au-dessus d'une vallée, à laquelle il est plus ou moins mal relié par un mauvais exutoire.

Une première averse y laisse une très mince pellicule d'eau retenue par les herbes sur le sol imperméable. Une seconde averse ne s'infiltrera pas et, la lame d'eau augmentant, l'écoulement se déclenche sur le plateau, le drainage devient efficace, de sorte que cette seconde averse peut présenter un coefficient de ruissellement de près de 90 %.

Ces phénomènes doivent nous conduire à une grande prudence dans l'estimation des débits de crues sur de tels exutoires, mais ce n'est pas un cas très fréquent, et, en général, les terrains plats et marécageux n'apportent pas grand-chose aux grands cours d'eau.

Si les précipitations tombent sur une région présentant des pentes assez fortes et un sol pas trop perméable, on observe assez près de la ligne de crête des fines rigoles avec des lits bien marqués. Ils s'élargissent très rapidement au fur et à mesure que les débits se concentrent, constituant ce que l'on appelle en Mauritanie un « batha », c'est-à-dire un large lit sableux avec des berges très franches de hauteur moyenne. La section n'est remplie qu'en cas de crue exceptionnelle. La hauteur des berges diminue rapidement de l'amont vers l'aval. Il arrive parfois qu'une dépression remplie de sable se détache du batha, le sable semblant simplement déposé dans la brousse environnante. On sent très bien qu'il a été amené là par une crue particulièrement forte et qu'il s'écoulera peut-être cinq ou dix

ans avant que cela ne se renouvelle. Très rapidement, dès l'arrivée en plaine, le batha constitue un court delta, tous les apports arrivant dans une mare de faible profondeur à fond argileux et plus ou moins couverte d'épineux. Le fond de mare, constitué de vase fertile, est souvent couvert de culture de mil repiqué. A ce stade, il est rare que le bassin ait atteint 1 000 km<sup>2</sup>. Bien avant le delta, le cours d'eau a subi des pertes importantes, de sorte que le coefficient d'écoulement varie largement d'un point à un autre du bassin de réception. Même si le terrain est homogène, la dégradation altère les caractéristiques du régime dès que le cours d'eau quitte les dernières pentes.

Dans ces conditions, les données obtenues, en divisant les caractéristiques usuelles du débit par la superficie du bassin versant, n'ont pas grande signification, à moins que le bassin ne soit très homogène et que la station de référence ne soit située à l'amont de tout phénomène de dégradation. La notion de bassin versant n'a pratiquement plus aucun sens.

Le réseau hydrographique ne passe pas toujours par le stade du batha, si la pente générale est faible : les rigoles amont peuvent déboucher alors directement dans des dépressions marécageuses où elles se perdent, à moins que ces dépressions ne constituent un réseau hydrographique du type que nous allons décrire ci-après.

Plusieurs « batha » successifs peuvent déboucher sur une même dépression marécageuse, qui sera alors l'objet d'un écoulement généralisé, les crues individuelles de chaque batha venant alimenter la dépression au moment où elle allait se tarir, les apports du batha amont suffisant à peine à la mettre en eau. Un des exemples les plus typiques est celui de la Maggia, dans la République du Niger. Le lit de la dépression principale est constitué par des chenaux étroits, sinueux, souvent multiples, apparaissant et disparaissant sans raison, au milieu d'une végétation arbustive assez dense, alors que les affluents sont de véritables torrents à berges bien marquées ; c'est également le cas de certains cours d'eau de la région de Dori (République Voltaïque) et du Ouaddaï (République Tchadienne).

On peut également rencontrer des sections à lit sableux et à berges assez nettes par suite d'une augmentation de la pente générale ou de l'arrivée d'un fort affluent (Maggia, Goulbi de Maradi).

La dépression collectrice peut être également constituée par un chapelet de mares restant en eau pendant la saison sèche, comme le Béli et le Gorouol de la République de Haute-Volta, qui finissent enfin par déboucher sur le Niger, lui envoyant de bien faibles apports.

L'écoulement dans ces dépressions dure, en général, de début août au 15 octobre.

Les vitesses peuvent être très lentes, comme, par exemple, sur le Gorouol de Haute-Volta, sauf s'il y a de grands lits à berges franches.

Les débits de crues sont faibles en général ; l'irrégularité interannuelle est très grande.

Si la pente se maintient forte, il n'y a que très peu de dégradation ; on retrouve des caractéristiques qui changent beaucoup moins des phénomènes d'hydrologie classique, les cours d'eau présentant un peu l'aspect de torrents, comme c'est le cas sur les grès de Bandiagara, la région Nord-Est des massifs du Nord-Cameroun, le massif central du Tchad (Abou-Telfané, Pic de Guerra), certains bassins du Ouaddaï, le Djébel Mara. Le réseau hydrographique est classique, avec des lits généralement bien marqués (Mayos du Nord-Cameroun) ; l'écoulement est net, avec des transports solides abondants.

On peut avoir une idée du régime par les études effectuées à la limite Sud du régime sahélien au Nord-Cameroun et dans le massif central du Tchad. Les bassins versants peuvent atteindre 2 000 km<sup>2</sup> presque sans dégradation, avec des débits pouvant dépasser 2 000 m<sup>3</sup>/s en crue : ce sont de véritables torrents avec de fortes vitesses.

De tels cours d'eau peuvent aboutir à des fleuves venant du Sud ; il y a rarement dans ce cas des confluent bien nets ; le mayo se perd dans la plaine d'inondation du fleuve, concourant à donner des variations fort complexes au niveau de l'eau dans cette plaine. Parfois, il débouche dans un cours d'eau à faible débit : dans ce cas, le mayo peut partager ses apports entre l'amont et l'aval. Dès que la crue s'atténue, le cours d'eau principal reprend son écoulement normal, donnant lieu à un renversement du courant. Les phénomènes de communications bizarres et de capture sont nombreux.

Dans certains cas très particuliers, les cours d'eau sahéliens peuvent se réunir pour constituer des rivières puissantes, tels sont le Bahr Azoum et surtout le Ba-Tha au Tchad. Ceci suppose un bassin d'alimentation montagneux et vaste. Mais, même pour ces rivières sahéliennes, l'hydrographie est loin d'être classique, effluents et communications sont courants.

Le Ba-Tha est alimenté par le massif du Ouaddai ; au moment où il va disparaître, il est régénéré par les cours d'eau provenant du massif central du Tchad qui lui redonnent une vigueur nouvelle, et il a la force d'aller jusqu'au lac Fitri. Il est constitué à peu près tout le long de son cours, qui se déroule en plaine, par un lit sableux assez large, bordé de berges franches assez élevées.

Le Bahr Azoum, qui provient du Darfour, perd, en amont de Am Timan, environ la moitié de son débit par des effluents. Cependant, à la traversée de cette localité, il présente des berges bien marquées de plusieurs mètres de haut et débite à cet endroit 200 à 300 m<sup>3</sup>/s à son maximum. Dix kilomètres à l'aval de Am Timan, il se perd par un véritable delta dans une plaine d'inondation. D'autre part, les pertes signalées plus haut, rencontrant d'autres cours d'eau sahéliens moins dégradés, reconstituent un lit bien net pour former le Bahr Salamat qui rejoint le Chari. On trouvera plus loin quelques données numériques sur le régime de ces deux cours d'eau.

## ***2° Cours d'eau tropicaux débouchant en zone sahélienne***

Le cas des fleuves tropicaux arrivant dans cette zone est particulièrement intéressant : il s'agit du Sénégal, du Niger, du Logoné et du Chari. Le Nil Blanc traverse des régions analogues. Le passage en zone sahélienne est toujours pénible. La dégradation hydrographique devient très marquée, d'autant plus que très souvent ces fleuves abordent d'anciennes cuvettes lacustres. Les plaines d'inondation deviennent immenses ; de nombreux effluents se forment, rejoignent parfois le lit principal après des pertes énormes par évaporation, se perdent dans des dépressions fermées où ils constituent des lacs permanents ou non, comme c'est le cas pour le Niger, ou peuvent être captés par d'autres cours d'eau. Le cas le plus célèbre est celui de la capture partielle du Logoné par la Bénoué.

Les effluents quittent le fleuve parfois par une bifurcation ou une brèche bien marquée, mais, plus fréquemment, ils se forment à l'arrière du bourrelet de rives ; une dépression mal marquée draine la plaine d'inondation. La dépression s'accroît avec parfois des chapelets de mares ; enfin, le lit apparaît avec des berges nettes, et l'effluent suit son destin.

La première conséquence de ces phénomènes est la régularisation des débits de crues, très visible sur le Nil Blanc, le Niger et surtout le Logoné. Le débit maximal annuel à Logoné Birni, par exemple, tend à devenir constant, sauf les années très sèches où on assiste à une baisse très nette du maximum. La distribution des débits de crues annuelles devient asymétrique, mais dans le sens contraire des courbes asymétriques usuelles en hydrologie : la dispersion la plus forte étant enregistrée pour les valeurs plus faibles que la moyenne. Les années humides sont simplement marquées par un allongement du palier qui marque la crue.

Les débits de basses eaux sont plus élevés qu'à l'amont : effluents et plaines d'inondation restituent un peu d'eau à l'étiage. Mais il ne s'agit que d'un simple report de débit. La régularisation se fait au prix de pertes énormes. Par exemple, dans la cuvette lacustre du Niger, entrent 70 milliards de mètres cubes. Il en sort 38 milliards partiellement régularisés, 32 milliards ont été perdus par évaporation et infiltration.

Ces pertes sont beaucoup plus fortes en année humide qu'en année sèche, de sorte qu'il y a également régularisation sur le plan interannuel.

Une autre conséquence de la complexité de tels réseaux hydrographiques est la facilité qu'ils offrent pour résoudre sans pompage les problèmes d'irrigation et de drainage dans de nombreux cas.

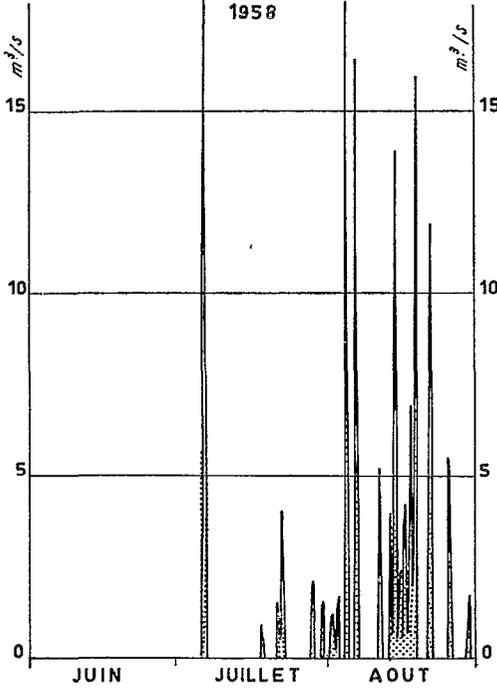
Il arrive que certains torrents sahéliens, par exemple les mayos du Nord-Cameroun ou les cours d'eau du plateau de Bandiagara, rejoignent cette zone lacustre ; leur mare terminale rejoint alors les marécages du fleuve principal et il est bien difficile de dire quel est l'apport de ces affluents au fleuve principal.

ABOU GOULÉM

50 Km<sup>2</sup>  
PETIT BASSIN

(TCHAD)

1958



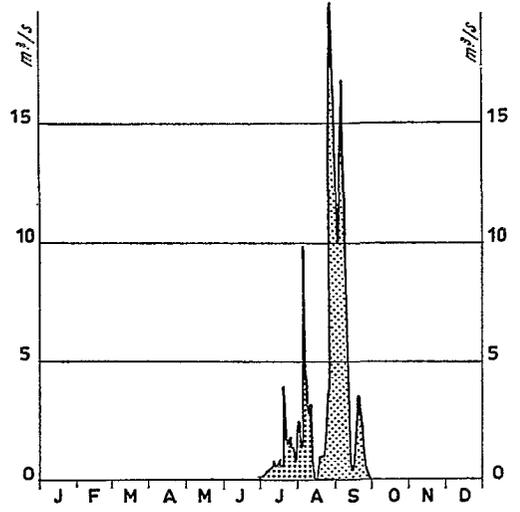
LA MAGGIA A TSERNAOUA

2525 Km<sup>2</sup>

BASSIN MOYEN PEU DÉGRADÉ

(NIGER)

Débits en 1956



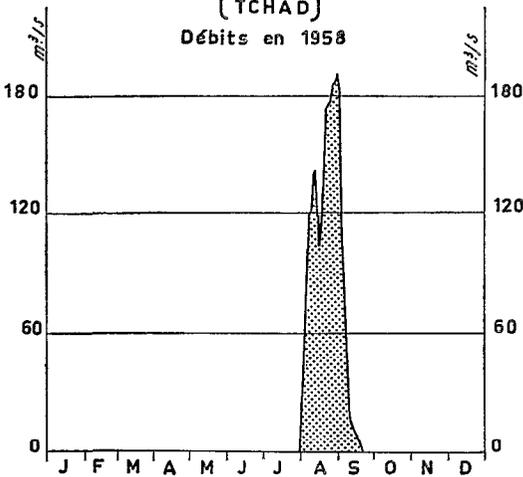
LE BA-THA A ATI

46 000 Km<sup>2</sup>

GRAND BASSIN ASSEZ DÉGRADÉ

(TCHAD)

Débits en 1958



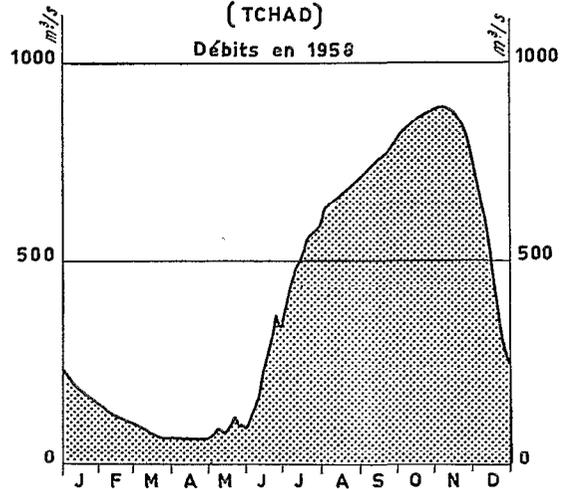
LE LOGONE A LOGONE-BIRNI

76 000 Km<sup>2</sup>

COURS D'EAU ISSU DES RÉGIONS TROPICALES

(TCHAD)

Débits en 1958



Pour être complet, citons simplement les problèmes d'écoulement particuliers aux fleuves fossiles, que nous exposerons dans le sous-chapitre relatif au régime subdésertique où ils jouent un rôle beaucoup plus grand.

Nous ne pouvons donner de chiffres caractéristiques que pour les catégories d'écoulement se rapprochant des types classiques, c'est-à-dire pour les cas de pente générale forte ou de pente assez nette en tête de vallée ou, enfin, pour les fleuves sahéliens les mieux connus. En zone sahélienne, comme en zone tropicale, nous rencontrerons les cas des petits, des moyens et des grands bassins versants.

#### a) Petits bassins versants :

Nous allons rencontrer des caractéristiques très voisines de celles des petits cours d'eau du régime tropical pur, mais, pour les rivières sahéliennes, la dégradation du lit, inexistante dans le régime tropical pur, sera sensible, même dans les parties amont donnant lieu à des débits de crues et même des modules rapidement décroissants de l'amont vers l'aval.

La diminution de la pluviométrie annuelle, à sols équivalents, sera marquée, non par des crues moins fortes (elles dépendent presque uniquement de l'intensité des averses), mais par des crues moins fréquentes ; les périodes entre les crues seront caractérisées :

- par des débits faibles, si le sol du bassin d'alimentation est perméable et uniquement dans les régions les plus méridionales ;
- par des débits nuls pour les petits cours d'eau en terrain imperméable et, dans presque tous les cas, dans la partie Nord de la zone sahélienne.

Les cours d'eau de moyenne importance (plus de 1 000 km<sup>2</sup>) présentent un écoulement pendant toute la saison des pluies.

1° DÉBITS MOYENS ANNUELS : Ils ont encore moins de sens que pour le régime tropical puisqu'ils varient avec le stade de dégradation du cours d'eau considéré. Même dans des conditions homogènes, le module décroît de l'amont vers l'aval.

Sur le bassin de la Tsanaga, par exemple, à la limite Sud du régime sahélien, le module diminue de l'amont vers l'aval de 6 à 2 l/s.km<sup>2</sup>.

Si on considère une série de petits bassins de même superficie, on trouve des modules variant de 0,1 à 4 ou 5 l/s.km<sup>2</sup>. La valeur 0,1 correspond à un bassin très mal drainé. Si le réseau hydrographique est assez nettement visible, on peut prendre 0,6 l/s.km<sup>2</sup> comme limite inférieure. Un bassin ruisselant bien entre les isohyètes 450 et 650 mm aurait un module de 2 à 3 l/s.km<sup>2</sup> en année moyenne. Il est possible de trouver des valeurs supérieures à 3 l/s.km<sup>2</sup> en région imperméable à fort relief.

Plus la pente est faible, plus le module est réduit. Les bassins perméables présentent des modules presque nuls, sauf si un seuil fait réapparaître les apports infiltrés dans le sol, lors des fortes averses : c'est le cas du bassin expérimental d'Abou Goulcm.

Bien entendu, ces chiffres ne sont valables que s'il y a un réseau hydrographique, si modeste soit-il, donnant lieu à écoulement.

2° VARIATIONS SAISONNIÈRES : A l'amont des bassins, en terrain imperméable et à la limite Sud du régime sahélien, quelques petites crues apparaissent en juin et au début de juillet, mais sans écoulement apparent entre les pointes de débits.

Du 10 juillet au début octobre, c'est la période de hautes eaux avec des séries de pointes brutales, généralement reliées entre elles par des périodes à écoulement apparent faible dans le Sud, par des périodes sans écoulement dans le Nord ou en terrain imperméable.

Comme en régime tropical, le maximum a lieu :

- en terrain imperméable : en fin juillet, début août. La croissance de la végétation donne à l'écoulement un coup de frein très efficace dès le début d'août. Les crues d'août sont nettement inférieures à celles de juillet ;
- en terrain perméable : au début de septembre. La saturation du sol intervient, absorbant une partie importante des apports de juillet et août.

Du mois d'octobre au mois de juin, soit pendant neuf mois, le lit est à sec, mais souvent un écoulement, qui peut être permanent, persiste dans les alluvions.

Les crues varient avec la perméabilité du sol et la pente ; elles peuvent, en terrain imperméable, atteindre :

- 3 à 400 l/s.km<sup>2</sup> pour 150 km<sup>2</sup>,
- 200 l/s.km<sup>2</sup> pour 500 km<sup>2</sup>,
- 100 l/s.km<sup>2</sup> pour 1 000 km<sup>2</sup>.

Ce sont là des valeurs très fortes qu'on doit un peu considérer comme des limites supérieures.

Pour des bassins de dimensions comprises entre 100 et 1 000 km<sup>2</sup>, les débits spécifiques sont, à conditions physiques identiques, nettement plus faibles qu'en régions tropicales. Ceci résulte de la dégradation.

Pour la dimension standard de 25 km<sup>2</sup>, ils sont sensiblement les mêmes, tout au moins au Sud de l'isohyète 450 mm, la plus faible densité de la couverture végétale compensant les difficultés plus grandes de saturation et les averses restant à peu près les mêmes.

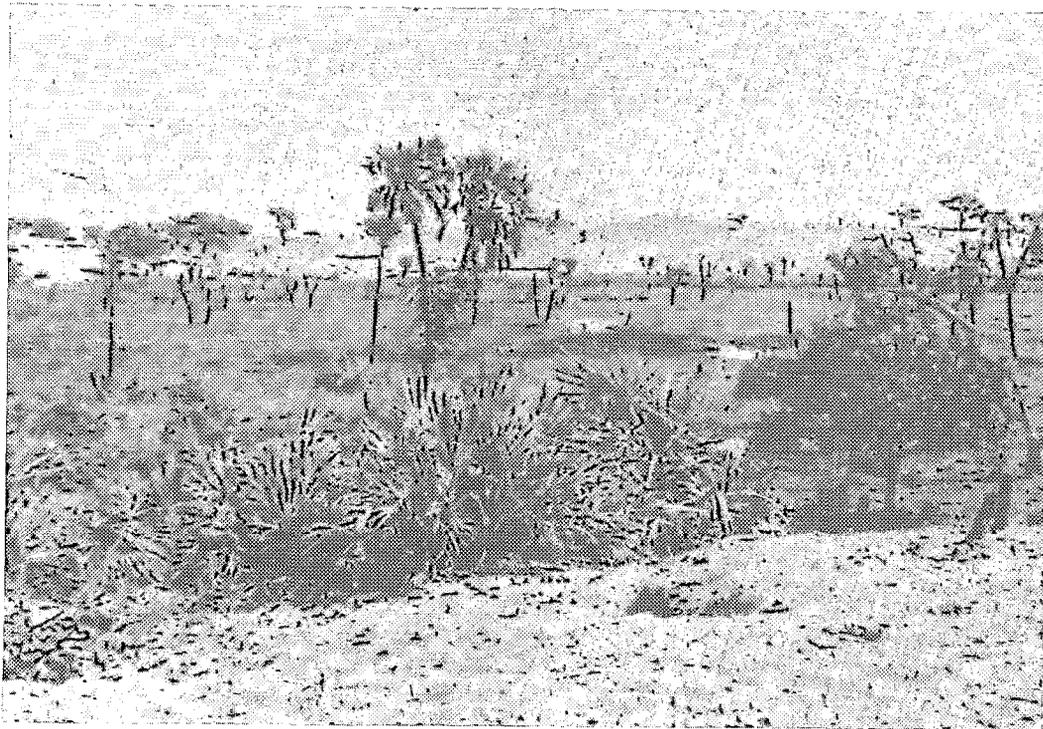
Si les pentes sont suffisantes pour que *le réseau hydrographique ne soit pas trop dégradé*, on trouve des valeurs variant de 300 l/s.km<sup>2</sup> en terrains perméables, à pente modérée, à 3 ou 4 000 l/s.km<sup>2</sup> pour des terrains imperméables à forte pente. Un chiffre courant est 2 000 l/s.km<sup>2</sup> pour des terrains de perméabilité moyenne à assez forte pente.

Pour chaque bassin particulier, une étude du sol, de la pente et du réseau hydrographique s'impose pour choisir la valeur qui convient, sans oublier que, même pour la crue annuelle, le niveau de l'eau peut monter nettement au-dessus des berges apparentes, tout au moins pour des superficies de 25 km<sup>2</sup>.

Au-dessous de 25 km<sup>2</sup>, on peut trouver de très fortes valeurs du débit. La dégradation est encore à peine sensible, la végétation beaucoup plus claire sur les pentes. Il n'y a plus, en particulier, ces bas-fonds qui occupent déjà une partie notable du bassin pour 25 km<sup>2</sup>. En terrain très imperméable, à forte pente, vers l'isohyète 750 mm, on a trouvé des chiffres de 10 000 l/s.km<sup>2</sup> pour un bassin de 4 km<sup>2</sup>.

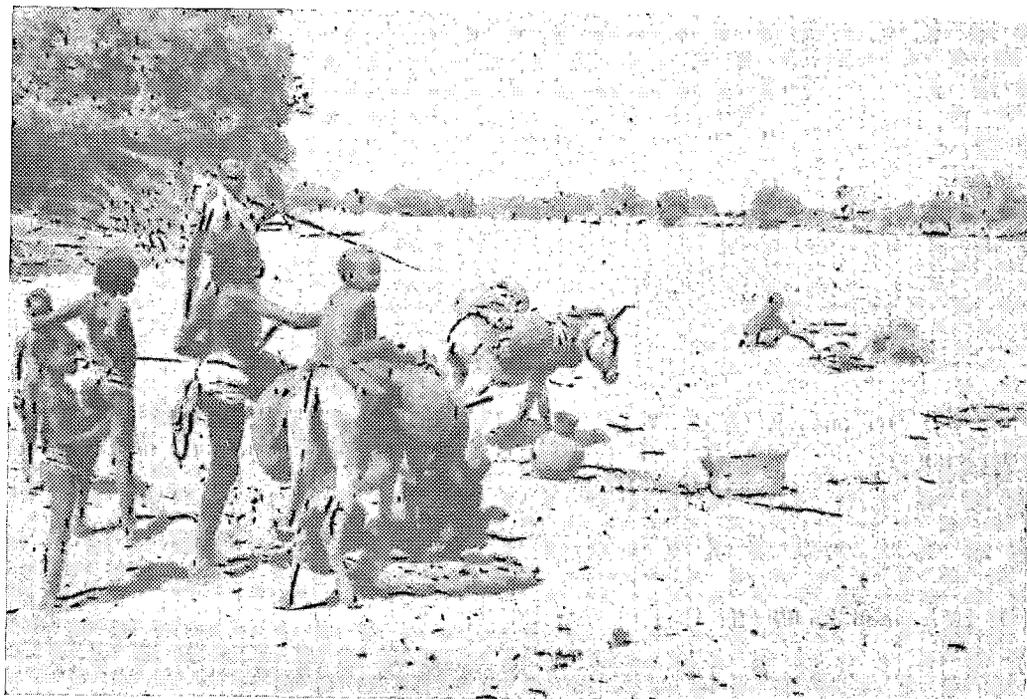
3° CRUES EXCEPTIONNELLES : Les débits de crues exceptionnelles varient peut-être dans une plus large mesure que dans le régime tropical. Ils n'ont pas de rapport avec la hauteur de précipitations moyenne annuelle, mais avec les précipitations maximales en 24 heures (qui, en fait, se produisent en une ou deux heures sous ces climats).

Or, entre les isohyètes 700 et 300 mm, la hauteur d'averse décennale varie très peu : entre 90 et 110 mm. Encore est-il possible que l'étude systématique, actuellement en cours, des averses de cette fréquence, mette en évidence un intervalle beaucoup plus court. Il s'agit presque toujours de tornades classiques. L'examen des hyétogrammes correspondant aux averses rares montre cependant que, dans le Sud, peut-être entre les isohyètes 500 et 750 mm, on trouve à la fois des tornades classiques à une pointe et des averses un peu plus longues à plusieurs pointes qui, dans certains cas, peuvent rappeler



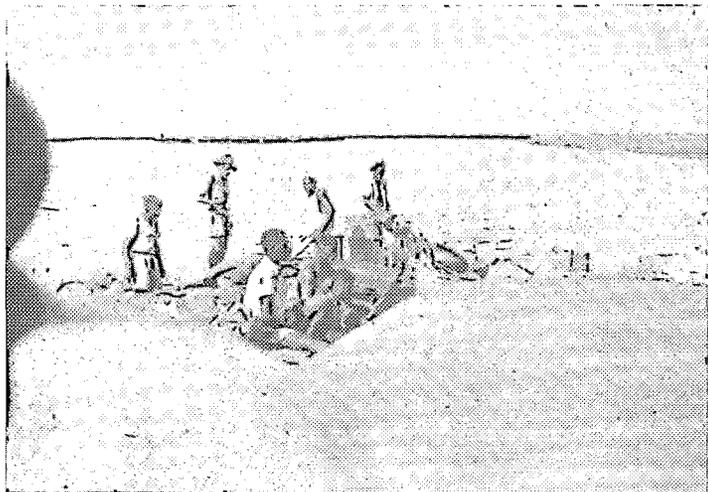
Cours d'eau sahélien  
La Korama (Niger), en février

RODIER



Cours d'eau sahélien  
Le Ba-Tha, près de Oum Hadjer, en saison sèche

RODIER



Le Logone en hautes eaux,  
vers Hollom.

RODIER

Le Logone en hautes eaux au Nord de Bongor  
Le pied des cases Mousgoum correspond  
au point haut de la région.  
Dégradation hydrographique.



RODIER



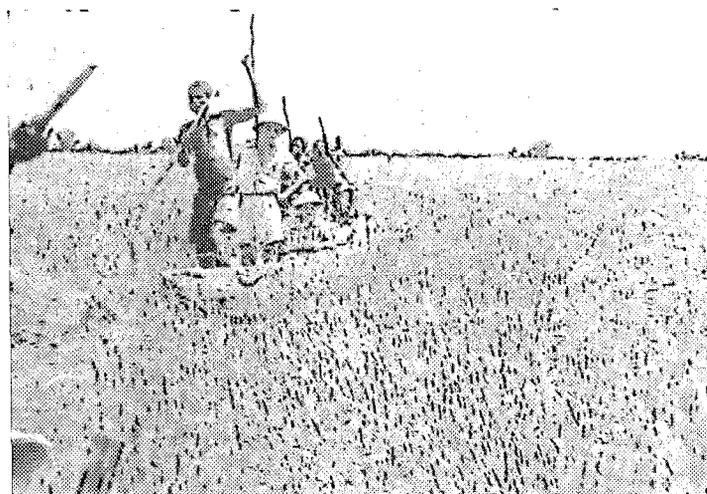
Le Logone en hautes eaux  
à Hollom. Le pied des cases correspond  
au point haut de la région.

RODIER



Capture du Logone, seuil de Dana  
au moment où s'établit la communication.

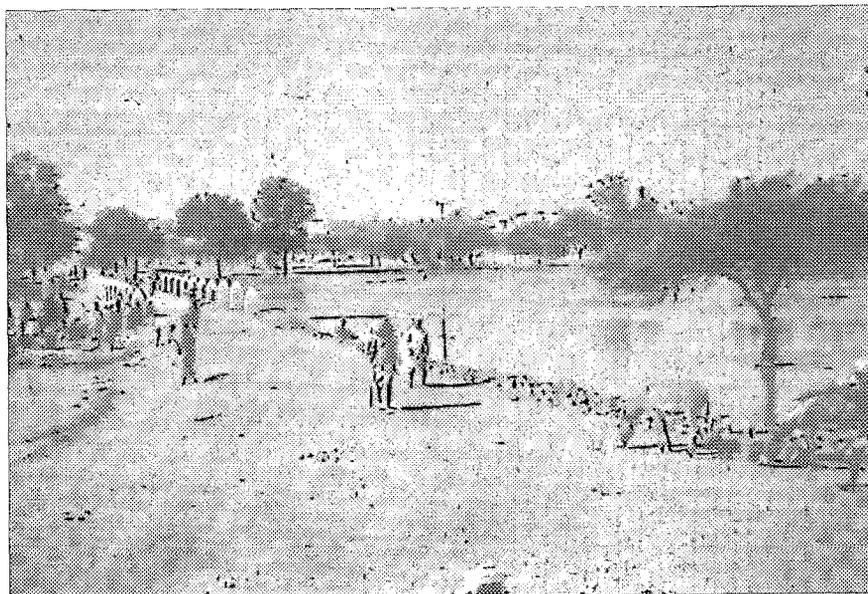
RODIER



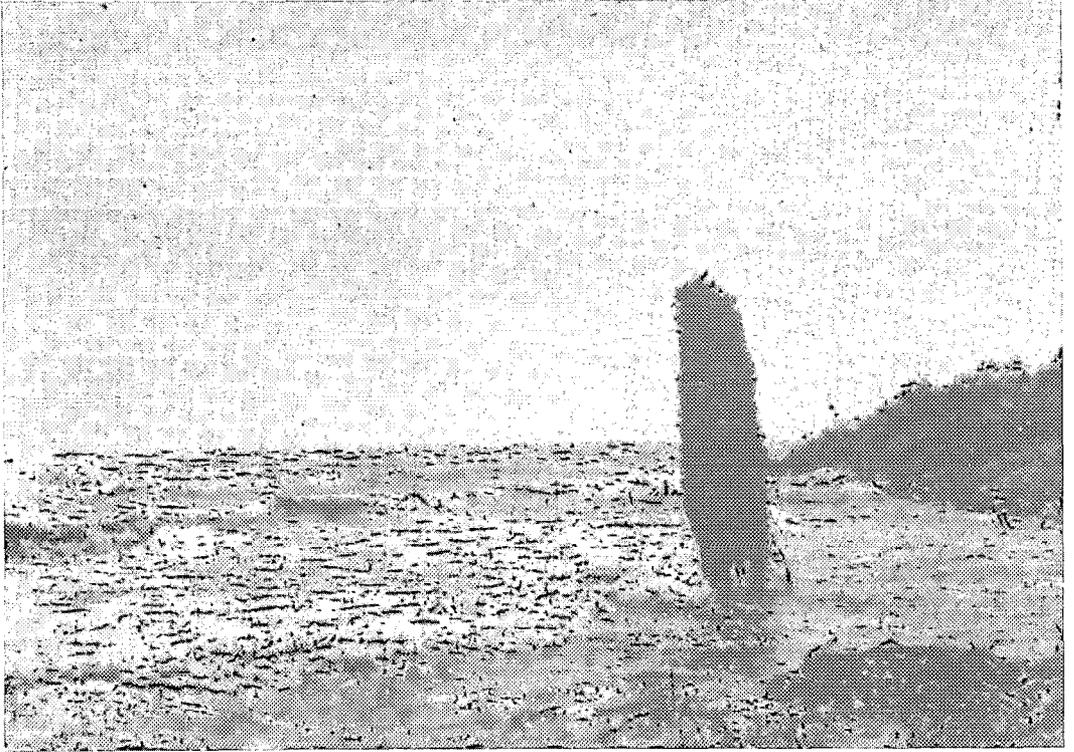
Défluents.  
Débouché du défluent de capture de Dana  
dans le lac de Fianga.

RODIER

Marigot de Goundam  
(défluent du Niger).



RODIER



BOUCHARDEAU

Le lac Tchad  
Rive Ouest, 1956 (notez l'arbre mort qui marque l'emplacement  
de l'ancien rivage)



RODIER

Bahr el Ghazal  
Fin mars 1956 (ce chenal n'existait pas avant les grandes crues qui ont commencé en 1955)

les averses de mousson. Quel type de hyétogramme faut-il choisir pour le calcul des crues décennales ? Il est encore prématuré, au Sud de l'isohyète 500 mm, de préciser lequel de ces deux types a la prépondérance mais, sauf dans les terrains très perméables, le premier type, à hauteur d'averse égale, conduit au plus fort ruissellement. Pour des raisons de sécurité, on s'en tiendra donc à ce diagramme à une pointe dans les applications en terrain de perméabilité moyenne ou faible. On peut schématiser de telles averses par un « corps » ou pluie utile d'intensité supérieure à 20 mm/h correspondant à 85 % de l'averse et durant 90 minutes. Si le corps est défini par une intensité de 40 mm/h, il correspond à 75 % de la pluie totale et dure 55 minutes (pour 60 mm/h, on trouverait 20 minutes). Les durées seraient plus faibles entre les isohyètes 500 et 300 mm.

La saturation du sol joue un rôle variable suivant les caractéristiques du sol.

Les observations effectuées sur bassins expérimentaux au cours de ces dernières années ont permis de dégager quelques chiffres dans un certain nombre de cas courants. En supposant que tous les bassins couvrent la superficie standard de 25 km<sup>2</sup>, on obtient les chiffres suivants pour la crue décennale :

- Sol perméable, sous-sol granitique, pente assez faible (Ouadi Kaoun) : 800 à 1 200 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol perméable, sous-sol granitique, pente assez forte (Ouadi Abou Goulem) : 2 500 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol légèrement perméable, sous-sol granitique, pente modérée (Gagara) : 3 000 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol argileux imperméable, pente très faible, mais il y a un certain drainage (Gagara) : 1 500 l/s.km<sup>2</sup>.
- Reg avec végétation très clairsemée devenant rapidement imperméable par imbibition, pente modérée. Bassin assez analogue au précédent (Taraiman) : 1 600 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol argileux, végétation assez clairsemée, pente modérée, réseau partiellement dégradé (Sébi-kotane) : 1 800 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol d'argile imperméable alternant avec latérite, pente assez forte (Maggia) : 6 000 à 7 000 l/s.km<sup>2</sup>.
- Grès imperméables sur la majeure partie du bassin, pente assez forte (Koumbaka) : 8 000 à 10 000 l/s.km<sup>2</sup>.

Les pentes, telles que celles de Koumbaka, ne sont pas rares mais ce n'est, cependant, pas le cas le plus fréquent, de sorte que, très souvent, on trouvera, pour la crue décennale, des valeurs comprises entre 800 et 3 000 l/s.km<sup>2</sup>, si le réseau hydrographique n'est pas trop mal marqué, au moins à l'exutoire ; mais en terrain très plat et assez perméable, on peut trouver beaucoup moins : dans ce cas, le réseau hydrographique est très flou. De façon générale, les débits de crues exceptionnelles sont peut-être légèrement plus élevées qu'en zone tropicale.

Nous avons vu que les crues diminuent de violence très fortement de l'amont vers l'aval par suite de la dégradation hydrographique. La courbe des débits spécifiques en fonction de la superficie sera donc, toutes choses restant égales par ailleurs, supérieure à la courbe correspondante pour les très petits bassins et inférieure à la même courbe pour des bassins de plus de 50 à 100 km<sup>2</sup>.

Cependant, si le bassin est peu dégradé, on peut trouver encore, pour 1 000 km<sup>2</sup>, des débits de crue décennale élevés, peut-être 500 à 1 000 l/s.km<sup>2</sup>. Mais, en général, la dégradation hydrographique est assez rapide, fort peu de bassins dépassent 5 000 à 10 000 km<sup>2</sup>.

4° IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE : On la connaît mal. Cependant, les quelques exemples observés montrent que, pour les petits bassins, le coefficient d'irrégularité dépasse nettement les valeurs atteintes en régime tropical. Il oscille peut-être entre 4 et 10. Il est d'autant plus fort que la hauteur pluviométrique annuelle est plus faible.

5° COEFFICIENT D'ÉCOULEMENT ANNUEL : En général, il est relativement élevé pour les très petits bassins, surtout si le sol est imperméable et à forte pente : on trouve des chiffres compris entre 5 et 20 % en année moyenne, mais il peut atteindre 25 % dans des cas particulièrement favorables. Il décroît rapidement si la pente devient faible ; l'action de la perméabilité du sol est beaucoup plus complexe. Il décroît également jusqu'à des valeurs très basses, en année déficitaire.

De façon générale, le coefficient d'écoulement est plus faible qu'en zone tropicale : la plus faible densité de la végétation favorise le ruissellement, mais les pertes par évaporation sont beaucoup plus fortes que dans le régime tropical, d'autant plus que les averses sont un peu plus espacées.

Les coefficients d'écoulement donnés plus haut ne doivent pas trop faire illusion, on ne doit pas oublier qu'ils ont été déterminés dans des zones où existait un écoulement à peu près organisé, ce qui n'est pas toujours le cas en régions sahéliennes.

6° EROSION : Elle est assez forte par suite du faible revêtement végétal et peut être comparée à celle des cours d'eau d'Afrique du Nord ; elle doit rester beaucoup plus faible cependant, la dégradation du sol *par l'homme* étant beaucoup moins fréquente.

#### **b) Moyens et grands bassins versants :**

Les cours d'eau sahéliens à bassin versant de moyenne superficie, 1 000 à 10.000 km<sup>2</sup>, sont assez rares. Citons :

— dans l'ex-A.O.F. : les Gorgols Blanc et Noir (Mauritanie), la Kolimbine (Mauritanie), le Mari-got de Karakoro (Mauritanie), le Dargol (Haute-Volta), la Maggia (Niger), le Goulbi de Maradi (Niger), la Korama (Niger) ;

— dans l'ex-A.E.F. : les Ouadi du Ouaddaï.

Les grands cours d'eau sont rares ; nous n'en connaissons que deux dans toute l'immensité de la zone sahélienne francophone (plus de 1 000 000 de km<sup>2</sup>) :

— le Bahr-Azoum, longueur : 610 km, bassin versant : 79 640 km<sup>2</sup> ;

— le Ba-Tha, longueur : 500 km, bassin versant : 50 000 km<sup>2</sup>.

Le Gorouol de Haute-Volta a un bassin versant théorique de 45 000 km<sup>2</sup> à Alcongou, mais une grande partie du bassin est très dégradée (le Haut Béli) et ses débits de hautes eaux n'ont pas l'importance des deux cours d'eau cités plus haut ; il ne donne pas comme eux l'impression d'un cours d'eau « normal ».

Ces cours d'eau sont « nourris » sur une bonne partie de leur cours par leurs affluents successifs, sinon jamais ils n'iraient si loin. Ces apports sont d'autant plus nécessaires que les pertes sont parfois nombreuses le long d'un lit pas toujours très net. C'est surtout le cas pour les grands bassins versants. Nous avons vu, plus haut, les difficultés que rencontre le Bahr-Azoum en amont d'Am-Timan. Ces phénomènes, découverts par Roger Berthelot, à la suite de reconnaissances plutôt sportives, ne représentent probablement qu'une faible partie des exemples de dégradation hydrographique que présente ce cours d'eau depuis sa source.

La notion de débit spécifique ne doit être utilisée qu'avec les plus grandes précautions ; on devra préciser, en particulier, le stade de dégradation à la station considérée.

L'étude du régime de ces cours d'eau présente un grand intérêt pour la raison suivante : il est souvent difficile, avec la « dentelle » des hydrogrammes des petits bassins, de trouver les lois générales de variation d'hydraulicité qui s'observent beaucoup plus facilement sur les courbes régulières des grands bassins.

1° MODULE : Le module spécifique n'a pas de sens pour les trois raisons suivantes :

Le débit est assez fort pendant deux ou trois mois, nul le reste du temps. Le débit moyen annuel ne serait observé que pendant quelques heures en général et il serait très éloigné du débit de crue. Les apports annuels varient beaucoup d'un point à un autre du cours, suivant la dégradation. Enfin, pour les moyens bassins versants, le débit moyen annuel varie beaucoup d'une année à l'autre.

On emploie quelquefois le terme de volume annuel.

Le volume annuel de la Maggia au Pont de Tsernaoua est de l'ordre de 16 000 000 de m<sup>3</sup>.

Le volume annuel du Bahr-Azoum à Am Timan est en moyenne de 1 450 000 000 de m<sup>3</sup>. Il doit être au moins le double à une centaine de kilomètres à l'amont. Il est presque réduit à zéro à une quinzaine de kilomètres à l'aval.

Celui du Ba-Tha à Ati est de 600 000 m<sup>3</sup>.

Les valeurs de l'écoulement sont très faibles. Le calcul donnerait les débits constants suivants pour quelques cours d'eau sahéliens :

- 0,30 l/s.km<sup>2</sup> pour la Maggia à Tsernaoua ;
- 0,55 » pour le Bahr-Azoum à Am-Timan ;
- 0,37 » pour le Ba-Tha à Ati ;
- 0,10 » pour le Gorouol à Alcongui.

2° VARIATIONS SAISONNIÈRES : Les saisons sont encore plus contrastées que sur les grands fleuves des régimes tropicaux.

La saison sèche dure 8 mois à 9 mois 1/2 sans aucun écoulement apparent. Les sables et limons du lit contiennent presque toujours une réserve d'eau précieuse, permanente en général. Dans les sections les plus profondes et les plus encaissées, par exemple dans les gorges du Bahr-Azoum, il subsiste des mares importantes, souvent profondes, où grouillent les poissons et même les crocodiles.

Le début du diagramme de hautes eaux est variable, suivant l'importance du bassin.

Sur les cours d'eau de moyenne importance, comme la Maggia, la montée des eaux est relativement progressive, quelques pointes isolées ou une lente montée pendant la deuxième quinzaine de juillet ; puis, à fin juillet ou début août, la montée s'affirme et on observe une série de pointes relativement écrasées, le débit restant permanent entre les pointes jusque vers le 15 ou 20 septembre, où, après un tarissement de quelques jours, le débit s'annule.

Le tableau ci-dessous précise, à titre d'exemple, les débits moyens mensuels de la Maggia, au Pont de Tsernaoua, ainsi que les époques de la première crue et du tarissement complet.

	PREMIÈRE CRUE	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	ARRÊT DU DÉBIT
1954 .....	5 juil.	1,8 m <sup>3</sup> /s	4,9 m <sup>3</sup> /s	3,6 m <sup>3</sup> /s	vers 25 sept.
1955 .....	16 juil.	0,24 m <sup>3</sup> /s	0,65 m <sup>3</sup> /s	0,3 m <sup>3</sup> /s	vers 20 sept.
1956 .....	9 juil.	0,7 m <sup>3</sup> /s	4,0 m <sup>3</sup> /s	4,3 m <sup>3</sup> /s	30 septembre
1957 .....	2 juil.	0,5 m <sup>3</sup> /s	2,6 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s	4 septembre
1958 .....			lectures douteuses		
1959 .....	12 juil.	0,5 m <sup>3</sup> /s	27,9 m <sup>3</sup> /s	1,6 m <sup>3</sup> /s	24 septembre

Le débit de crue a varié de 1,9 à 80 m<sup>3</sup>/s en sept ans pour 2 500 km<sup>2</sup>, alors que certains affluents ont roulé plus de 100 m<sup>3</sup>/s pour 85 km<sup>2</sup>. On trouverait des variations interannuelles presque aussi fortes sur le Gorouol.

Les crues exceptionnelles sur la Maggia doivent être relativement faibles. On trouve 31 l/s.km<sup>2</sup> pour la crue la plus forte observée : il est possible que ce chiffre corresponde à une fréquence décennale, mais il importe de rester très prudent. Il n'est pas impossible que la crue cinquantenaire soit deux ou trois fois plus forte.

Suivant la nature plus ou moins dégradée du bassin ou l'importance de la pente, les pointes du diagramme annuel de crue seront plus ou moins aiguës.

Sur les Mayos du Nord-Cameroun ou certains cours d'eau du Tagant, les pointes à fort débit seront séparées par des périodes où il ne restera plus qu'un filet d'eau dans le lit, et les débits de crues annuelles et exceptionnelles seront beaucoup plus élevés que ceux que nous venons de donner. Au contraire, sur le Gorouol (Haute-Volta) ou le Béli (Haute-Volta), beaucoup plus dégradés, la saison des pluies sera marquée par un diagramme ondulé, la rivière coulant assez lentement, de mare en mare, sur le Béli, ou au milieu d'une végétation arbustive dense sur les affluents du Gorouol, de bassin supérieur à 2 000 km<sup>2</sup>. Les crues auront du mal à dépasser 20 m<sup>3</sup>/s.

Sur les grands cours d'eau, les fluctuations de juillet, complètement absorbées, ont disparu ; les phénomènes de dégradation tronquant les crues donnent un diagramme presque à paliers, à forts débits, qui rappelle un peu celui des cours d'eau de régime tropical ou tropical de transition traversant la zone sahélienne, tel le Logoné à Logoné-Birni, et pour les mêmes raisons.

Sur le Bahr-Azoum, le flot de crue arrive brutalement au début d'août : en quelques heures, le débit atteint 40 à 100 m<sup>3</sup>/s ; en quelques jours, il atteint le débit moyen de hautes eaux : 200 à 300 m<sup>3</sup>/s.

Pendant deux mois, le débit ne présente que de légères fluctuations : les maximums annuels pour les quatre dernières années varient de 257 à 323 m<sup>3</sup>/s. Le débit de crue serait de 300 m<sup>3</sup>/s environ. Le débit de crue décennale ne dépasserait donc pas 5 l/s.km<sup>2</sup>. Il faudrait compter plus du double, 100 km, à l'amont.

La décrue est assez rapide : elle commence début octobre et dure 1 mois 1/2, donnant lieu à une courbe de tarissement parfaitement régulière.

Le Ba-Tha présente un diagramme analogue, mais un peu plus court : le tarissement ne dure que trois semaines. Depuis le début des observations, le maximum a varié de 57 à 700 m<sup>3</sup>/s à Oum-Hadjer (30 800 km<sup>2</sup>). Les crues décennales sont probablement de l'ordre de 15 à 20 l/s.km<sup>2</sup> à cette station.

Le Gorouol à Alcongui aurait, pour 45 000 km<sup>2</sup>, un débit de crue exceptionnelle de 2 à 3 l/s.km<sup>2</sup>, ce qui met bien en lumière la dégradation hydrographique de ce cours d'eau.

3° COEFFICIENT D'ÉCOULEMENT : Il est très faible : 1,3 % pour la Maggia au Pont de Tsernaoua. On retrouve des chiffres semblables pour le Bahr-Azoum : 2,5 %, et le Ba-Tha à Ati : 2,1 %.

4° IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE : Elle est forte pour la Maggia : le coefficient K<sub>3</sub> doit être de l'ordre de 20 au moins, pour un intervalle théorique de 10 ans. Le Ba-Tha doit avoir un coefficient peut-être un peu plus faible : 15 ? L'irrégularité peut diminuer dans certains cas, si le cours d'eau a été très dégradé : sur le Bahr-Azoum, K<sub>3</sub> doit être voisin de 2. Ceci tient à l'écrêtement des débits.

### III. REGIME SUBDESERTIQUE

Ce régime se distingue de notre régime sahélien par les caractéristiques suivantes :

- les crues sont moins fréquentes au cours de la saison des pluies ;
- les phénomènes de dégradation sont beaucoup plus rapides ;
- l'écoulement superficiel commence à devenir une exception. On ne l'observe plus que dans des régions privilégiées : massifs montagneux, zones imperméables.

Cependant, l'étude de ce régime présente un intérêt au moins aussi grand que celle du régime sahélien.

L'eau est d'autant plus précieuse qu'elle est plus rare, et les études de ruissellement sont essentielles pour l'exploitation rationnelle des ressources en eau. Les zones à fort ruissellement alimentent, en effet, les réserves superficielles, mares temporaires et gueltas ; elles entretiennent également les nappes souterraines (1) qui nécessitent, sous ce climat, une concentration préliminaire, l'infiltration directe devenant insuffisante. Les conditions idéales de mise en réserve correspondent à des zones très perméables (éboulis, par exemple), situées immédiatement à l'aval de massifs à fort écoulement ; l'eau peut être ainsi soustraite très rapidement à l'évaporation.

La connaissance des caractéristiques de l'écoulement permet de déterminer le type d'aménagement le mieux approprié et les volumes maximaux que l'on peut espérer pouvoir utiliser, soit par aménagement de réservoirs, soit par exploitation de nappes souterraines. Il est à noter d'ailleurs que l'évaporation est telle que les réservoirs de type classique ne peuvent être réalisés que dans des cas particuliers.

Le régime subdésertique correspond aux régions comprises entre les lignes isohyètes 300 mm et 100-50 mm.

Il a été étudié, au cours des dernières années, dans un certain nombre de régions montagneuses : le Brakna, le plateau du Tagant, le massif de l'Affolé en République Islamique de Mauritanie, le Sud du massif de l'Air dans la République du Niger, le Sud du massif de l'Ennedi en République Tchadienne, le désert du Gourma dans la République du Mali, à la limite Sud de la zone subdésertique.

Les phénomènes d'écoulement présentant un caractère très fugace dans ces régions et la population étant très clairsemée, il a été nécessaire de conduire les études de façon assez différente des études hydrologiques dans les régions sahéliennes et tropicales.

Les recherches sont orientées dans trois directions :

1° La région à étudier ne comporte généralement qu'un ou deux pluviomètres officiels : on y installe un véritable réseau de pluviomètres, en majeure partie des totalisateurs, de façon à pouvoir tracer les courbes d'isohyètes pour une ou deux saisons des pluies.

2° Un ou deux bassins expérimentaux sont suivis pendant la saison des pluies (trois mois au maximum).

---

(1) Les nappes fossiles exceptées, bien entendu.

3° Par des tournées continues, un hydrologue contrôle les cours d'eau en des points bien déterminés, procède à des jaugeages lorsqu'il y a écoulement, ou relève les lignes de délaissés lorsqu'il arrive trop tard. En quelques points, des limnigraphes sont installés pour déterminer le volume d'écoulement annuel.

Dans toute la mesure du possible, ces opérations sont répétées pendant trois ans. Le ou les pluviomètres exploités en permanence donnent une idée des variations de l'hydraulicité ; les délaissés anciens ou des enquêtes auprès des nomades permettent de reconstituer, tant bien que mal, les crues les plus fortes. Il serait très recommandé d'étudier en même temps l'inféoflux et les nappes souterraines. Pour diverses raisons, cela n'a pas été fait.

Il a été ainsi possible d'obtenir quelques données sur le régime subdésertique.

Les petits cours d'eau présentent, en année moyenne, deux ou trois crues bien nettes, séparées par des périodes sans écoulement, sauf si une mare, un gros massif de sable ou une source maintiennent un léger débit permanent.

La dégradation est très rapide, d'autant plus qu'un nouveau facteur intervient pour empêcher la formation d'un réseau hydrographique cohérent : le transport éolien du sable. En montagne, le lit est bien marqué, avec souvent des gorges et des cascades très pittoresques ; mais, dès que la vallée s'élargit, le lit fait de même, les berges s'abaissent et la dégradation se produit, même lorsque la pente est encore notable et la vallée bien marquée. La mare terminale est au pied de la montagne. En année très humide, elle peut parfois déborder et les eaux dessinent un réseau de rigoles dans le sable à l'aval. Le cours superficiel est prolongé par un cheminement souterrain qui peut aller très loin.

A l'aval d'une première mare, le cours d'eau peut être régénéré par l'arrivée d'un affluent, mais ce phénomène est beaucoup moins fréquent que dans le régime précédent. C'est le cas, par exemple, de l'Ouadi Haouach, au Sud de l'Ennedi.

On peut même observer le phénomène suivant, bien net sur le versant occidental de l'Ennedi :

Un premier réseau hydrographique en montagne débouche dans la plaine et se poursuit par des prolongements fossiles qu'on ne voit guère que sur les photos aériennes. Un second réseau a pris naissance après les derniers changements climatiques, dès le piémont, constitué souvent de « reg » qui ruisselle bien, et s'est superposé aux vestiges du premier. Ceci ne s'est pas fait sans communication, ni capture. Il arrive qu'en année très humide, l'ensemble des deux réseaux soit en eau, sans que l'on puisse dire qu'il y a écoulement continu : le réseau de l'Ennedi, par exemple, est alimenté par les bassins de l'Ennedi, et le réseau de piémont ou réseau du Mortcha, plus à l'« aval », est alimenté par les pluies du Mortcha. Les échanges de débits entre le premier et le second doivent être insignifiants. Ce phénomène est beaucoup plus fréquent dans le régime désertique.

Comme dans le régime sahélien, la dégradation peut ne pas progresser très rapidement si la pente reste forte. On peut alors observer des écoulements organisés sur d'assez grands bassins, avec des débits de crues assez élevés, malgré les quantités d'eau importantes consommées par le remplissage des alluvions du lit. C'est le cas du Kori-Téloua dans l'Aïr, dont le bassin atteint 1 350 km<sup>2</sup> sans beaucoup de dégradation. L'Oued El-Abiod dans le Tagant présente les mêmes caractères.

On trouve, dans cette zone, un certain nombre de vallées fossiles. Les plus connues sont les anciens affluents rive gauche du Niger, à l'aval de Bourem : le Tilemsi et l'Azaouak, et le Bahr-El-Ghazal (1).

Il y a environ 6.000 à 10.000 ans avant l'ère chrétienne, il s'agissait de fleuves puissants à régime tropical ou tropical de transition. Les vastes plaines d'alluvions argileuses créées par ces fleuves dans leurs biefs inférieurs sont, en partie, responsables, par leur perméabilité et leur faible pente, de certaines bizarreries du régime sahélien.

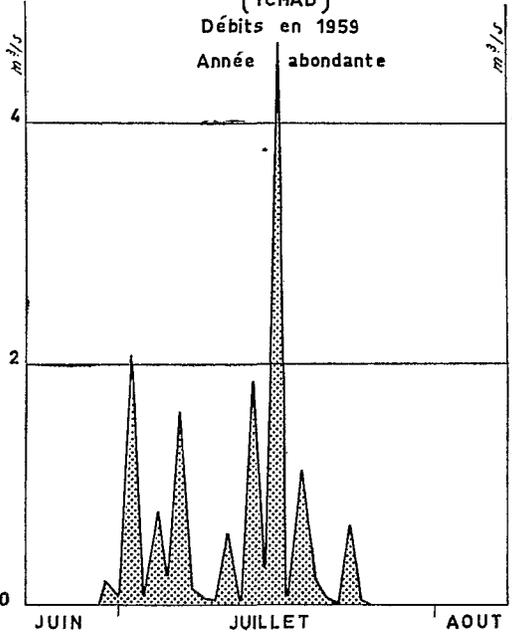
---

(1) Ce dernier a, à la vérité, une pente très faible : ce n'était qu'un bras de mer reliant la dépression du Lac Tchad actuel à la dépression des pays bas du Tchad. Ces deux dépressions représentaient les restes de la vaste mer intérieure de la fin du tertiaire.

RÉGIMES SUBDÉSERTIQUE ET DÉSERTIQUE

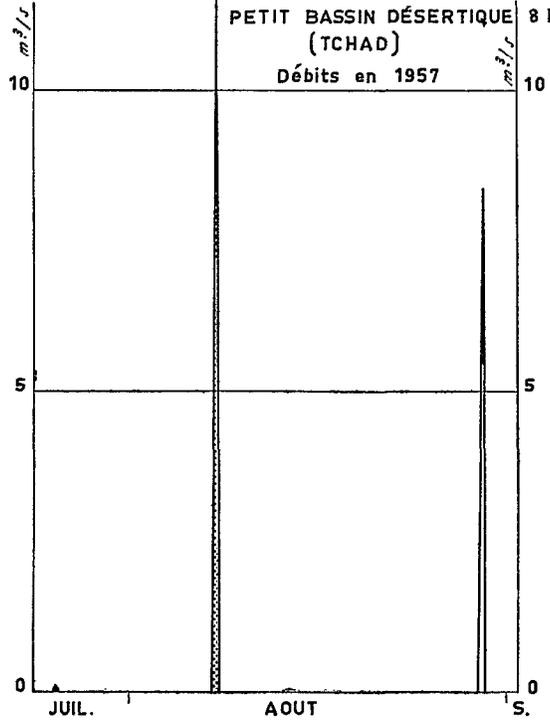
OUADI BACHIKÉLÉ

19 Km<sup>2</sup>  
 PETIT BASSIN SUBDESERTIQUE  
 (TCHAD)  
 Débits en 1959  
 Année abondante



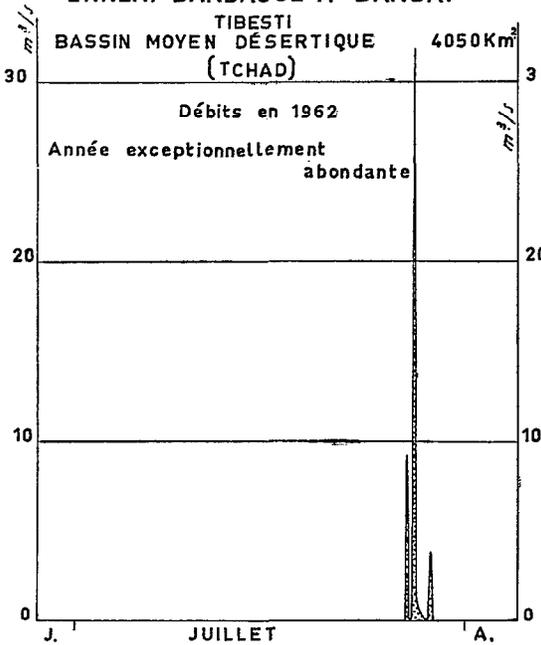
ENNERI KOURIEN DOULIEN

PETIT BASSIN DÉSERTIQUE 8 Km<sup>2</sup>  
 (TCHAD)  
 Débits en 1957



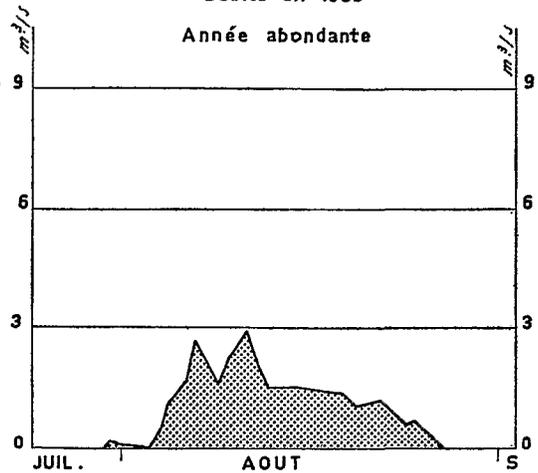
ENNERI BARDAGUE A BARDAI

TIBESTI  
 BASSIN MOYEN DÉSERTIQUE 4050 Km<sup>2</sup>  
 (TCHAD)  
 Débits en 1962  
 Année exceptionnellement  
 abondante



OUADI HAOUACH

7700 Km<sup>2</sup>  
 MOYEN BASSIN DÉGRADÉ SUBDÉSERTIQUE  
 (TCHAD)  
 Débits en 1959  
 Année abondante



Actuellement, on ne trouve guère qu'une ou deux crues par an dans les cours d'eau de la partie amont du bassin de l'Azaouak et, encore, sur le flanc Sud-Ouest de l'Air, le mieux arrosé. La partie Nord du bassin est en zone désertique. Les années très humides, les larges vallées supérieures à l'Ouest d'Agadès sont recouvertes parfois de plus d'un mètre d'eau, mais cette mise en eau ne s'étend pas très loin, et il est à peu près certain que même l'écoulement souterrain ne parvient plus au Niger.

Mais, de façon générale, ces vallées sont fort intéressantes, car elles offrent souvent des facilités pour concentrer l'écoulement superficiel. Les bords des vallées à pentes assez fortes donnent lieu à un certain écoulement qui vient s'accumuler sur l'argile du fond de la vallée, donnant lieu à une mare. C'est ainsi que de telles mares s'observent même en zone désertique. Par exemple, à Koro-Toro, vers l'extrémité aval du Bahr-El-Ghazal, où la mare a été mise en eau lors des années humides de 1956 et 1959 et ne s'est asséchée qu'après plusieurs semaines.

La concentration peut s'effectuer aussi dans des alluvions très perméables : c'est ce que l'on observe vers l'extrémité aval de l'Azaouak, dans le Dallol-Dosso. La réserve ainsi constituée est un peu plus à l'abri de l'évaporation que dans une mare.

Il peut arriver enfin que, en zone sahélienne, un très petit ruisseau prenne naissance au milieu de la large vallée fossile et fraie son chemin vers le Sud. Il en existe quelques-uns qui rejoignent le Niger, au Sud de Gao, lors de fortes crues, mais le volume de leurs apports est extrêmement faible.

Sur les petits cours d'eau, il a été possible de dégager quelques estimations relatives au régime de l'écoulement, grâce aux bassins expérimentaux de Dionaba, de l'Oued Séloumbo, de Tin-Adjar, d'In-Tiziouen et de Bachikélé.

Même dans leur partie amont, ces cours d'eau sont à sec presque toute l'année, sauf ceux qui comme l'Ouadi Bachikélé sont alimentés par une source importante. Presque *tous les ans*, surviennent, comme nous l'avons vu, deux ou trois crues bien nettes. Entre ces crues, le lit reste à sec, sauf dans le cas de trois ou quatre faibles averses donnant lieu à un très léger écoulement. Mais nous sommes certains qu'une fois tous les 20 ans ou tous les 50 ans, la hauteur de précipitations annuelle tombe à 20 ou 40 mm et *qu'il n'y a pas d'écoulement pendant toute l'année*.

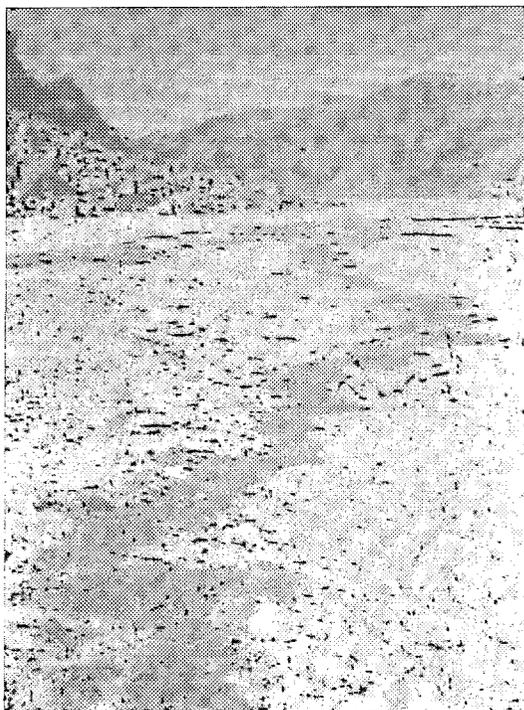
Dès que les averses dépassent 10 à 15 mm, le ruissellement devient intense en montagne, ce qui explique que de si faibles précipitations peuvent donner lieu à concentration des débits et, par là, alimenter les nappes, car il est à peu près certain qu'il ne faut pas compter sur l'alimentation de celles-ci par infiltration *directe* des averses au Nord de l'isohyète 300 mm.

Les crues décennales ont été calculées pour quelques bassins expérimentaux. Elles correspondent toutes à des tornades de 55 à 90 mm, dont le corps est de courte durée : peut-être 20 minutes à une demi-heure. Pour 25 km<sup>2</sup>, on a trouvé les débits spécifiques suivants :

- Sol de schistes décomposés, légèrement perméables, pente modérée (Dionaba) : 800 à 1 000 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sol complexe : argile imperméable ou sable ou quartzite, pente modérée (Tin-Adjar) : 3 500 l/s.km<sup>2</sup>.
- Grès imperméables, pente assez forte (Oued Ali, Tagant) : 4 500 à 5 500 l/s.km<sup>2</sup>.
- Grès imperméables, pas de sol, pente forte (Bachikélé, Ennedi) : 7 000 à 9 000 l/s.km<sup>2</sup>.

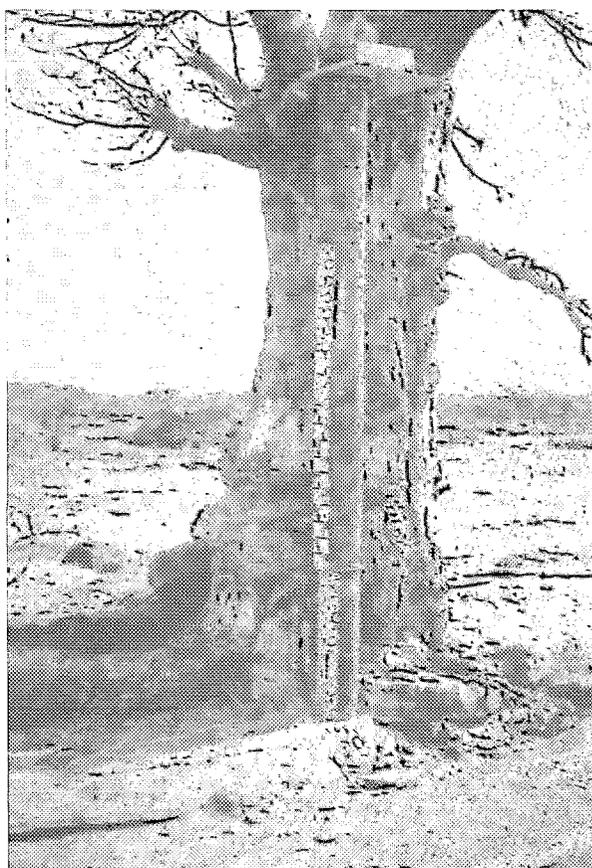
Malgré des averses moins fortes, les débits sont légèrement plus élevés qu'en zone sahélienne, le sol a souvent disparu et la végétation est trop clairsemée pour freiner efficacement l'écoulement dès qu'il y a une certaine pente.

Le coefficient d'écoulement annuel peut être assez élevé, il peut dépasser 10 % : à Bachikélé même, il semble être de 35 %.



Régime subdésertique.  
Délaissés de crue sur un Kori de l'Air.

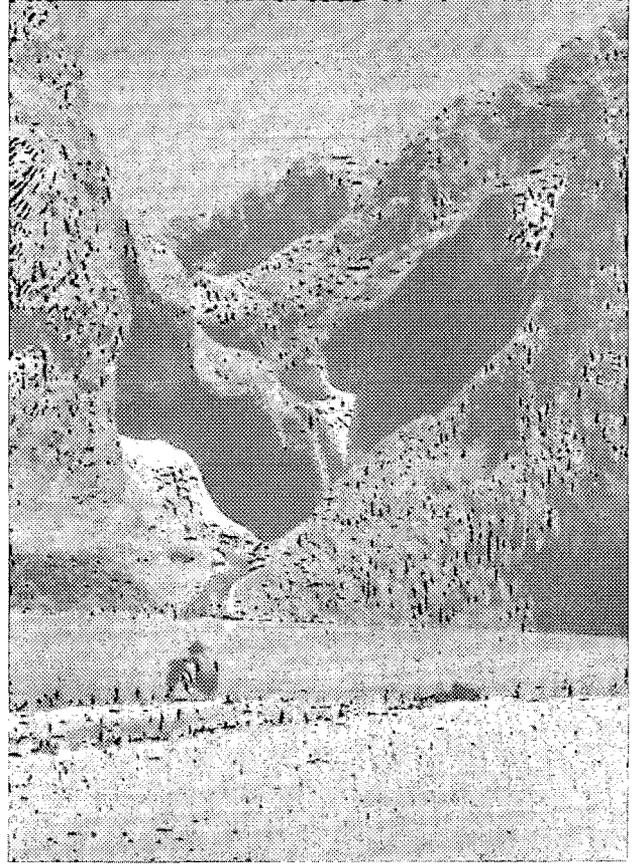
LEFÈVRE



Régime subdésertique.  
Limnigraphe installé  
sur baobab dans l'Affolé  
(Mauritanie)

LEFÈVRE

Cascade de Timia (Aïr).  
Léger écoulement permanent.



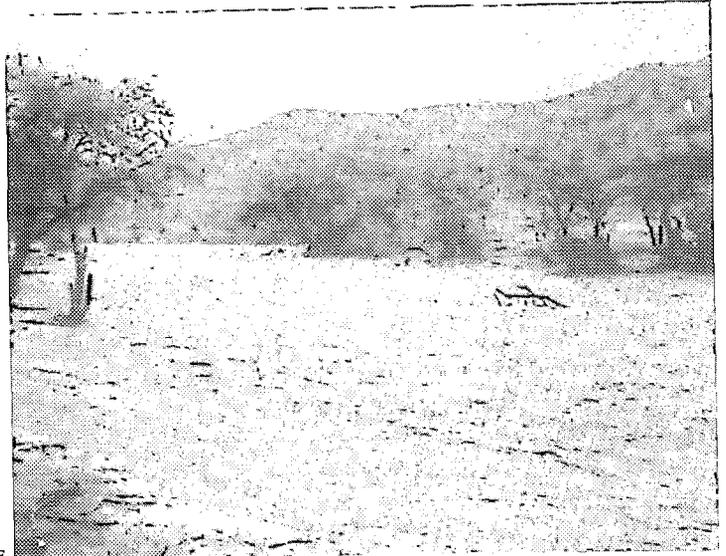
LEFÈVRE



Kori Téloua au Nord d'Ag  
Fin de l'écoulement  
après une crue.

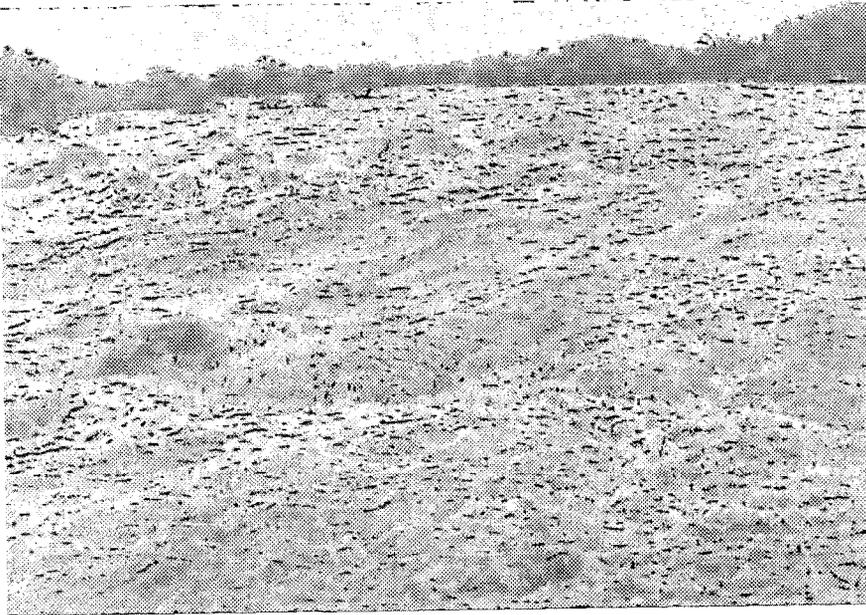
LEFÈVRE

Kori In Tiziouen (1,8 km<sup>2</sup>)  
en crue (Nord d'Agadès).



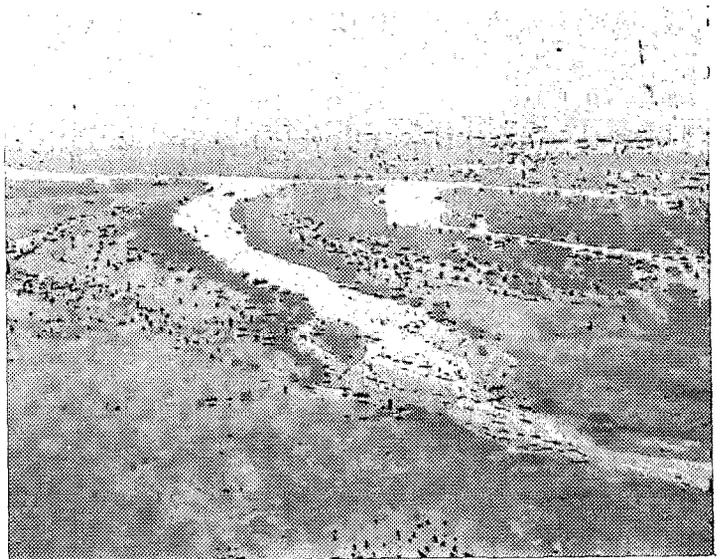
LEFÈVRE

Crue du 22 août 1959  
sur le cours supérieur  
du Kori Téloua (Air).

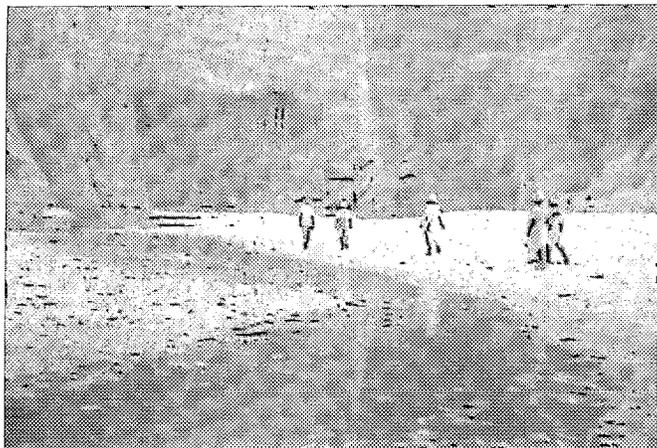


LEFÈVRE

Kori Téloua  
dans la région d'Agadès.  
Dégradation hydrographique.



LEFÈVRE



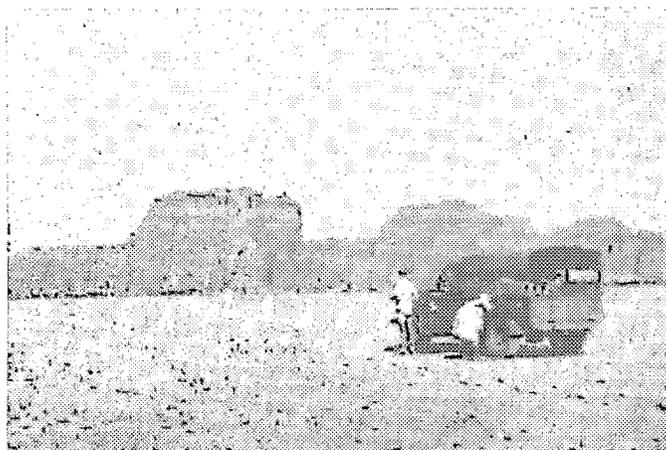
Gorges d'Archei.  
Léger écoulement de « basses eaux »,  
en février 1955.

RODIER

L'Enneri Archei  
(massif de l'Ennedi: Tchad).  
Guelta supérieures d'Archei.



BRAQUAVAL



Mare d'épandage d'Archei,  
en février 1955.

RODIER

Les très petits bassins peuvent ruisseler bien davantage. Dans l'Air, on a trouvé, sur les bassins expérimentaux à forte pente d'In-Tiziouen, les débits de crues décennales suivants :

— pour 0,55 km <sup>2</sup> .....	27 000 l/s.km <sup>2</sup> ,
— pour 1,8 km <sup>2</sup> .....	18 350 l/s.km <sup>2</sup> ,

avec des coefficients d'écoulement annuel moyens respectifs de 35 et 25 %.

Il n'y a pas de grands bassins. Sur ceux de moyenne dimension, les crues ne se produisent pas tous les ans, si le réseau est déjà assez dégradé. L'hydrogramme annuel présente alors une pointe. Si l'année est très abondante, l'écoulement peut durer trois semaines et il peut y avoir plusieurs pointes.

Un cas assez classique est celui de l'Ouadi Haouach, dont le bassin théorique couvre 7 700 km<sup>2</sup>. En année très abondante, par exemple en 1959, l'écoulement a été de 2 870 000 m<sup>3</sup>, correspondant à un coefficient d'écoulement de 0,18 %. Le débit maximal, peut-être quinquennal ou décennal, n'a pas dépassé 3,06 m<sup>3</sup>/s, soit moins de 0,5 l/s.km<sup>2</sup>. On voit l'influence de la dégradation hydrographique. Mais la dégradation n'est pas toujours aussi forte, comme on va le voir ci-dessous.

Des études systématiques ont été effectuées sur les cours d'eau du Brakna et du Tagant (Mauritanie). Elles ont donné les résultats suivants :

Dans le Tagant, on a trouvé, pour la Tamourt-en-Naajé, à Legdem (6 190 km<sup>2</sup>), alimentée par des cours d'eau assez peu dégradés, les volumes annuels suivants :

— 1956 .....	51,3 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ,
— 1957 .....	43,8 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ,
— 1958 .....	66,6 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .

Le coefficient d'écoulement est, en moyenne, supérieur à 3 % (module spécifique théorique : 0,22 l/s.km<sup>2</sup>).

Le maximum observé a atteint 12,5 l/s.km<sup>2</sup>.

Le Gorgol Blanc, dans les mêmes régions, a un bassin de 3 770 km<sup>2</sup>. Le coefficient d'écoulement moyen serait de 6,5 %, correspondant à 70 millions de mètres cubes. La crue décennale est peut-être de 150 m<sup>3</sup>/s, correspondant à 40 l/s.km<sup>2</sup>.

L'Oued Ketchi, au Sud du Brakna, est alimenté par un bassin de 3 800 km<sup>2</sup>, à faible pente, comme l'Ouadi Haouach, mais le sol est beaucoup plus argileux et la pluviométrie plus forte. Le coefficient d'écoulement est de 5 % environ. Le module théorique serait de 0,6 l/s.km<sup>2</sup>, la crue décennale de 40 l/s.km<sup>2</sup>, la crue annuelle de 6 l/s.km<sup>2</sup>.

Le Kori Téloua (dans l'Air) est beaucoup moins arrosé, il ne reçoit que 180 mm en année moyenne, mais *il est très peu dégradé*. A la station principale correspondant à 1 170 km<sup>2</sup>, on a trouvé un coefficient d'écoulement très élevé pour une telle superficie : 23 % en 1959. La crue décennale serait peut-être de l'ordre de 500 m<sup>3</sup>/s (435 l/s.km<sup>2</sup>). On a trouvé 940 l/s.km<sup>2</sup> pour 165 km<sup>2</sup> et près de 5 000 l/s.km<sup>2</sup> pour le Kori Afarak (100 km<sup>2</sup>). Il s'agit de véritables torrents, comparables à ceux que nous avons vus dans le régime sahélien, mais ce sont là des maximums. Les valeurs des fortes crues trouvées dans l'Ennedi sont un peu plus faibles.

On voit toute l'influence de la dégradation : si elle est peu marquée, les débits de crues peuvent être très élevés ; si elle est très avancée (Ouadi Haouach), les débits de crues deviennent très faibles.

L'irrégularité interannuelle est très grande, mais sans grand intérêt pratique. Ce qui est très important à connaître, c'est la valeur minimale du volume écoulé d'une fréquence donnée, décennale par exemple. Nous ne savons pas grand-chose à ce sujet, sauf qu'elle est faible par rapport à la valeur moyenne, peut-être 10 à 20 % de cette valeur dans les cas les plus courants.

#### IV. REGIME DESERTIQUE

C'est le régime observé au Nord de la ligne isohyète annuelle 100-150 mm. Cette ligne est bien arbitraire, car, d'une part, ce n'est pas avec une vingtaine de stations pluviométriques, plus ou moins représentatives, que l'on peut tracer une telle courbe sur une longueur de 3 500 km ; d'autre part, les précipitations sur les massifs montagneux sont mal connues ; mais il semble bien que les massifs les plus importants ne reçoivent guère plus de 100-150 mm par an. Précisons, d'ailleurs, que, dans le régime désertique, les moyennes pluviométriques annuelles n'ont que peu de signification. La variabilité d'une année à l'autre est extrême. Il y a même de nombreuses régions où il ne pleut pas tous les ans. Cependant, le phénomène de la mousson apporte une certaine régularité.

Le régime désertique peut être observé au Nord et au centre de la Mauritanie, au Nord du Mali, du Niger et du Tchad. Ces régions font partie théoriquement des bassins du Lac Tchad et du Niger. En fait, il est certain qu'aucun apport, même souterrain, qui en proviendrait, ne parvient à ces fleuves ou au lac.

On commence à avoir quelques indications sur ce régime. Les renseignements que nous avons recueillis dans le Nord de l'Air, de l'Ennedi, dans le Tibesti, apportent quelques compléments quantitatifs aux quelques pages publiées à ce sujet par M. Jean Dubief dans son « Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ».

L'écoulement ne se produit que dans des conditions exceptionnelles : sol imperméable, forte pente, précipitations fortes. Ces conditions ne peuvent se rencontrer, en fait, que dans les massifs montagneux de la Mauritanie, de l'Adrar des Iforas, de l'Air, de l'Ennedi, du Borkou et du Tibesti.

Il n'y a plus de saison de crues comme dans les régimes subdésertiques. Dans beaucoup de ces massifs, on observe, en moyenne, une crue par an dans les régions privilégiées (en fait, il y a quelquefois deux crues la même année succédant, par exemple, à une période de deux ans sans crue). Mais, sauf pour les régions les plus occidentales, ces crues, dues aux tornades de la mousson, se produisent en été : juillet et août.

La Mauritanie occidentale, sous l'influence de l'alizé maritime boréal, en provenance de l'anticyclone des Açores, peut recevoir, comme le centre du Sahara, des pluies d'automne, d'hiver ou de printemps, mais il est peu probable que ces pluies, correspondant souvent au crachin du régime atlantique, puissent donner lieu à des crues, sauf sur des sites particulièrement favorables.

De même, des perturbations typiquement sahariennes peuvent produire, au Nord du Mali, du Niger ou du Tchad, des petites averses en avril-mai ou des pluies d'hiver : on a vu, par exemple, de la neige sur les flancs du Tousside au Tibesti. Mais, comme en Mauritanie, il semble bien que ce genre d'averse ne donne pratiquement pas lieu à écoulement.

Les averses de la mousson se produisent, bien entendu, sous forme de tornades très brèves et à forte intensité ; elles donnent lieu facilement à écoulement sur les petits bassins de montagne. Une averse de 8 à 9 mm, par exemple, donne lieu à une crue assez violente ; pour 20 mm, c'est déjà une forte crue. Pour une forte crue, on peut trouver des coefficients de ruissellement très élevés : 75 %, par exemple, pour 2 km<sup>2</sup>. Il semble bien que, sur ces petits bassins, l'écoulement soit relativement abondant.

Par exemple, sur l'unique bassin expérimental désertique, celui de Kourien Doulien (8 km<sup>2</sup>), on a observé les maximums suivants :

— 1957 .....	12 m <sup>3</sup> /s (1 500 l/s.km <sup>2</sup> ) : année déficitaire.
— 1958 .....	60 m <sup>3</sup> /s (7 500 l/s.km <sup>2</sup> ) : année excédentaire.
— 1959 .....	78 m <sup>3</sup> /s (9 750 l/s.km <sup>2</sup> ) : année très excédentaire.

La crue décennale y a été estimée à 5 000-7 000 l/s.km<sup>2</sup>, ramenée à 25 km<sup>2</sup>. Elle correspond à une averse de 50 mm (maximum ponctuel).

Les bassins expérimentaux d'In Tiziouen dans l'Air et de Bachikélé dans l'Ennedi, bien que situés en zone subdésertique, donnent des indications précieuses sur le caractère général de la violence de l'écoulement. Ces forts débits sont dus à la forte intensité des précipitations, à l'absence de végétation et, souvent, de sol et, aussi, aux fortes pentes. Mais, presque toujours, la dégradation hydrographique est extrêmement rapide, de sorte que ces crues ne vont pas bien loin et que le nombre de crues annuelles diminue assez rapidement de l'amont à l'aval. Il passe, peut-être, de 2 pour 10 km<sup>2</sup> à 1 pour 300 km<sup>2</sup>, à 0,5 pour 1 000 km<sup>2</sup> et à 0,10 pour 5 000 km<sup>2</sup>, pour un réseau hydrographique pas trop dégradé.

Le débit spécifique des crues maximales décroît aussi très vite : par exemple, dans le Nord de l'Ennedi, on a observé sur le système hydrographique d'Angrétaha les maximums suivants, dont il serait bien difficile de préciser la fréquence :

— Pour 18 km <sup>2</sup> .....	2 560 l/s.km <sup>2</sup> .
— Pour 280 km <sup>2</sup> .....	520 l/s.km <sup>2</sup> .
— Pour 1 000 km <sup>2</sup> .....	46 l/s.km <sup>2</sup> .

On a trouvé des résultats analogues dans le Nord de l'Air.

Dans la vallée du Zoumri, précipitation moyenne annuelle inférieure à 50 mm, Y. Brunet-Moret a trouvé en 1962 les résultats suivants pour une crue, peut-être de période de retour de 20 ans :

— Pour 200 km <sup>2</sup> .....	2 000 l/s.km <sup>2</sup> .
— Pour 4 000 km <sup>2</sup> .....	100 l/s.km <sup>2</sup> .

Le relief étant plus accentué que dans l'Ennedi, la dégradation est moins rapide.

Le coefficient d'écoulement est faible, même en montagne, mais non négligeable. Il décroît rapidement avec la superficie du bassin. Par exemple, à Kourien Doulien (8 km<sup>2</sup>), il est de l'ordre de 20 à 30 % en moyenne, mais il est souvent nul plus à l'aval, à Ohou Dahon (1 000 km<sup>2</sup>).

L'écoulement varie beaucoup avec l'exposition. On peut, par exemple, présenter l'écoulement dans le Tibesti occidental comme suit, étant bien entendu qu'il s'agit d'un simple schéma qualitatif :

- Enneris Yao, Marou, Miski Supérieur : une crue par an (en moyenne) au Sud du Massif.
- Tributaires du Bardaguet à l'amont de Bardai (Zoumri) : une crue tous les deux ou trois ans, sur le versant Nord du Massif.
- Enneris de la région d'Aozou : une crue tous les dix ans.

De façon générale, les fortes crues décennales ou quinquennales ne sont pas sans intérêt, car ce sont elles qui alimentent les nappes et apportent des volumes suffisants pour cela. Précisons qu'entre des crues de période de retour 5-10 ans et celles de période de retour 20-40 ans, il y a une très grande différence : le rapport peut être de 1 à 10.

Les petites crues imbibent simplement l'inféoflux quand elles y arrivent.

Précisons à ce sujet que si l'écoulement d'inféoflux apporte, en régime subdésertique, un appoint fort important pour l'alimentation des hommes et des troupeaux, ces ressources sont beaucoup plus précieuses en régions désertiques. On observe bien des écoulements permanents dans le lit de certains torrents, mais ils ne proviennent pas obligatoirement de réserves accumulées dans le lit : ils peuvent être dus à des sources qui débitent au niveau du lit, comme à Aozou ou dans la vallée du Zoumri. Le cas de Timia (dans l'Air) est plus complexe : une coulée de basalte a barré la vallée constituant à l'amont un véritable réservoir de sable, pouvant accumuler beaucoup plus d'eau qu'un lit sableux normal. En outre, il est fort probable que les coulées de basalte contiennent des réserves d'eau importantes.

Le coefficient d'irrégularité interannuelle n'a plus de signification en zone désertique. Mais on peut donner une idée de cette irrégularité par la liste des crues de l'Enneri Zoumri à Bardaï pour les neuf dernières années :

— 1954 .....	425 m <sup>3</sup> /s
— 1955 .....	0
— 1956 .....	0
— 1957 .....	0
— 1958 .....	> 5 m <sup>3</sup> /s
— 1959 .....	0
— 1960 .....	> 5 m <sup>3</sup> /s
— 1961 .....	5 m <sup>3</sup> /s (février 1961).
— 1962 .....	3 crues : 4 m <sup>3</sup> /s, 9 m <sup>3</sup> /s, 32 m <sup>3</sup> /s (770 000 m <sup>3</sup> ).

## V. REGIME TROPICAL DE TRANSITION

Il se distingue du régime tropical pur par une saison de hautes eaux nettement plus longue (au moins quatre mois) et une saison de basses eaux beaucoup moins sévère.

Il correspond à des précipitations annuelles de 1 300 à 1 500 mm en général, mais parfois celles-ci peuvent atteindre 2 000 mm et plus. C'est le pays des galeries forestières : minces au Nord, beaucoup plus épaisses au Sud. Les palmiers à huile, qui apparaissent dans la moitié Nord, deviennent très communs dans la moitié Sud où la végétation reste verte presque toute l'année.

Le régime tropical de transition est le mieux connu des régimes d'Afrique Noire, car il est souvent représenté par de grands fleuves : Niger, Oubangui, Bénoué, pour lesquels la saison sèche pose des problèmes de navigation difficiles. C'est pourquoi on s'est préoccupé de bonne heure de leurs variations de hauteurs d'eau, ce qui fournit aux hydrologues des relevés sur de longues périodes.

C'est, en général, un régime hydrologique de tout repos, surtout si on le compare aux régimes que nous venons de présenter.

### 1° Extension

La zone du régime tropical de transition est limitée au Nord par l'isohyète 1.200 mm, au Sud par la limite Sud du F.I.T. qui passe *grosso modo* par Bouaké, le Nord de Yaoundé et la limite Nord de la grande forêt du Moyen-Congo.

Il comprend les bassins suivants :

- l'extrémité méridionale du bassin du Sénégal,
- les branches-mères du Niger,
- les fleuves côtiers de Guinée,
- la partie amont des fleuves côtiers de Côte d'Ivoire,
- la partie inférieure du bassin de la Volta,
- certains affluents du Niger Inférieur et les affluents rive gauche de la Bénoué,
- les cours d'eau de l'Adamaoua,
- le Sud du bassin du Logone,
- le Sud-Ouest du bassin du Chari,
- le Nord des bassins de l'Oubangui et du MBomou.

Nous classerons les fleuves côtiers du Dahomey dans un sous-régime particulier.

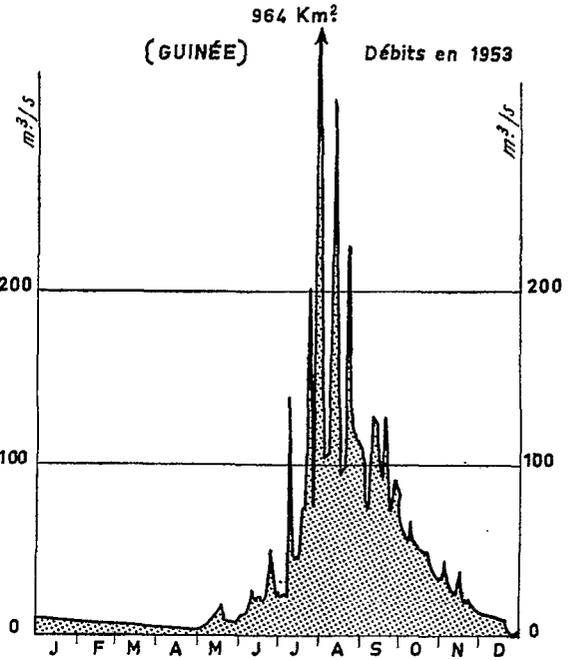
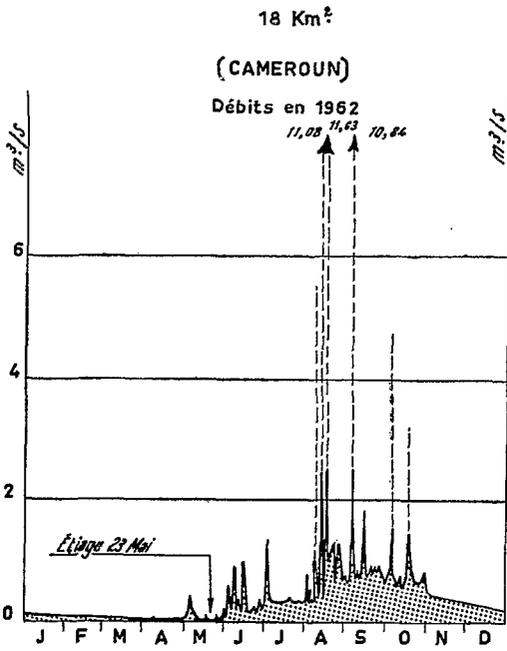
En suivant cette énumération, on peut constater l'inclinaison générale sur les parallèles de cette bande Ouest-Est. C'est l'inclinaison des isohyètes et du F.I.T. La partie méridionale de cette bande présente des caractères légèrement différents qui correspondent à un sous-régime méridional.

Les caractéristiques données ci-après correspondent au régime tropical de transition classique.

RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

BASSIN EXPÉRIMENTAL DE BOUNDJOUK

LE SAMOU A GRANDES CHUTES



LE NIANDAN A BARO

LE LOGONE A MOUNDOU

12 600 Km<sup>2</sup>

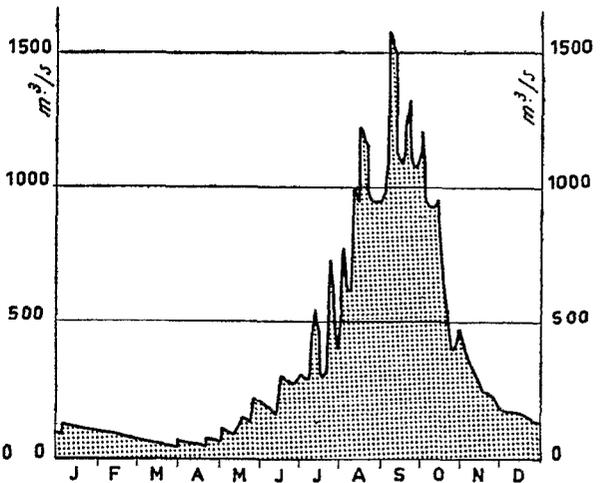
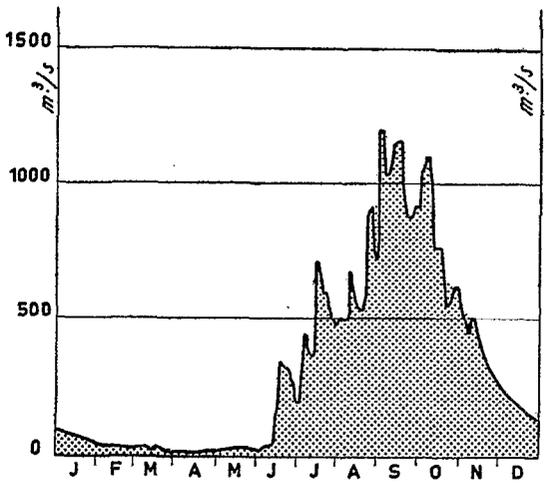
34 900 Km<sup>2</sup>

(GUINÉE)

(TCHAD)

Débits en 1957

Débits en 1957



## 2° Débits moyens annuels

Le tableau ci-dessous montre qu'ils varient en général de 10 l/s.km<sup>2</sup> à 21 l/s.km<sup>2</sup>.

Ils sont :

- plus forts dans les régions accidentées et très arrosées de la moitié Ouest de l'ex-A.O.F. (Guinée, Ouest de la Côte d'Ivoire) et du Sud-Ouest du Cameroun : 13 à 22 l/s.km<sup>2</sup>, exceptionnellement 35 à 40 l/s.km<sup>2</sup> (dans le Fouta-Djallon). Cette région est bien exposée à la mousson, les terrains y sont imperméables et la pente forte ;
- plus faibles en République Centrafricaine : entre 5 et 9 l/s.km<sup>2</sup> par suite de l'influence continentale et de l'amortissement des crues dont nous parlerons plus loin.

Il est rare qu'un bassin soit situé en entier dans le régime tropical de transition : les chiffres du tableau précédent seront donc souvent trop faibles par suite de l'influence tropicale pure ou trop forts par suite d'influences méridionales.

Les précipitations annuelles ne se trouvent majorées que de 50 % par rapport au régime tropical, alors que les modules ont quadruplé dans certains cas.

### RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

#### Modules annuels spécifiques

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM- ANN. MOY. mm	MODULES m <sup>3</sup> /s	MODULES SPÉCIF. l/s.km <sup>2</sup>	OBSERVATIONS
Falémé à Kidira .....	28 180	1 175	195	6,9	Infl. tropic.
Niger à Kouroussa (1) ....	18 000	1 740	241	13,4	Légère infl. trop.
Niandan à Baro (1) .....	12 600	1 970	261	20,7	
Milo à Kankan (1) .....	9 900	1 925	216	21,8	
Sassandra à Guessabo ....	35 400	1 665	(310)	8,8	
Mbéré à Mbéré .....	7 100	1 550	110	15,5	
Logone à Moundou .....	34 900	1 460	413	11,8	
Ouham à Bozoum .....	8 200	1 450	150	18,3	
Lom à Bétaré-Oya .....	10 680	1 480	182	17,0	Var. méridion.
Mbam à Goura .....	43 000	1 780	788	18,6	Var. méridion.
Kotto à Kembé .....	75 200	1 400	394	5,2	
Chinko à Rafai .....	48 000	1 415	392	8,2	
Mbomou à Zémio .....	28 650	1 500	160	5,6	
Bénoué à Yola .....	107 000	1 160	740	6,9	Infl. tropic.
Niger à Koulikoro (1) ....	120 000	1 595	1 545	12,9	Infl. tropic.
Sanaga à Edéa .....	135 000	1 630	2 158	16,0	
Oubangui à Bangui (1) ....	500 000	1 560	4 285	8,5	
Pendé à Doba .....	15 600	1 430	139	8,9	Infl. tropic.
Vina à Lahoré .....	1 690	1 500	40	23,7	Var. méridion.
Konkouré à Téliélé (1)....	10 250	2 060	355	34,6	Var. montagnard
Badi à Badi .....	3 240	2 800	185	57	Var. méridion.
Samou à Gdes Chutes ....	964	2 100	39	40,5	Var. méridion.
Wouri à Yabassi .....	8 250	2 150	325	39,4	Var. méridion.
Faro à Safai .....	23 500	1 545	364	15,4	

(1) Moyenne établie sur une période de plus de 30 ans.

### 3° Variations saisonnières

Sur les petits bassins, l'écoulement est souvent permanent, surtout dans les zones de carapace latéritique. Cependant, au Nord-Est de la Côte d'Ivoire, au Nord du Ghana et du Dahomey, les débits d'étiage sont souvent nuls par suite d'une pluviométrie annuelle plus faible.

On rencontre en saison sèche, de décembre à avril, quelques petites pointes de crues isolées.

La saison des pluies est marquée par une dentelle prolongée de mai à fin octobre, avec débit de base notable entre les crues.

Sur les moyens et grands bassins, la période de très basses eaux : février, mars, avril, est caractérisée par des débits notables : débits du mois le plus faible : 0,5 à 2 l/s.km<sup>2</sup> (nous verrons que, dans la variante Sud, il atteint 4 à 5). Cet étiage se produit généralement en avril. Le tableau ci-après donne quelques exemples. On trouvera certaines valeurs en dehors de ces limites, pour les mêmes raisons que plus haut (influence tropicale ou influence méridionale).

#### RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

##### Débits d'étiages caractéristiques

(Valeurs médianes)

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANNUELLE mm	DÉBIT D'ÉTIAGE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE D'ÉTIAGE l/s.km <sup>2</sup>	OBSERVATIONS
Falémé à Kidira .....	28 180	1 175	(2)	(0,07)	Infl. tropic.
Niger à Kouroussa (1) ....	18 000	1 740	7,9	0,44	Légère infl. trop.
Niandan à Baro (1) .....	12 600	1 970	13,6	1,08	
Milo à Kankan (1) .....	9 900	1 925	13	1,31	
Sassandra à Guessabo ....	35 400	1 665	30	0,86	
Logone à Moundou .....	34 900	1 460	44	1,26	
Mbéré à Mbéré .....	7 100	1 550	(13)	1,83	
Pendé à Doba .....	15 600	1 430	7	0,45	Infl. tropic.
Ouham à Bozoum .....	8 200	1 450	25	3,05	
Lom à Bétaré-Oya .....	10 680	1 480	45	4,20	Var. méridion.
Vina à Lahoré .....	1 690	1 500	6,3	3,73	Var. méridion.
Mbam à Goura .....	43 000	1 780	112	2,60	Var. méridion.
Kotto à Kembé .....	75 200	1 400	105	1,40	
Chinko à Rafaï .....	48 000	1 415	55	1,15	
Mbomou à Zémio .....	28 650	1 500	33	1,15	
Konkouré à Téliélé .....	10 250	2 060	10	0,98	
Badi à Badi .....	3 240	2 800	5	1,54	
Samou à Gdes Chutes ....	964	2 100	1,75	1,82	
Wouri à Yabassi .....	8 250	2 150	58	6,70	Var. méridion.
Faro à Safaï .....	23 500	1 545	(15)	0,6	Infl. tropic.
Bénoué à Yola .....	107 000	1 160	(15)	0,14	Infl. tropic.
Niger à Koulikoro .....	120 000	1 595	54	0,45	Infl. tropic.
Sanaga à Edéa .....	135 000	1 650	440	3,27	Var. méridion.
Oubangui à Bangui .....	500 000	1 560	910	1,81	

(1) Ces débits, calculés sur la période 1908-1960, doivent être majorés de 30 % si on veut les comparer à ceux des autres stations, calculés sur la période 1945-1960 ou 1950-1960.

Les débits d'étiage sont donc beaucoup plus élevés que dans le régime tropical pur. Ceci tient :

- a) à un volume de crue annuelle plus élevé et à des températures diurnes plus faibles (évaporation plus faible) ;
- b) à une période sans pluie plus courte ;
- c) au rôle de régularisateur de la carapace latéritique. C'est ainsi qu'en février, au cours des reconnaissances d'une zone de partage des eaux, nous avons observé le début de l'écoulement à 1 km en général de la ligne de crête, au pied d'éboulis latéritiques. Ce point particulier, que les autochtones appellent « tête de l'eau », est marqué par l'extrémité amont de la galerie forestière ou cordon forestier.

Les très basses eaux durent donc pendant quatre mois (six mois dans certains cas exceptionnels).

En Basse Guinée, les premières petites crues sont retardées par l'alizé boréal, mais, sur les branches supérieures du Niger, qui prennent leurs sources plus à l'Est, elles apparaissent en mai. Sur le Nord-Oubangui, moins bien arrosé, la fin de la période de basses eaux est plus tardive.

Les premières grandes crues commencent nettement en juin sur les branches supérieures du Niger, en Basse Guinée et dans l'Adamaoua. Elles tardent un peu plus sur les affluents supérieurs de l'Oubangui. On observe alors une série de pointes de débits croissantes jusqu'à la série de grandes pointes qui caractérisent la crue. Celle-ci dure de juillet à octobre ou novembre, soit quatre à cinq mois au lieu de trois dans le régime tropical pur.

Les débits d'août, septembre et octobre sont particulièrement forts ; novembre l'est également sur l'Oubangui. Faut-il voir là l'influence d'une latitude plus basse ?

Le maximum se produit généralement en septembre mais, en Basse Guinée, on l'observe en août. En Oubangui et sur les cours d'eau de grande longueur, il a lieu en octobre au contraire.

Le maximum mensuel, comme le module, diminue assez régulièrement de l'Ouest à l'Est :

- 40 à 65 l/s.km<sup>2</sup> dans l'Ouest de l'ex-A.O.F. (avec 125 à 150 en secteur montagneux très arrosé) ;
- 12 à 40 l/s.km<sup>2</sup> dans l'ex-A.E.F. (avec parfois 50 l/s.km<sup>2</sup> dans l'Adamaoua). Le chiffre de 12 l/s.km<sup>2</sup> est observé dans l'Est de l'Oubangui.

Décembre est un mois à débit encore assez fort. Le tarissement se poursuit en janvier et février.

#### 4° *Maximums annuels*

##### a) **Sur les petits bassins :**

Ils sont bien moins élevés que l'on pourrait s'y attendre par suite de l'influence retardatrice de la végétation sur le ruissellement. C'est là un des traits les plus caractéristiques du régime tropical de transition.

Une première indication de ce fait avait été déjà donnée par les études de la NGola, mais il était difficile de faire la distinction entre l'influence de la végétation et celle d'un sol assez perméable. L'influence très nette de la croissance des végétaux au Nord-Cameroun et les études sur les cours d'eau de Guinée, du Dahomey et de Côte d'Ivoire ont bien mis en évidence l'influence de la couverture végétale.

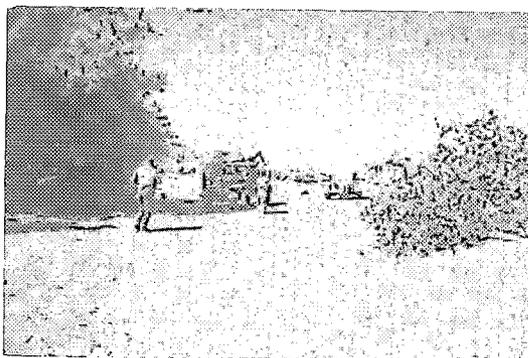
Les petits bassins étudiés dans cette zone donnent lieu à des courbes de ruissellement beaucoup moins pointues qu'en régime tropical (la végétation allonge beaucoup la durée du parcours) et à des débits hypodermiques très appréciables.



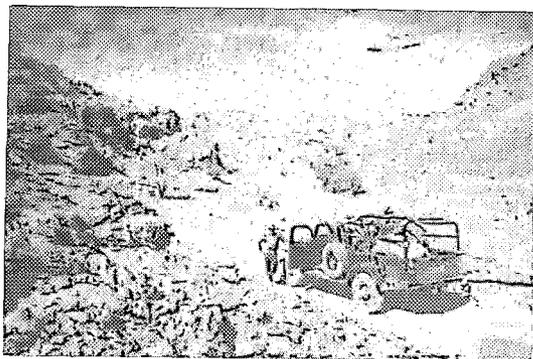
BRAQUAVAL

Enneri de l'Ennedi en crue (Tchad)

Le Misky dans son cours moyen (Tibesti : Tchad)



RODIER



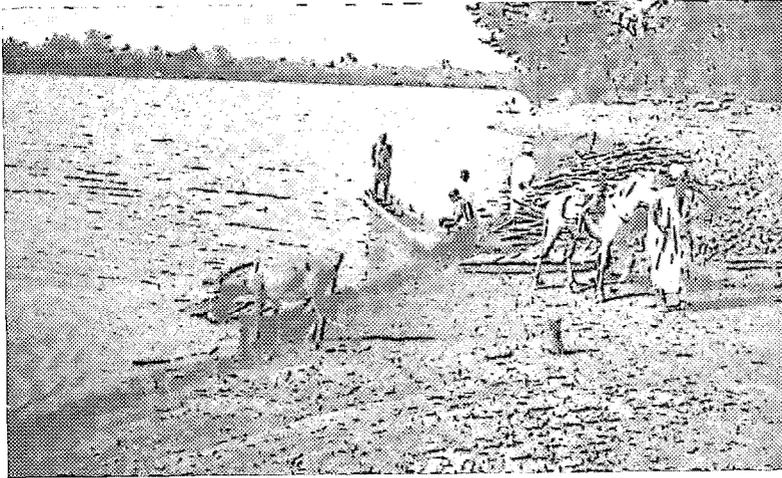
RODIER

L'Enneri Eskeï, versant Nord du Tibesti  
(1 crue tous les 5 ans)

Enneri au Nord de Zouar (Tibesti)



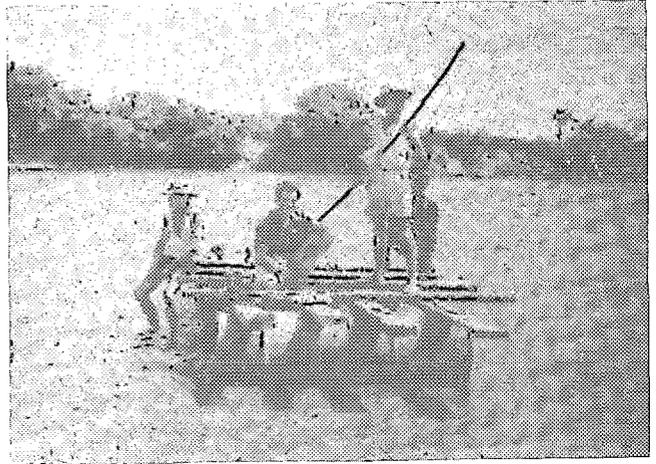
RODIER



Le Tinkisso  
dans son cours inférieur  
(février).

RODIER

*Régime tropical de transition.*  
Radeau improvisé  
sur le Niandan, en amont de Baro  
(avril).



MOUNE

Rapides sur la Vina du Nord  
dans son cours inférieur.



RODIER

Chutes  
de la Vina du Sud  
près de Ngaoundéré  
(février 1950).



RODIER



RODIER

Régime tropical de transition  
(variante méridionale).

La Mbali  
en amont des chutes de Boali.



RODIER

Chutes de la Mbali, à Boali  
(août 1950).

Chutes de l'Okpara, à « l'étiage ».



RODIER

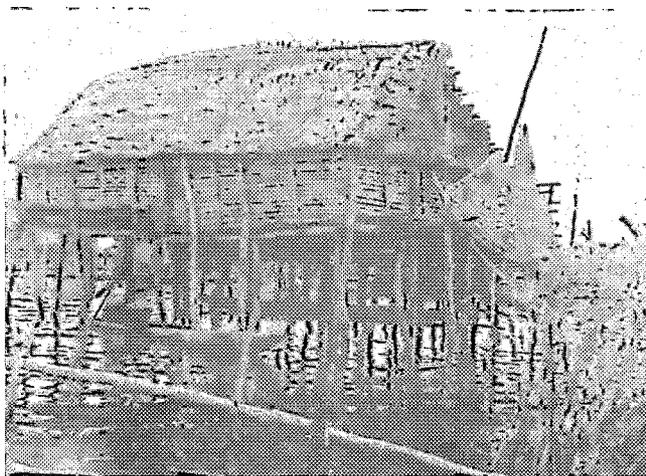


*Régime dahoméen.*

L'Ouémé inférieur, à Adjohon  
(basses eaux).

RODIER

Village lacustre dans le delta de l'Ouémé.



RODIER

Si les conditions géologiques et la pente sont équivalentes, les débits spécifiques sont nettement inférieurs aux débits observés en régime tropical pur. *Ils peuvent être quatre à huit fois plus faibles*, si l'on compare des bassins tropicaux de transition sur carapace latéritique et des bassins tropicaux à sol imperméable, tels que ceux du Nord-Cameroun.

En plus de l'influence de la végétation s'ajoute le caractère particulier des précipitations ; il s'agit de pluies de mousson et non plus de tornades, l'intensité est moins forte.

L'influence de la hauteur annuelle de précipitations est peu sensible. Des pluies plus fréquentes conduisent à une végétation plus dense, donc à un ruissellement moins violent. Une exception à citer, celle des bassins à très faible pente : leurs débits ne descendent pas à des valeurs aussi faibles, semble-t-il, qu'en régime tropical pur.

Il résulte de l'observation des bassins expérimentaux que, pour une superficie de 25 km<sup>2</sup>, avec des pentes modérées, assez fortes et fortes, on trouve, pour les cas les plus courants, des débits spécifiques compris entre 250 et 1 000 l/s.km<sup>2</sup>. Le second cas correspond à des pentes fortes, le premier à un sol latéritique et à des pentes modérées.

Sur des bassins de 25 km<sup>2</sup>, entièrement cultivés, on trouverait des chiffres un peu plus élevés.

#### **b) Sur les moyens et grands bassins versants :**

Le maximum annuel, au contraire, est plus élevé qu'en régime tropical. C'est assez logique puisque le maximum ne résulte pas des pointes instantanées des petits affluents, mais des débits moyens sur des périodes de plusieurs jours, faisant ainsi intervenir le débit hypodermique, ainsi que le nombre mensuel d'averses. Il varie suivant la superficie du bassin, le relief et la hauteur de précipitations annuelle.

Pour des bassins versants de superficie assez élevée (10 à 30.000 km<sup>2</sup>), on trouve les chiffres suivants, déduits du tableau ci-après :

— dans l'Ouest de l'ex-A.O.F., la Guinée Portugaise, la Sierra Leone .. (150 à 200 l/s.km <sup>2</sup> en montagne).	50 à 90 l/s.km <sup>2</sup>
Le Nord-Est de la Côte d'Ivoire, le Nord du Ghana sont à rattacher au sous-régime dahoméen avec des débits spécifiques variant de .....	20 à 50 l/s.km <sup>2</sup>
— dans l'Adamaoua et dans l'Ouest de l'ex-A.E.F. (Logone) .....	50 à 80 l/s.km <sup>2</sup> (120 à 150 l/s.km <sup>2</sup> en montagne) ;
— dans les bassins versants du Chari et de l'Oubangui .....	13 à 30 l/s.km <sup>2</sup>

Ces chiffres plus faibles correspondent à une influence continentale plus marquée et à une perméabilité plus grande.

Sur les bassins de montagne de Guinée (Konkouré) ou du Cameroun (Wouri et Faro), on trouve des valeurs beaucoup plus élevées : 120 à 200 l/s.km<sup>2</sup>.

Le maximum diminue, bien entendu, quand la superficie du bassin versant croît. Par exemple, il est de :

- 30 l/s.km<sup>2</sup> pour la MBali à Boali (4 900 km<sup>2</sup>) ;
- 20 — pour l'Oubangui à Bangui (500 000 km<sup>2</sup>) ;
- 86 — pour le Niandan à Baro (12 600 km<sup>2</sup>) ;
- 52 — pour le Niger à Koulikoro (120 000 km<sup>2</sup>).

### 5° Crues exceptionnelles et irrégularité interannuelle

Pour les petits bassins, la crue décennale varie surtout avec la pente et la nature du sol. Sa valeur est nettement plus faible que dans le régime tropical pour les raisons que nous avons exposées au paragraphe précédent.

Pour 25 km<sup>2</sup>, il semble que, dans des conditions moyennes, on doit s'attendre, en moyenne, à des débits spécifiques de l'ordre de 700 à 1 800 l/s.km<sup>2</sup>. On peut trouver des valeurs très inférieures pour des bassins perméables (400 à 500 l/s.km<sup>2</sup>: Ngola près de Bangui), des valeurs supérieures (2 000-2 500 l/s.km<sup>2</sup>) pour de fortes pentes, des zones bien arrosées ou des régions accidentées très cultivées. On vérifie qu'il n'y a aucun rapport entre crue exceptionnelle et hauteur de précipitations annuelle.

Pour les moyens, et surtout pour les grands bassins versants, les crues exceptionnelles sont en rapport étroit avec l'abondance annuelle, sauf si le relief est très accentué.

#### RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

##### Débits de crues annuels

(Valeurs médianes)

Bassin	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	DÉBIT DE CRUE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE DE CRUE l/s. km <sup>2</sup>	OBSERVATIONS
Falémé à Kidira .....	28 180	1 175	1 950	69	
Niger à Kouroussa .....	18 000	1 740	1 100	61	
Niandan à Baro .....	12 600	1 970	1 080	86	
Milo à Kankan .....	9 900	1 925	880	89	
Sassandra à Guessabo ....	35 400	1 665	1 500	42,5	
Bénoué à Riao .....	31 000	1 285	2 700	87	
Logone à Moundou .....	34 900	1 460	2 265	65	
Mbéré à Mbéré .....	7 100	1 550	850	120	
Pendé à Bégouladgé .....	5 800	1 530	550	95	
Pendé à Doba .....	15 600	1 430	708	45	
Ouham à Bozoum .....	8 200	1 450	700	85	
Lom à Bétaré-Oya .....	10 680	1 480	560	52,5	Var. méridion.
Mbam à Goura .....	43 000	1 780	2 750	64	
Vina à Lahoré .....	1 690	1 500	111	65,5	Var. méridion.
Kotto à Kembé .....	75 200	1 400	1 100	14,6	
Chinko à Rafai .....	48 000	1 415	1 360	28,4	
Mbomou à Zémio .....	28 650	1 500	400	14	
Konkouré à Téliélé .....	10 250	2 060	1 850	180	
Badi à Badi .....	3 240	2 800	1 300	400	
Samou à Gdes Chutes ....	964	2 100	420	435	
Wouri à Yabassi .....	8 250	2 150	1 340	163	Var. méridion.
Faro à Safai .....	23 500	1 545	3 120	132	
Bénoué à Yola .....	107 000	1 160	4 200	39	
Niger à Koulikoro .....	120 000	1 595	6 200	52	
Sanaga à Edéa .....	135 000	1 650	6 700	49	
Oubangui à Bangui .....	500 000	1 560	10 250	20	

Ce point est très important car les variations des précipitations moyennes annuelles peuvent donner une indication sur la vraisemblance ou l'impossibilité d'une crue exceptionnelle pendant la période antérieure aux observations limnimétriques.

On voit ainsi que les questions de crues exceptionnelles et d'irrégularité interannuelle ont des rapports assez étroits.

Les études d'hydraulicité, effectuées chaque année depuis 1949, ont montré que Sénégal, Niger, Chari et Nil suivaient des variations interannuelles sensiblement parallèles. Tous ces cours d'eau sont à alimentation mixte : tropicale + tropicale de transition (1). C'est ainsi qu'en 1955, nous avons constaté des crues de fréquence sensiblement décennale, à la fois sur le Konkouré, le haut bassin du Niger, le Logone et le Chari. Parfois, la concordance est moins nette ; on constate simplement que toutes les saisons des pluies sont précoces ou tardives : par exemple, en 1952, les mois d'octobre et novembre ont été très abondants sur tous ces fleuves, le maximum étant fort et retardé d'un mois environ.

De même, années sèches et années humides se groupent généralement par séries de durée *inégale*. Nous n'avons aucunement l'intention de chercher à redonner la moindre vigueur à la théorie des cycles, mais de telles séries sont un fait en Afrique tropicale. Il n'empêche pas, d'ailleurs, que certaines années peuvent faire exception : une année humide isolée (1906 par exemple) peut se trouver en pleine période d'hydraulicité médiocre sur les autres fleuves ou inversement. Sur le Logone, l'année 1953, très sèche, est en pleine période humide. Or, depuis le début des observations, les séries concordent sur le Niger, le Nil et le Chari.

Il y a plus : les grandes cuvettes lacustres (delta central nigérien et lac Tchad) donnent une idée de l'hydraulicité des groupes d'années. Le Nil montre une série d'années humides de 1875 à 1890. Le lac Tchad était à son maximum en 1875 et en 1890 ; le delta central nigérien, très inondé, dépassait le niveau maximal connu actuellement. Nous en avons la preuve par le remplissage des Daouanas et la profondeur du lac Faguibine à son extrémité occidentale, à Ras-El-Ma, profondeur qui était suffisante pour qu'un tirailleur s'y noie, fait qui ne s'est pas reproduit jusqu'à ce jour. La période 1908-1913 a été très sèche partout. La période actuelle présente une très forte hydraulicité sur toute cette zone.

Nous sommes donc en mesure de préciser que les séries sèches et humides sont les mêmes dans toute cette zone (en mettant cependant de côté la Bénoué et la Sanaga).

La succession de ces séries est la suivante :

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| — vers 1750 .....             | période sèche ? (2).                                      |
| — vers 1785 .....             | — humide ? (2).   |
| — vers 1830 .....             | — sèche ? (2).  |
| — vers 1870-1892 .....        | — très humide.  |
| — vers 1892-1924 .....        | — sèche avec au moins une année très sèche : 1913.        |
| — vers 1924 à 1930 ou 1936 .. | — assez humide (plus fortes crues mesurées sur le Niger). |
| — vers 1936-1947 .....        | — sèche et très sèche.                                    |
| — vers 1950-1963 .....        | — très humide ; risque d'être comparable à 1870-1890.     |

(1) Les apports de la partie équatoriale du bassin du Nil sont régularisés par la traversée des marais du confluent du Bahr-El-Ghazal, à un point tel que le volume en sortant est pratiquement une constante qui n'intervient pas dans les études d'abondance annuelle.

(2) Déterminées par le Général Tilho d'après les périodes d'assèchement du Lac Tchad.

On devine tout le profit que l'on peut tirer de cette liste pour les études d'irrégularité inter-annuelle et de crues exceptionnelles.

Il vient s'ajouter à ce fait la connaissance approfondie du régime du Nil qui, en Egypte, depuis plusieurs milliers d'années, n'a pas présenté d'inondations qui ne soient comparables aux plus fortes de la période moderne.

Nous pouvons donc, dans certains cas, estimer par comparaison des crues plus rares que la crue décennale, d'autant plus que la courbe de fréquence pour ce régime semble très bien s'adapter aux relations simples telles que celle de Goodrich :

$$Q_T = Q_0 [1 + B (\text{Log } T)^n].$$

D'ailleurs, la croissance de la crue avec la durée de la période de récurrence est faible.

Entre crue annuelle et crue décennale, par exemple, le rapport ne dépasse pas 2 dans de nombreux cas.

Nous distinguerons trois grandes régions :

**a) Ouest de l'ex-A.O.F. :**

Pour le Niger Supérieur à Koulikoro, par exemple, on trouverait les débits spécifiques suivants :

— fréquences .....	1	1/10	1/100	1/1 000,
— l/s.km <sup>2</sup> .....	52	66	80	92.

Le Sénégal à Bakel ne représente que très partiellement le régime tropical de transition ; il donne lieu aux débits suivants :

— fréquences .....	1/2	1/10	1/100	1/1 000,
— l/s.km <sup>2</sup> .....	17,4	28	33	43 ?
	(sur 270 000 km <sup>2</sup> ).			

Dans ce qui suit, nous caractériserons les crues exceptionnelles par les débits spécifiques des crues décennales. En général, pour des bassins de superficie moyenne (de l'ordre de 10 000 km<sup>2</sup>), le débit spécifique pour la crue décennale varie de 60 à 120 l/s.km<sup>2</sup> si le relief n'est pas trop accentué.

La pente a, en effet, une influence très nette. Par exemple, pour un bassin à relief très modéré et bien arrosé, la crue annuelle correspond à 89 l/s.km<sup>2</sup>, la crue décennale à 110.

Pour un bassin à forte pente, tel que celui du Konkouré, on trouve, pour les crues correspondantes, 180 et 280 l/s.km<sup>2</sup>.

Nous trouverons des valeurs analogues sur les bassins à forte pente du Cameroun.

Si la pente devient très faible, au contraire, le débit spécifique peut descendre en dessous de 60 l/s.km<sup>2</sup>.

L'influence de la superficie du bassin n'est pas très grande au-delà de 10 000 km<sup>2</sup>.

Par exemple, sur le Niger, on trouve :

- 100 à 110 l/s.km<sup>2</sup> pour la crue décennale et pour 10 000 km<sup>2</sup>,
- 66 l/s.km<sup>2</sup> pour la même crue et pour 120 000 km<sup>2</sup>.

Dans l'ensemble, les chiffres obtenus sont très comparables à ceux que nous avons trouvés pour les bassins à régime tropical pur, alors que les crues annuelles de ces mêmes bassins sont beaucoup plus faibles.

Plus à l'Est (cours supérieurs des branches-mères du Bani, cours supérieurs du Sassandra et du Bandama), les débits spécifiques sont nettement plus faibles : entre 30 et 60 l/s.km<sup>2</sup>. Ceci résulte de la décroissance de la hauteur de précipitations annuelle qui sera beaucoup plus marquée pour le régime dahoméen.

## b) Massif de l'Adamaoua :

Les débits spécifiques varient, en général, pour la crue décennale, de 70 à 100 l/s.km<sup>2</sup>, si le relief n'est pas trop accentué, résultats très comparables à ceux du paragraphe précédent.

On trouve, par exemple, pour la crue annuelle, 60 l/s.km<sup>2</sup> et 90 pour la crue décennale.

Pour des bassins de montagne, les chiffres sont beaucoup plus forts. Par exemple, pour le Faro, on trouve :

— crue annuelle .....	132 l/s.km <sup>2</sup> ,
— crue décennale .....	160 l/s.km <sup>2</sup> .

Si, au contraire, la pente est très faible, le débit de crue décennale tombe au-dessous de 70 et même de 50 l/s.km<sup>2</sup>.

## c) Bassin de l'Oubangui, partie méridionale du bassin du Chari :

Les crues sont nettement plus faibles que celles qui ont été observées jusqu'ici par suite, probablement, de la grande perméabilité des quartzites, de la forme allongée des bassins versants et de l'importance du freinage résultant d'épaisses galeries forestières.

On trouve, par exemple, pour l'Oubangui, à Bangui (500 000 km<sup>2</sup>) :

— fréquences .....	1/2	1/10	1/20	1/50,
— débits spécifiques .....	21	24	28	30.
	(l/s.km <sup>2</sup> ).			

Les quelques cours d'eau observés depuis une période assez longue semblent présenter des débits spécifiques de crues décennales compris entre 20 et 40 l/s.km<sup>2</sup>.

Il semble que la différence soit faible entre crue annuelle et crue décennale, même pour des bassins de quelques milliers de km<sup>2</sup>. Elle est peut-être de 20 % pour des bassins de plus de 30 000 km<sup>2</sup>.

*L'irrégularité interannuelle est faible en général* : elle est nettement inférieure, dans la plupart des cas, aux valeurs trouvées pour le régime tropical pur et elle peut même atteindre, dans certains cas, des valeurs très faibles.

Le coefficient  $K_3$ , rapport du volume annuel le plus élevé au plus faible, sur une période de référence que nous avons prise égale à 10 ans, et pour des bassins de 10 000 km<sup>2</sup> au moins, est le suivant :

- pour les cours d'eau du bassin supérieur du Niger, généralement abondants, comme pour le versant Ouest du Fouta-Djallon : 1,6 à 2 (coefficient de variation : 0,17 à 0,24) ;
- plus à l'Est, sur les branches supérieures du Bani, sur le Haut Bandama, par exemple,  $K_3$  croît assez rapidement (influence dahoméenne) : vers 2,2 à 2,5 pour le Haut Bani et 3,5 à 4,5 pour le Haut Bandama ;
- pour les cours d'eau de l'Adamaoua et de l'Ouest de l'ex-A.E.F. : 1,3 à 1,6 sur le versant Sud et, peut-être, sur le versant Ouest : 1,6 à 2 sur les versants Nord et Est ;
- pour l'Oubangui à Bangui, bien connu,  $K_3 = 1,40$  ; c'est une des valeurs les plus faibles que nous connaissions. Pour les autres cours d'eau du bassin moyen de l'Oubangui,  $K_3$  est plus difficile à estimer, les périodes d'observations étant courtes :  $K_3$  doit être compris entre 1,4 et 1,6, peut-être même un peu plus faible.

## 6° Déficit d'écoulement annuel

C'est dans ces régions qu'il atteint le maximum. En effet, le sol est humide pendant une longue période, à l'encontre des régions plus septentrionales que nous venons de voir. Par ailleurs, les températures diurnes sont nettement plus fortes que dans les bassins situés plus au Sud et l'insolation est beaucoup plus grande.

Il varie assez peu d'une région à l'autre : de 1 000 à 1 300 mm en moyenne. Certaines années, il peut atteindre et dépasser légèrement 1 400 mm. Ces valeurs s'approchent notablement de l'évapotranspiration potentielle et, par suite, de l'évaporation sur nappe d'eau libre, comme on pouvait s'y attendre. Dans les régions guinéennes, vers la limite Sud de la zone correspondant au régime tropical de transition, le déficit d'écoulement est de l'ordre de 1 300 mm, alors que l'évaporation annuelle sur nappe d'eau libre de surface infinie peut varier de 1 500 à 1 700 mm. La différence résulte de l'existence d'une saison sèche de deux à trois mois, pendant laquelle l'évapotranspiration est loin d'être négligeable, bien que l'évaporation réelle reste faible, le sol étant sec sur plusieurs décimètres de profondeur.

Près de la zone soudanienne, au contraire, le déficit d'écoulement s'approche de 1 000 mm, tandis que l'évaporation annuelle est de l'ordre de 2 000 mm.

On trouvera donc :

- 950 à 1 050 mm en altitude ;
- 1 100 à 1 200 mm dans la moitié septentrionale de la zone tropicale de transition ;
- 1 200 à 1 300 mm dans la moitié méridionale et en Oubangui (Oubangui. à Bangui : 1 300 mm).

Les coefficients d'écoulement sont très supérieurs à ceux du régime tropical pur :

- 20 à 35 % sur le bassin supérieur du Niger et au Cameroun (35 à 50 % en pays de montagne) ;
- 15 à 20 % sur le Bani supérieur, le Haut Sassandra, le Haut Bandama ;
- 20 à 30 % sur le Logone et l'Ouest de la République Centrafricaine ;
- 10 à 20 % seulement sur le bassin moyen de l'Oubangui.

## 7° Transports solides

Ils sont peu importants en général, par suite de l'épaisse couverture végétale, sauf dans les régions très cultivées, en quelques points où il y a surpâturage, et dans les bassins à forte pente. Dans ce cas, les matériaux arrachés au sol se déposent très rapidement, en grande partie sous forme de colluvions. Le transport solide sur bassin de quelques kilomètres carrés est beaucoup plus faible que sur parcelles d'érosion. Il est encore plus faible sur les grands cours d'eau. La turbidité est maximale pendant les crues du début de la saison des pluies ; elle décroît au maximum de chaque pointe et décroît également de façon régulière depuis le début jusqu'à la fin de la saison des pluies. Elle est minimale à l'étiage. Pour les matières en suspension, elle varie par exemple :

- de 50 mg par litre à 250 mg par litre pour la Bénoué ;
- de 100 mg (?) par litre à 300 mg par litre pour le Logone.

### — Variante méridionale :

Cette variante est surtout caractérisée par des basses eaux abondantes et de courte durée, coupées de petites crues, plus nombreuses que dans le régime classique.

1° EXTENSION : Elle intéresse une zone située au Sud du régime tropical de transition et au Nord du régime équatorial de transition. Mais on ne rencontre cette variante que si la hauteur de précipitations annuelle est supérieure à 1 500-1 600 mm. Elle est absente sur toute une bande s'étendant du centre de la Côte d'Ivoire à l'Est du Nigeria, où domine le régime que nous appelons « dahoméen ».

Elle couvre le Sud de la Guinée, le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, le Sud de l'Adamaoua, le Sud de la République Centrafricaine.

Il s'agit de l'extrême Sud du bassin du Niger, de certains fleuves côtiers de l'Est de la Guinée, du Libéria, de la Côte d'Ivoire (Cavally), des affluents rive gauche de la Bénoué en terrain nigérien, d'une partie du bassin de la Sanaga et de la Sanga, des petits affluents de l'Oubangui vers Bangui.

2° MODULE : Il est assez élevé, surtout en Guinée et au Cameroun, où il varie, en général, de 17 à 25 l/s.km<sup>2</sup>, mais il peut atteindre jusqu'à 40 l/s.km<sup>2</sup> si la hauteur de précipitations annuelle et la pente sont très fortes. Il est plus faible en Côte d'Ivoire : 10 à 20 l/s.km<sup>2</sup> ; nettement plus faible dans le bassin de l'Oubangui, où il peut descendre jusqu'à 10 l/s.km<sup>2</sup>.

3° VARIATIONS SAISONNIÈRES : Les basses eaux durent peu, trois mois en général (janvier-février-mars). Les débits d'étiage en mars varient de 2,5 à 5 l/s.km<sup>2</sup>, mais ils peuvent parfois atteindre 7 à 9 l/s.km<sup>2</sup>. Cette période de basses eaux comporte toujours plusieurs petites crues.

La période de hautes eaux commence à peu près à la même époque que dans le régime tropical de transition type, mais elle dure plus longtemps. Le maximum est nettement décalé. On le rencontre généralement en octobre. Les débits spécifiques de crue annuelle sont les mêmes sensiblement que ceux des rivières tropicales de transition situées plus au Nord, avec les mêmes variations de situation et de pente.

4° IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE : Nous manquons encore d'éléments pour donner des chiffres sûrs dans tous les cas. Les valeurs de K<sub>3</sub> que nous connaissons sont faibles ou très faibles. Pour la MBali, par exemple, K<sub>3</sub> est de l'ordre de 1,5. Dans l'Adamaoua, on trouve couramment des valeurs de 1,3 à 1,4. Mais, dans certains cas, K<sub>3</sub> peut atteindre 2, notamment sur le Cavally, et, de façon générale, sur les cours d'eau présentant des modules relativement faibles, mais à condition que la rétention soit également faible.

5° DÉFICIT D'ÉCOULEMENT : En plaine, il est voisin du maximum, comme nous l'avons vu plus haut, pour le régime tropical de transition, et se rapproche de 1 300 mm. Il commence même à décroître dans certaines régions avec la latitude, comme par exemple sur la Mbali, où il est compris entre 1 100 et 1 200 mm. Il descend jusqu'à 1 000 mm en altitude, ce qui est le cas de la plupart des bassins étudiés.

#### RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

(Variante méridionale)

Modules annuels spécifiques

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	MODULES m <sup>3</sup> /s	MODULES SPÉCIFIQUES l/s.km <sup>2</sup>
Vina à Lahoré . . . . .	1 690	1 500	40	23,7
Mbam à Goura . . . . .	43 000	1 780	799	18,6
Lom à Bétaré-Oya . . . . .	10 680	1 480	182	17
Wouri à Yabassi . . . . .	8 250	2 150	325	39,4
Lobaye à M'Bata . . . . .	30 000	1 520	333	11,1
Mbali à Boali . . . . .	4 905	1 500	65	13,2

## RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

*(Variante méridionale)**Débits d'étiage caractéristiques*

(Valeurs médianes)

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANNUELLE mm	DÉBIT D'ÉTIAGE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE D'ÉTIAGE l/s.km <sup>2</sup>
Vina à Lahoré .....	1 690	1 500	6,3	3,73
Mbam à Goura .....	43 000	1 780	112	2,60
Lom à Bétaré-Oya .....	10 680	1 480	45	4,20
Wouri à Yabassi .....	8 250	2 150	58	6,70
Lobaye à M'Bata .....	30 000	1 520	255	8,5
Mbali à Boali .....	4 905	1 500	18	3,25

## RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

*(Variante méridionale)**Débits de crues annuels*

(Valeurs médianes)

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	DÉBIT DE CRUE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE DE CRUE l/s.km <sup>2</sup>
Vina à Lahoré .....	1 690	1 500	111	65,5
Mbam à Goura .....	43 000	1 780	2.750	64
Lom à Bétaré-Oya .....	10 680	1 480	560	52,5
Wouri à Yabassi .....	8 250	2 150	1.340	163
Lobaye à M'Bata .....	30 000	1 520	465	15,5
Mbali à Boali .....	4 905	1 500	147	30

## — Variante dahoméenne :

Elle correspond aux mêmes latitudes et aux mêmes variations saisonnières des précipitations que la variante précédente, mais la hauteur de précipitations annuelle est beaucoup plus faible.

Les étiages sont beaucoup plus rigoureux que dans le régime tropical de transition. Les modules sont plus faibles. A cet égard, ce régime ressemble beaucoup au régime tropical pur. La différence essentielle est une période de hautes eaux plus longue, mais pas plus abondante au total.

Les études effectuées sur le bassin expérimental de la Lhoto (près de Dassa Zoumé), ainsi que celles qui ont porté en régime équatorial de transition sur le bassin de l'Ifou (Côte d'Ivoire), ont bien mis en lumière les raisons du faible débit de ces rivières.

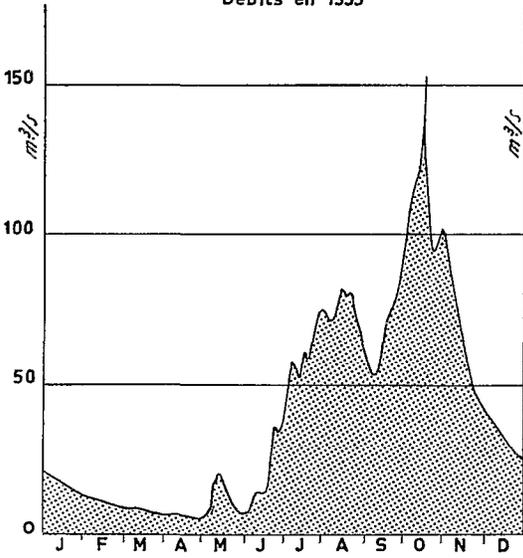
RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION VARIANTE MÉRIDIONALE

LA VINA AU LAHORE

1690 Km<sup>2</sup>

(CAMEROUN)

Débits en 1955

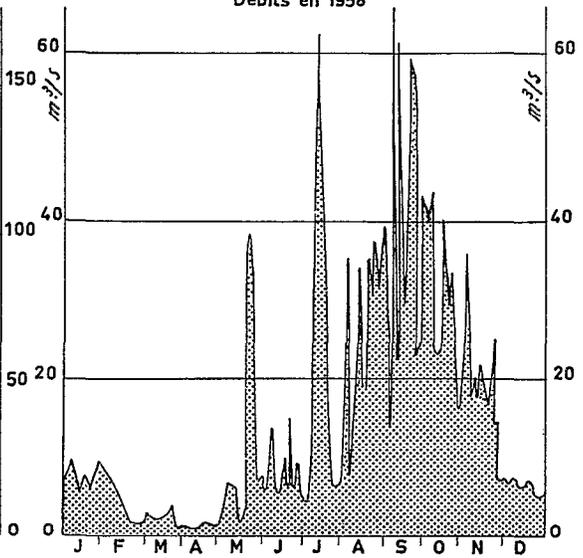


LA TOMI A FORT-SIBUT

2500 Km<sup>2</sup>

(RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE)

Débits en 1958

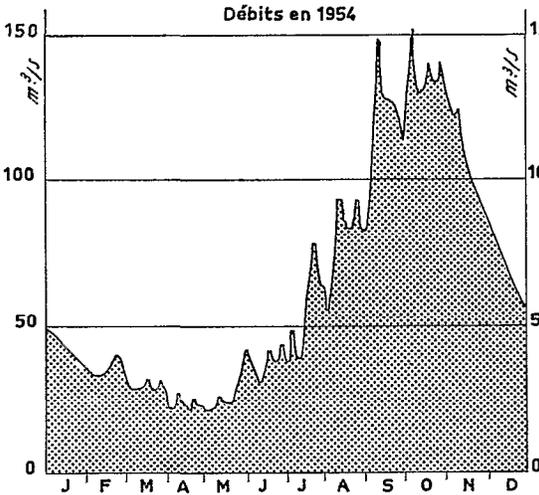


LA MBALI A BOALI

4905 Km<sup>2</sup>

(REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE)

Débits en 1954

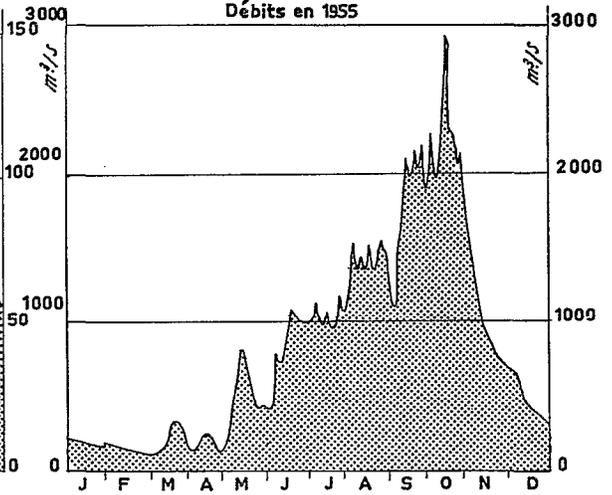


LE MBAM AU BAC DE GOURA

43 000 Km<sup>2</sup>

(CAMEROUN)

Débits en 1955



La situation méridionale du Dahomey donne lieu, compte tenu du mécanisme de la mousson, à des pluies réparties sur une grande partie de l'année, entretenant une végétation permanente. Les premières averses de la saison des pluies ne tombent pas sur un sol presque nu, comme dans le régime tropical, et, surtout, dans le régime sahélien, et ne donnent donc pas lieu aux forts coefficients d'écoulement rencontrés en juillet et août dans ces dernières régions. Ce freinage par la végétation est encore accentué par le développement des cultures qui, au Dahomey et pour ces types de sols, correspondent à une possibilité d'infiltration plus élevée que sur un terrain naturel.

D'autre part, la hauteur de précipitations annuelle relativement faible, 1 000 à 1 200 mm en général, est répartie sur six mois au lieu de 2 mois 1/2-3 mois, comme dans les régimes tropical pur et sahélien ; les tornades sont donc beaucoup plus espacées. Or, les études sur petits bassins ont montré que l'état de saturation préalable jouait, en général, un très grand rôle.

La majeure partie des averses rencontrera donc de mauvaises conditions d'écoulement. C'est bien ce qui a été constaté sur la Lhoto, pour laquelle une tornade bien répartie de 50 mm n'a presque pas donné lieu à écoulement en pleine saison des pluies. Les conditions favorables au ruissellement n'ont pu être réalisées qu'en fin d'hivernage.

Le régime des pluies est donc favorable à l'infiltration et à la croissance des végétaux (effectivement, les palmiers à huile poussent normalement au Dahomey, sous les isohyètes 1 100 à 1 200 mm, alors qu'en Haute Guinée, on ne les rencontre que vers les isohyètes (1 400-1 500 mm), mais il est très peu propice au ruissellement et même à l'écoulement, pour les deux raisons que nous venons de voir. De façon générale, coefficient d'écoulement annuel et module seront faibles.

D'autre part, l'abondance annuelle dépendra beaucoup plus de la répartition des pluies que de la hauteur de précipitations annuelle. Si, comme en 1956, le mois d'août est déficitaire, les pluies de septembre, qui généralement donnent les maximums, rencontreront des conditions très défavorables et donneront des écoulements très inférieurs aux valeurs habituelles, de sorte que, dans le cas d'un total annuel voisin de la moyenne, même si juin ou juillet ont été excédentaires et septembre normal, les débits moyens annuels peuvent être très déficitaires, si le mois d'août est lui-même déficitaire.

L'influence de la répartition des pluies sur les déficits d'écoulement avait déjà été pressentie en 1950 lorsque l'on avait cherché à établir sur le Niger Supérieur des corrélations entre la hauteur de précipitations annuelle et la lame d'eau écoulée. On avait alors trouvé une corrélation assez lâche entre les deux grandeurs. La corrélation est encore beaucoup plus lâche dans le régime dahoméen.

Cette forte influence de la répartition des précipitations, liée aux très faibles écoulements annuels (1), explique la forte irrégularité interannuelle, ainsi que les valeurs très différentes des maximums annuels pour une même station, suivant les années.

1° EXTENSION : Nord-Est de la Côte d'Ivoire, Centre du Ghana, Dahomey et Togo (sauf l'extrême lisière Sud) et Sud-Ouest du Nigéria.

Il s'agit du bassin moyen de la Comoé, de la partie inférieure du bassin de la Volta, du bassin du Mono, de l'Ouémé et de tous les petits fleuves côtiers situés entre ces bassins.

2° MODULES : Ils sont faibles. Ils varient de 2,5 à 5 l/s.km<sup>2</sup>, valeurs plutôt inférieures à celles du régime tropical pur (2). On peut rencontrer des modules un peu plus élevés sur les versants des massifs montagneux bien exposés, tels que les flancs du Mont Togo, par exemple.

3° VARIATIONS SAISONNIÈRES : La période de basses eaux est prolongée : elle dure six mois (de début décembre à fin mai), mais, sur les petits cours d'eau, se produisent souvent quelques petites crues. Elles sont généralement insuffisantes pour remplir le lit du cours d'eau principal qui, lui, peut rester à sec plus longtemps. Le débit d'étiage au Togo et au Dahomey est généralement nul, même pour de grands bassins : Ouémé, Zou, Okpara. Ces bassins sont d'ailleurs imperméables et comportent peu de carapace latéritique. Il est différent de zéro sur certains cours d'eau descendant de l'Atacora ou sur la bordure Sud-Est du Massif du Mont Togo, entre Klouto et Atakpamé.

---

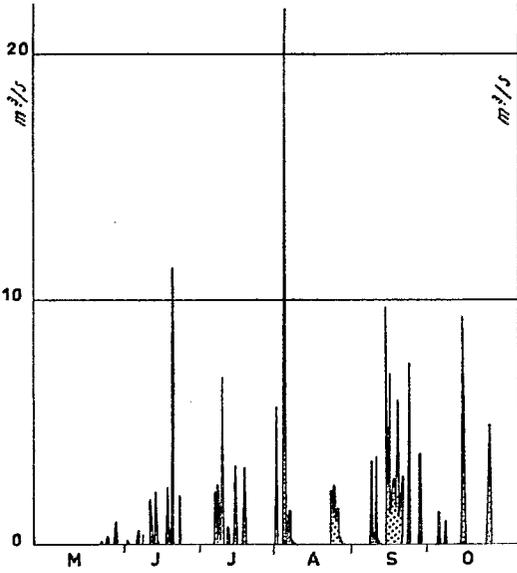
(1) Parfois nuls sur certains petits bassins.

(2) L'Ouémé au Pont de Save est encore plus abondant, mais la partie supérieure du bassin, presque en zone tropicale, compense la faiblesse des débits des régions aval dahoméennes.

RÉGIME DAHOMÉEN

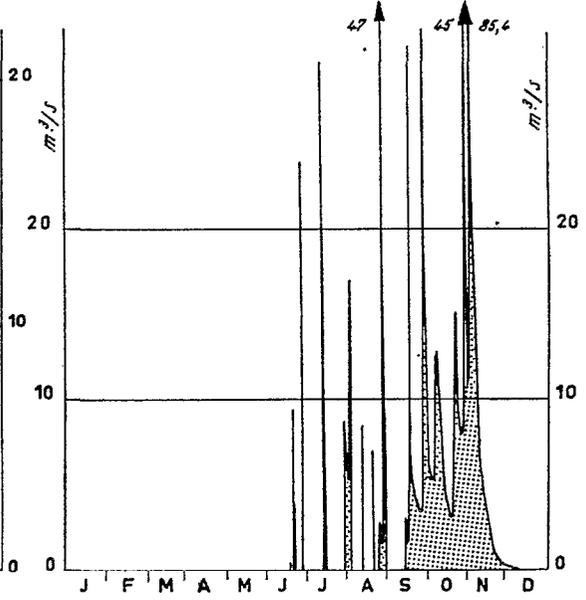
LA LHOTO A MOUMOU DJI

(45 Km<sup>2</sup>)  
Débits en 1957



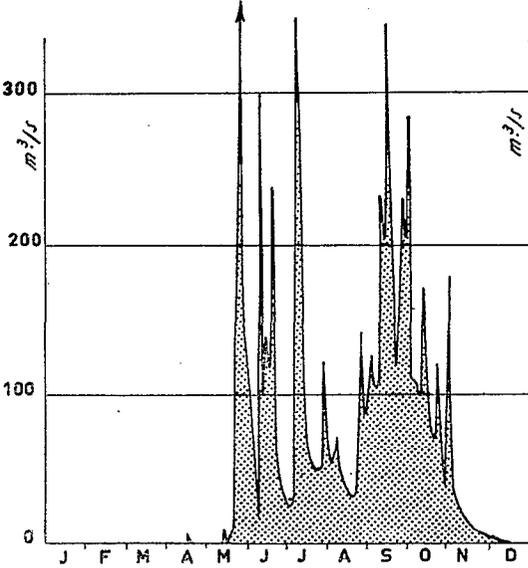
L'AGBADO A SAVALOU

(1200 Km<sup>2</sup>)  
Débits en 1951



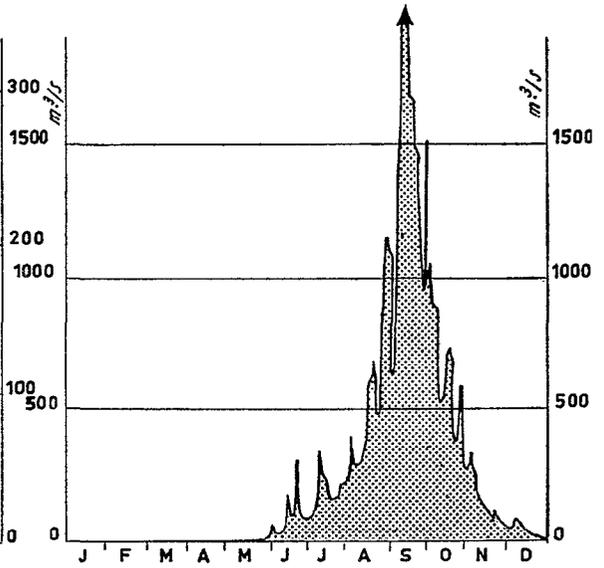
LE ZOU A ATCHÉRIGBÉ

(6950 Km<sup>2</sup>)  
Débits en 1957 Année forte



L'OUÉMÉ AU PONT DE SAVÉ

(24 800 Km<sup>2</sup>)  
Débits en 1957 Année forte



RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

(Variante dahoméenne)

Modules annuels spécifiques

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	MODULES m <sup>3</sup> /s	MODULES SPÉCIF. l/s. km <sup>2</sup>
Nzi à Ziéona .....	33 150	1 200	90	2,71
Comoé à Aniassué .....	70 200	1 190	245	3,5
Sio à Kpedji .....	1 810	1 250	6,4	3,54
Mono à Tététou .....	19 600	1 230	102	5,2
Zou à Atcherigbé .....	6 950	1 120	25	3,6
Ouémé au Pont de Savé ..	24 800	1 240	140	5,6
Okpara à Kaboua .....	9 600	1 160	38	3,95
Klou à Logozohé .....	300	1 200	1,5	5

RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

(Variante dahoméenne)

DÉBITS D'ÉTIAGE

(Valeurs médianes)

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANNUELLE mm	DÉBIT D'ÉTIAGE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE D'ÉTIAGE l/s. km <sup>2</sup>
Nzi à Ziéona .....	33 150	1 200	(1,0)	0,03
Comoé à Aniassué .....	70 200	1 190	(10)	0,14
Sio à Kpedji .....	1 810	1 250	0,54	0,30
Mono à Tététou .....	19 600	1 230	0,77	0,04
Zou à Atcherigbé .....	6 950	1 120	0	0
Ouémé au Pont de Savé ..	24 800	1 240	0	0
Okpara à Kaboua .....	9 600	1 160	0	0
Klou à Logozohé .....	300	1 200	0	0

Dans l'Est de la Côte d'Ivoire, le débit d'étiage varie de 0,01 à 0,5 l/s.km<sup>2</sup> pour les grands cours d'eau. Pour les petits cours d'eau, il peut être nul.

Les hautes eaux commencent en juin et se terminent en octobre ou novembre.

Elles durent donc cinq à six mois, mais les débits sont irréguliers : on observe même, certaines années, une période d'assez faible débit vers juillet-août, comme dans le régime équatorial de transition que nous verrons plus loin.

Le mois à plus fort débit est septembre, et même parfois octobre, comme dans la variante précédente ; le débit spécifique, pour des bassins de superficie supérieure à 2 000 km<sup>2</sup>, varie entre 10 et 25 l/s.km<sup>2</sup> pendant cette période.

4° DÉBIT MAXIMAL ANNUEL : Les hydrogrammes étant irréguliers, le débit journalier maximal annuel est nettement plus élevé que le débit moyen mensuel le plus élevé ; pour des bassins de superficie supérieure à 2 000 km<sup>2</sup>, il varie de 15 à 50 l/s.km<sup>2</sup>, chiffres un peu plus faibles que ceux du régime tropical de transition classique. Ce ne sont pas obligatoirement les bassins présentant le plus faible module qui donnent lieu à la plus faible crue annuelle.

Par ailleurs, comme nous l'avons vu plus haut, le maximum annuel varie beaucoup d'une année à l'autre.

Le débit maximal de l'Ouémé au Pont de Savé était de 2 650 m<sup>3</sup>/s en 1949 et de 56 m<sup>3</sup>/s seulement en 1958. C'est pourquoi, à l'inverse des régimes tropical pur, tropical de transition et équatoriaux, il faut pouvoir disposer de relevés portant sur une série d'années assez longue, de l'ordre d'une dizaine, pour pouvoir estimer un premier ordre de grandeur du maximum annuel des rivières dahoméennes, à moins de faire appel aux méthodes analytiques.

Pour les petits bassins, les débits de crues annuelles sont sensiblement les mêmes que dans le régime tropical de transition classique.

#### RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

(Variante dahoméenne)

Débits de crues médians

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	DÉBIT DE CRUE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIFIQUE DE CRUE l/s.km <sup>2</sup>
Nzi à Ziéona .....	33 150	1 205	480	14,5
Comoé à Aniassué .....	70 200	1 200	1 300	18,5
Sio à Kpedji .....	1 810	1 250	51	28
Mono à Tététou .....	19 600	1 230	885	45
Zou à Atcherigbé .....	6 950	1 120	355	51
Ouémé au Pont de Savé ..	24 800	1 240	1 100	44
Okpara à Kaboua .....	9 600	1 160	310	32
Klou à Logozohé .....	300	1 200	(50)	(165)

5° CRUES EXCEPTIONNELLES : Elles sont relativement fortes et comparables à celles du régime tropical de transition type : 40 à 100 l/s.km<sup>2</sup> pour la crue décennale, pour des bassins de 2 000 à 20 000 km<sup>2</sup>, bien que le module soit beaucoup plus faible.

Nous donnons, ci-dessous, la valeur estimée des débits de crues de cette fréquence à certaines stations :

STATION	BASSIN VERSANT km <sup>2</sup>	DÉBIT m <sup>3</sup> /s	DÉBIT CARACTÉRISTIQUE l/s.km <sup>2</sup>
Klou à Logozohé .....	300	60	200 (1)
Sio à Kpedji .....	1 810	120	66
Zou à Atcherigbé .....	8 500	575	83
Okpara à Kaboua .....	9 600	500	52
Mono à Athiémé .....	19 600	1 400	71
Mono à Athieme .....	21 200	740	35 (2)
Ouémé au Pont de Savé .....	24 800	2 000	81
Nzi à Ziéona .....	33.150	1 000	30

(1) Petit bassin.

(2) Débit écrêté par des plaines d'inondation.

L'écart est probablement assez grand entre crue décennale et crue centenaire : pour l'Ouémé, au Pont de Savé, la crue centenaire est de 3 100 m<sup>3</sup>/s., soit 131 l/s.km<sup>2</sup>.

6° IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE : Elle est très forte par suite de la double influence de la pluviosité et de la répartition des précipitations. Le coefficient  $K_3$  est difficile à déterminer étant donné que nous ne disposons, pour le calculer, que d'une période d'une dizaine d'années, dont certaines sont tout à fait exceptionnelles. Il semble que  $K_3$  soit compris entre 6 et 20. Bien entendu,  $K_3$  est beaucoup plus grand pour certains petits bassins. Il est plus petit pour l'Est de la Côte d'Ivoire et varie de 4 à 8. L'influence du régime tropical régularise certains grands bassins, tels que ceux de la Comoé, et, bien entendu, de la Volta.

7° DÉFICIT D'ÉCOULEMENT : Il est élevé par suite du grand étalement des pluies dans le temps : 1 000 à 1 150 mm. Le coefficient de ruissellement est assez faible : 6 à 16 % en année moyenne. Il peut être plus élevé si le bassin comporte certaines régions en régime tropical pur, ce qui est le cas de l'Ouémé, par exemple. Il varie beaucoup d'une année à l'autre.

## B) RÉGIMES DES PRINCIPAUX COURS D'EAU TROPICAUX

On a tenté, dans ce qui précède, de donner les éléments pour déterminer les caractéristiques hydrologiques d'une rivière ou d'un fleuve susceptible d'être classé dans un régime donné. Mais les grands cours d'eau d'Afrique sont toujours alimentés par un bassin s'étendant sur plusieurs régimes. Pour cette raison, ce n'est qu'accidentellement qu'ont été présentées les valeurs numériques relatives à leurs stations principales, et, en rassemblant ces données éparses, le lecteur n'arriverait pas à une vue d'ensemble de ces grands bassins.

C'est pourquoi, dans le présent chapitre, nous exposerons brièvement les caractères hydrologiques essentiels des principaux cours d'eau tropicaux à l'Ouest du Congo, c'est-à-dire : le Sénégal, le Niger, la Volta, le Chari, le Logone, la Sanaga et l'Oubangui. Les six premiers cours d'eau ont des régimes s'apparentant surtout au régime tropical pur ; les deux derniers sont alimentés par la zone guinéenne, siège du régime tropical de transition.

### I. — LE SENEGAL

De tous les fleuves que nous allons passer en revue, le Sénégal est celui dont le régime se rapproche le plus du régime tropical pur. Il est formé par la réunion du Bafing et du Bakoy à Bafoulabé. Le Bafing, qui est sans conteste la branche principale, prend sa source à 900 m d'altitude, en plein massif du Fouta-Djallon. Son bassin très étiré est situé pour moitié environ dans la zone tropicale de transition. C'est surtout cette partie du bassin (avec le haut bassin de la Falémé, situé lui aussi au Fouta-Djallon) qui tend à atténuer le caractère brutal du régime tropical pur, notamment en renforçant les débits de basses eaux. La station principale du Bafing est Mahina (B.V. 37 500 km<sup>2</sup>). Le Bakoy prend sa source à l'extrémité occidentale du plateau mandingue, vers 800 m d'altitude, assez près du Niger, non loin de Siguri. Il reçoit sur sa rive droite un affluent plus long (640 km), mais probablement moins abondant que lui, le Baoulé. Celui-ci suit un parcours assez compliqué, puisqu'il se dirige d'abord vers le Nord-Est et qu'il rejoint le Bakoy, avec la direction générale Ouest-Sud-Ouest. A plus grande échelle, il présente en outre d'innombrables méandres. Le Haut Bakoy est connu grâce à la station de Toukoto. Le Baoulé est très mal connu.

Au confluent avec le Bafing, le bassin versant couvre au total 68 750 km<sup>2</sup>. Le Nord du bassin du Baoulé ressort du régime sahélien. Le Sud (35 000 km<sup>2</sup> environ) doit être classé dans le régime tropical pur.

La station principale du haut bassin du Sénégal est Ga'ougo (138 000 km<sup>2</sup>, 108 000 si on exclut la vallée du Serpent, presque endoréique).

A l'aval de Galougo, le Sénégal achève de descendre du plateau mandingue par les très belles chutes de Gouina et celles du Fé.ou, puis il reçoit, sur la rive droite, la Kolimbiné, puis, à l'aval de Kayès, le Karakoro, deux cours d'eau sahéliens, dont les apports mal connus, mais sûrement très faibles par rapport à ceux du fleuve, ne modifient pas son régime. Cependant, l'augmentation très importante du bassin théorique, qui en résulte, réduit singulièrement les débits spécifiques.

Le Sénégal reçoit un peu plus à l'aval, sur sa rive gauche, la Falémé, issue du revers septentrional du Fouta-Djallon ; les deux cinquièmes amont du bassin de ce cours d'eau sont compris dans la zone du régime tropical de transition ; le reste est du domaine du régime tropical pur. La station principale de la Falémé est Kidira, non loin du confluent (bassin versant : 28 000 km<sup>2</sup>).

Le Sénégal, après avoir reçu la Falémé, passe à Bakel, station principale, à l'extrémité amont du cours inférieur.

Le bassin versant de 270 000 km<sup>2</sup> peut se diviser comme suit :

— Régime tropical de transition .....	28 000 km <sup>2</sup> ,
— Régime tropical pur .....	108 000 km <sup>2</sup> ,
— Régime sahélien .....	134 000 km <sup>2</sup> .

Les apports du régime sahélien étant à peu près négligeables, on voit que les débits spécifiques à Bakel donnent une impression trop faible de l'abondance moyenne du fleuve.

Après Bakel, le Sénégal reçoit sur sa rive droite quelques affluents sahéliens dont le mieux connu est le Gorgol Noir.

La pente très faible du fleuve donne lieu à des phénomènes caractéristiques de dégradation hydrographique : effluents, plaines d'inondation démesurées, lacs divers, dont la description complète nous entraînerait très loin. Indiquons simplement qu'à une quarantaine de kilomètres de Bakel, les premiers effluents quittent le fleuve sur sa rive gauche ; le bras le plus important, le marigot de Doué, reste grossièrement parallèle au fleuve pendant 200 km, constituant l'île à Morphil ; plus loin, à l'aval de Dagana, le Sénégal alimente deux dépressions, le lac Rkiz sur la rive droite, le lac de Guiers sur la rive gauche. Il se jette à Saint-Louis par un delta, après un parcours de 1 800 km depuis la source du Bafing.

On trouvera, dans le tableau ci-après, les données hydrologiques essentielles concernant les stations de Galougo-Gouina et de Bakel.

Il ressort, de l'examen de ce tableau, que l'influence de la zone sahélienne est très faible. C'est encore plus clair si l'on examine l'ensemble des débits du Haut Sénégal à Gouina et de la Falémé à Kidira, qui correspondent à la presque totalité des apports des zones tropicales et tropicales de transition. Considérons, par exemple, les débits moyens annuels : à Galougo, il est de 681 m<sup>3</sup>/s, à Kidira, de 195 m<sup>3</sup>/s, soit un total de 876 m<sup>3</sup>/s, alors que le module à Bakel est légèrement inférieur à

#### SÉNÉGAL

##### *Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Galougo et Bakel*

		GALOUGO-GOUINA (1)	BAKEL
Superficie du bassin versant .....	km <sup>2</sup>	138 000	270 000
Précipitation annuelle moyenne .....	mm	1 150	950
Débit moyen annuel .....	m <sup>3</sup> /s	681 (1926-58) (2)	768 (1913-61) 787 (1926-58)
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	21,5 × 10 <sup>9</sup>	24 × 10 <sup>9</sup>
Débit étiage absolu .....	m <sup>3</sup> /s	3 à 5 environ	2,5 environ
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	40 environ	43 environ
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	800 environ	920
Débit caractéristique de crue * .....	m <sup>3</sup> /s	2 800 environ	3 800
Maximum annuel .....	m <sup>3</sup> /s	4 090	4 900 environ
Crue décennale .....	m <sup>3</sup> /s	6 000	7 000
Crue centenaire (calculée) .....	m <sup>3</sup> /s	9 000	9 000
Volume annuel (année humide) 1 <sup>er</sup> décile ..	m <sup>3</sup>	895	1 150
Volume annuel (année sèche) dernier décile .	m <sup>3</sup>	340	420
Déficit, écoulement sahélien exclu (pour Bakel seulement) .....			
Coefficient d'irrégularité interannuelle ....		2,65	2,75

(1) Ces chiffres seront revus lors de la mise au point de la Monographie.

(2) Avec lacunes.

\* Valeur médiane.

800 m<sup>3</sup>/s. Entre ces deux stations, il y a les pertes dans les plaines d'inondation et aussi les imprécisions d'étalonnage et l'influence de périodes de durées différentes pour le calcul des modules. Mais si vraiment les bassins sahéliens donnaient lieu à des apports notables, on trouverait à Bakel un total très supérieur à l'ensemble des deux stations de Gouina et de Kidira. Malheureusement, il n'existe pas de mesures directes des modules des deux grands affluents sahéliens du Sénégal. Tous les bassins sahéliens connus, présentant encore un réseau à peu près organisé pour des superficies de plus de 10 000 km<sup>2</sup>, admettent des modules très faibles, peut-être entre 0,2 et 1 l/s.km<sup>2</sup>. Dans le cas du Sénégal, la moyenne est encore plus faible, car les superficies sont beaucoup plus grandes, 20 000 à 60 000 km<sup>2</sup>. Cette superficie comprend, en outre, d'une part, des bassins très allongés, comportant des mares où l'évaporation est intense, correspondant certainement à des débits moyens annuels spécifiques nettement inférieurs à la limite supérieure donnée plus haut ; d'autre part, des bassins résiduaux sans réseau hydrographique, dont le module spécifique est nul. Il semble peu vraisemblable que l'ensemble de cette zone sahélienne donne lieu à plus de 50 m<sup>3</sup>/s (correspondant à 0,5 l/s × 10 km<sup>2</sup>), c'est l'ordre de grandeur de l'erreur d'étalonnage de Bakel. Si nous considérons les maximums annuels (valeur médiane pour la période 1936-1959), on trouve : à Galougo-Gouina : 4 090 m<sup>3</sup>/s, à Kidira : 1 970 m<sup>3</sup>/s, à une date telle, en général, que ces débits de pointes parviennent en même temps au confluent. Il convient donc, en première estimation, de les additionner et on arrive ainsi à un total de 6 060 m<sup>3</sup>/s, alors qu'à Bakel, le maximum est de 4 900 m<sup>3</sup>/s (valeur médiane 1936-1959). Cette valeur est inférieure, ce qui est logique, car, bien que les pointes soient en concordance, il y a amortissement de l'amont à l'aval ; mais, compte tenu de la brièveté du paroxysme de crue du Sénégal et de la Falémé, on pourrait s'attendre à une différence plus grande. Il doit donc y avoir une très légère influence du maximum sahélien qui, lui aussi, coïncide avec celui du fleuve principal. Il semble vraisemblable que ce total soit compris entre 200 et 400 m<sup>3</sup>/s, soit un chiffre pas beaucoup plus élevé que l'erreur sur les débits de hautes eaux des stations principales (5 % pour Bakel).

En conclusion, on voit que l'influence de la zone sahélienne est presque négligeable. Elle a simplement pour effet :

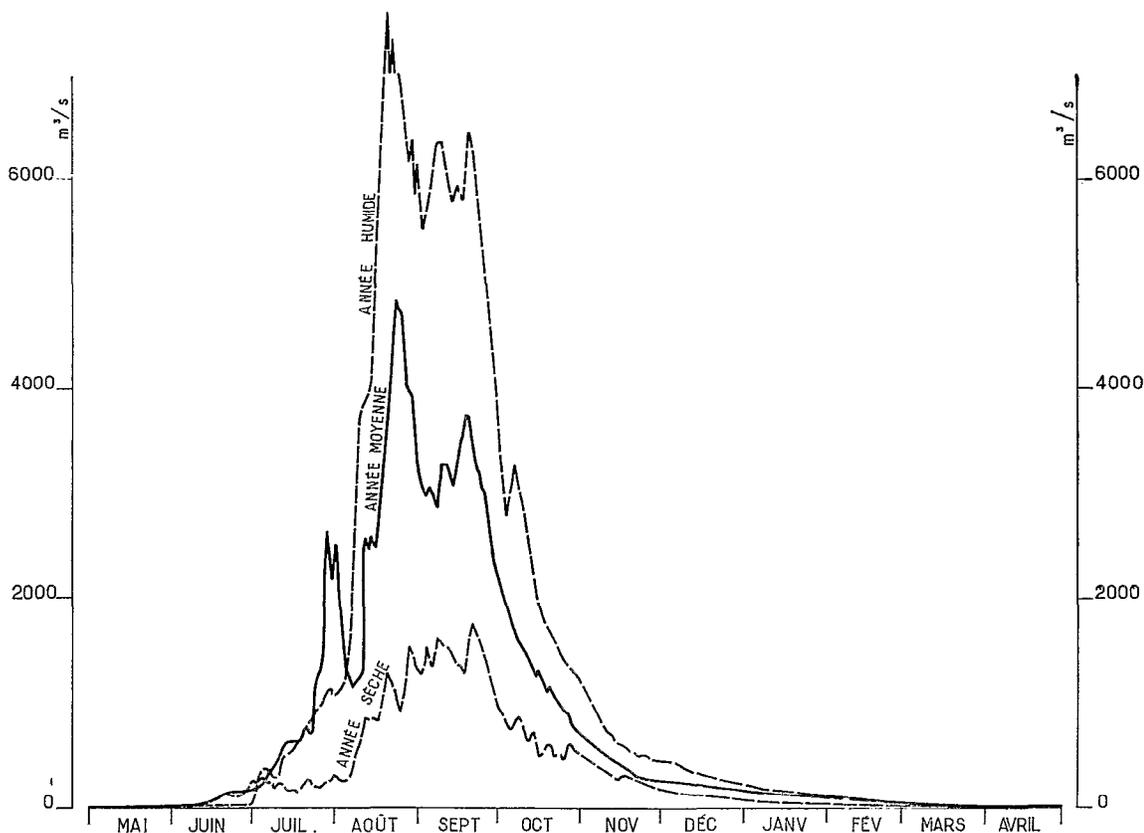
- 1° de freiner très légèrement l'amortissement de la crue entre Gouina et Bakel ;
- 2° d'augmenter probablement l'irrégularité interannuelle, en apportant un volume notable en année de très forte hydraulicité sur la zone sahélienne (coïncidant souvent avec une très forte hydraulicité sur la zone tropicale) et pratiquement rien en année sèche.

L'influence de la zone tropicale de transition n'est pas très importante non plus. Le haut bassin du Bafing est très éloigné des stations principales ; les apports précoces de cette zone arrivent en juin et juillet à Bakel, en même temps que l'écoulement provenant des premières crues de la zone tropicale. Le maximum spécifique de cette zone de transition n'est pas beaucoup plus élevé que celui de la zone tropicale. La seule influence notable est un léger renforcement de débit d'étiage, surtout en année moyenne ou abondante. Celui-ci n'est pas très bien connu : pendant des années, les hauteurs d'eau n'ont pas été relevées au voisinage de l'étiage, et ce n'est que tout récemment que des jaugeages de très basses eaux ont pu être effectués de façon systématique. On déduit de ces mesures récentes que la valeur médiane de l'étiage à Bakel est de 2 à 3 m<sup>3</sup>/s, alors que, si le régime était du type tropical pur, il serait de 200 à 500 l/s au grand maximum. A l'aval de Bakel, il est pratiquement impossible de calculer le débit d'étiage. L'évaporation est largement suffisante pour absorber 2 à 3 m<sup>3</sup>/s. Mais, par contre, les plaines d'inondation restituent probablement quelques m<sup>3</sup>/s.

Le régime à Bakel correspond donc, en première approximation, au régime tropical pur, à condition de rapporter les débits à une superficie de 135 000 km<sup>2</sup> environ, avec :

- une période de hautes eaux de trois mois (août, septembre, octobre) ;
- un maximum assez élevé (35 l/s.km<sup>2</sup>) et court, correspondant à la bonne coïncidence des maximums des affluents ;
- une assez forte irrégularité interannuelle correspondant à un coefficient de variation de 34,5 ou à un coefficient  $K_3 = 2,75$  (rapport des modules correspondant aux premier et dernier déciles).

## LE SÉNÉGAL A BAKEL



Examinons rapidement les valeurs extrêmes des débits à Bakel. La crue décennale est de  $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$ . La crue centenaire serait de l'ordre de  $9\,000\text{ m}^3/\text{s}$ . En anticipant ainsi sur ce que nous verrons plus loin pour le Niger Supérieur, on constate que, pour des valeurs médianes du maximum annuel, très inférieures :  $4\,900\text{ m}^3/\text{s}$  au lieu de  $6\,220\text{ m}^3/\text{s}$ , on observe des crues centenaires très voisines, ce qui souligne le caractère plus irrégulier du régime du Sénégal.

A l'opposé, quel est le débit d'étiage le plus faible observé ? Il est difficile de donner une valeur précise. On a déclaré que le Sénégal avait été « à sec » certaines années, mais jamais nous n'avons trouvé un observateur précis pour déclarer : « J'ai parcouru tout le profil en travers sans constater aucun écoulement apparent. » Notons qu'au Félou, en 1945, étiage de fréquence peut-être décennale, l'exploitation de la centrale hydraulique a dû être interrompue quelques jours, ce qui suppose un débit inférieur peut-être à  $100\text{-}200\text{ l/s}$ , auquel il convient d'ajouter les fuites du barrage. Un débit rigoureusement nul à l'aval de Kayès ne semble pas absolument invraisemblable pour des fréquences extrêmement faibles, centenaires ou millénaires.

A Galougo-Gouina, le bassin versant actif est de  $108\,000\text{ km}^2$  ; le régime n'est pas très différent de celui de Bakel, avec cependant :

- un module spécifique plus élevé, ce qui est normal ;
- un débit de crue exceptionnelle équivalent, ce qui correspond à un débit spécifique double ;
- un débit d'étiage plus élevé ;
- une irrégularité interannuelle légèrement plus faible.

L'écart entre modules spécifiques est dû au fait que le bassin à Galougo-Gouina est beaucoup mieux arrosé ; ceci explique également les étiages plus élevés, l'irrégularité interannuelle plus faible et, en partie, les crues plus fortes.

Les débits spécifiques de crue exceptionnelle plus élevés s'expliquent également par un bassin deux fois plus petit.

Si on veut, en quelques lignes, donner un schéma simple du régime du Sénégal à l'aval du confluent de son dernier affluent, la Falémé, notons simplement que le régime correspond sensiblement au régime tropical pur, avec une période de hautes eaux de trois mois, et une longue période de basses eaux :

- un débit moyen annuel de  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- un débit d'étiage de  $2 \text{ à } 3 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- un débit de crue de  $4\,900 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- un débit de crue centenaire de  $9\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- un coefficient d'irrégularité annuelle  $K_3 = 2,75$  ;
- un volume annuel moyen de  $24 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

## II. LE NIGER.

En accord avec l'étendue de son bassin,  $1\,500\,000 \text{ km}^2$  (1), et la longueur de son cours,  $4\,200 \text{ km}$  environ, le Niger présente une alimentation assez complexe, comme on peut le voir par ce qui suit :

Les branches supérieures prennent leurs sources sur le revers oriental du Fouta-Djallon et dans le massif qui le prolonge vers le Sud-Ouest, au voisinage de la frontière entre Guinée et Libéria. Ces régions montagneuses, relativement élevées et bien arrosées, donnent lieu à des débits spécifiques abondants.

Avec son principal affluent de rive droite, le Bani, le Niger constitue un fleuve puissant qui se dirige résolument vers le Nord-Ouest, c'est-à-dire le Centre de l'Afrique Occidentale, où l'attendent de nombreuses difficultés qui l'empêcheront de tenir les brillantes promesses de son cours supérieur. Entre Ségou et Mopti, il arrive en effet dans la zone lacustre, région sahélienne à très faible pente, dont on trouve des équivalents sur presque tous les fleuves de cette région tropicale de l'hémisphère Nord, y compris le Nil. Les apports de cette région sont insignifiants, le Niger se divise en plusieurs bras, et alimente de nombreux lacs, d'innombrables zones d'inondation, où les pertes par évaporation sont énormes. Grâce à une capture récente, il finit cependant par sortir de cette zone lacustre, bien amoindri et avec un régime sensiblement modifié.

Il se dirige alors vers le Sud-Est, constituant ainsi, avec la zone lacustre, une très grande boucle. Sa direction générale reste à peu près la même jusqu'au Nigeria. Dans ces conditions, son débit va être renforcé par des apports de plus en plus importants. Mais, jusqu'à Niamey, le renforcement dû aux apports sahéliens de la rive droite et subdésertiques de la rive gauche est insignifiant. Plus à l'aval, il reçoit les apports des cours d'eau tropicaux du Dahomey, dont la crue arrive très décalée par rapport à celle du cours supérieur, d'où un hydrogramme annuel à double pointe. Après Malanville, à la frontière du Nigeria, il reçoit, sur sa rive gauche, les apports des cours d'eau sahéliens du Nigeria du Nord et surtout, sur sa rive droite, ceux des cours d'eau tropicaux de transition, dont les bassins sont plus petits, mais les débits beaucoup plus abondants.

Enfin, à Lokodja, la Bénoué, son principal affluent, débouche dans le Niger. Avec son bassin de  $340\,000 \text{ km}^2$  environ, la bonne alimentation des affluents tropicaux de transition de sa rive gauche, la Bénoué à Lokodja présente un débit annuel égal à  $3\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $120 \%$  du débit du Niger à l'amont du confluent.

---

(1) Bassin théorique, y compris les zones désertiques.



A l'aval de ce confluent, le Niger se dirige vers le Sud, reçoit encore quelques petits affluents assez abondants et se jette dans l'Océan Atlantique par un très grand delta qui couvre près de 25 000 km<sup>2</sup>.

Pour l'étude du régime du fleuve, on peut diviser le bassin comme suit :

- 1° Le bassin supérieur : Niger à l'amont de Koulikoro et Bani à l'amont de Mopti.
- 2° La zone lacustre qui s'étend jusqu'à Tombouctou.
- 3° Le Niger moyen : depuis la Boucle jusqu'au confluent de la Bénoué.
- 4° Le bassin supérieur de la Bénoué, en amont de la dorsale, entre Nigeria et Cameroun.
- 5° La Bénoué inférieure jusqu'au confluent.
- 6° Le Niger inférieur.

Il serait trop beau qu'à la limite aval de chacun de ces bassins partiels, se trouve une très bonne station de jaugeage observée depuis longtemps. Mais il est possible de déterminer les caractéristiques hydrologiques de chacun de ces biefs avec une précision suffisante. On les trouvera dans les tableaux ci-après.

### 1° *Bassin supérieur*

Il est représenté dans notre tableau par la station de Koulikoro, d'une part, et l'ensemble des deux bassins du Niger à Koulikoro et du Bani à Douna, d'autre part.

Le Niger Supérieur est constitué par la réunion de quatre branches-mères d'importance comparable :

- le Niger proprement dit, ou Dioliba (B.V. 18 600 km<sup>2</sup>, module : 250 m<sup>3</sup>/s) ;
- le Niandan (B.V. 12 700 km<sup>2</sup>, module : 260 m<sup>3</sup>/s) ;
- le Milo (B.V. 13 500 km<sup>2</sup>, module : 275 m<sup>3</sup>/s) ;
- le Tinkisso (B.V. 19 800 km<sup>2</sup>, module : 220 m<sup>3</sup>/s).

Le Niandan et le Milo, dont les bassins supérieurs sont les mieux arrosés (plus de 2 000 mm par an), et dont la pente est la plus forte, présentent les débits spécifiques les plus abondants. Tous ces cours d'eau ressortent du régime tropical de transition : la partie supérieure du Niandan et celle du Milo correspondent à la variante méridionale de ce régime avec une période de hautes eaux très longue, une période de basses eaux très courte, avec quelques petites crues.

Dans leur cours inférieur, Niandan, Milo et Tinkisso présentent des plaines d'inondation assez étendues qui contribuent, en année très humide, à laminier les pointes de crues. Le Niger étant ainsi constitué un peu à l'amont de Siguiri, reçoit sur sa rive droite un important affluent, le Sankarani (B.V. 35 500 km<sup>2</sup>, module : 405 m<sup>3</sup>/s). Le régime du Sankarani est intermédiaire entre celui des cours d'eau dont nous venons de parler et le régime du Bani, très voisin du régime tropical pur. Entre le confluent du Sankarani et Bamako ou Koulikoro, le Niger ne reçoit aucun affluent important. Seules, les parties septentrionales des bassins du Sankarani et du Tinkisso ressortent du régime tropical pur. La faible abondance et l'extrême sévérité des étiages de cette petite partie du bassin sont compensées par les caractéristiques inverses du Milo et du Niandan Supérieur. On peut dire qu'à Koulikoro le régime correspond sensiblement au régime tropical de transition classique avec un débit d'étiage soutenu et une période de hautes eaux prolongée.

Il est tentant de comparer ces caractéristiques à celles du Sénégal à Bakel qui présente un bassin versant *actif* de superficie voisine : 135 000 km<sup>2</sup>, l'un représentant assez bien le régime tropical pur avec une hauteur de précipitation annuelle de 1 160 mm, et l'autre le régime tropical de transition, avec 1 600 mm par an.

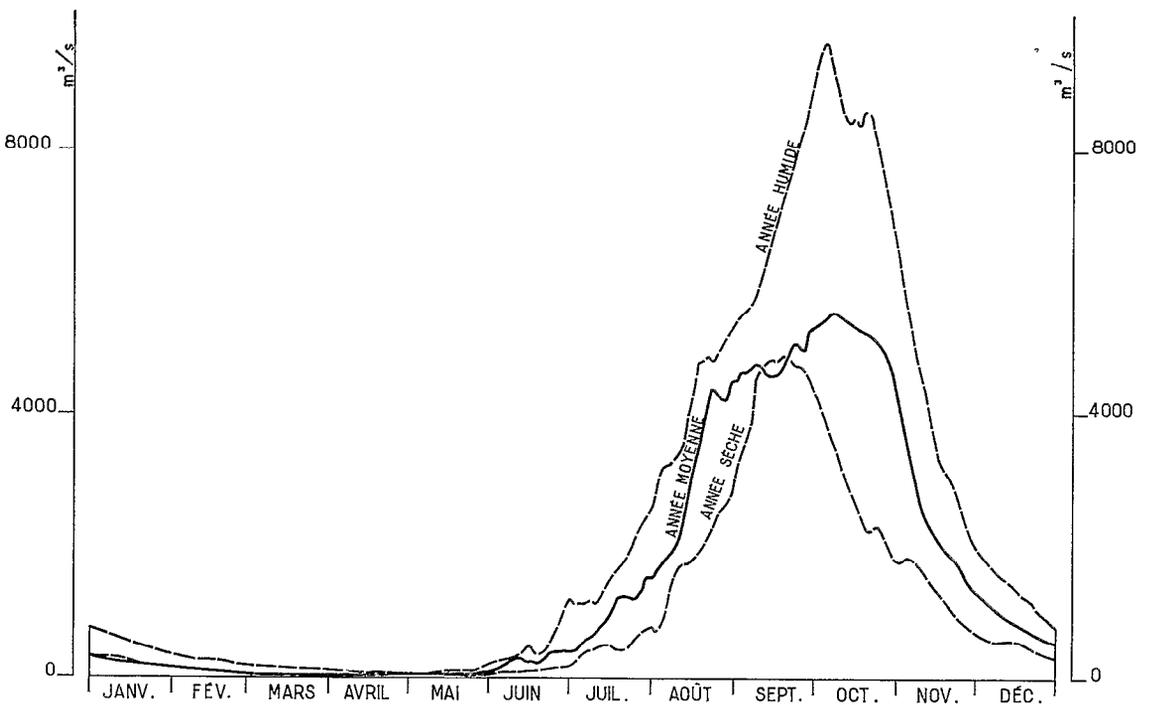
Le module du Niger est le double de celui du Sénégal, bien que la hauteur de précipitation annuelle ne soit supérieure que de 38 %, mais, sur le Sénégal, l'hydrogramme annuel est nettement plus aigu, les crues du Sénégal sont nettement plus violentes malgré un réseau hydrographique un peu moins favorable : la crue annuelle correspond à 75 % de la crue du Niger pour un module deux fois moindre, les crues décennales et centennales sont très voisines.

Par contre, les basses eaux sont beaucoup moins abondantes sur le Sénégal. Le débit caractéristique de 9 mois est de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , au lieu de  $115 \text{ m}^3/\text{s}$ , le débit d'étiage est 10 à 12 fois plus faible. Notons cependant que le débit d'étiage du Niger est très irrégulier (les valeurs observées varient entre 18 et  $137 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ceci tient au fait que, sur la partie supérieure du bassin, la saison sèche peut être trop courte certaines années pour que le tarissement soit très avancé, alors que sur le Sénégal, à la fin de la saison sèche, le tarissement est presque complet. Cette singularité étant mise à part, on voit que le Niger présente un régime beaucoup plus régulier que le Sénégal ; le coefficient d'irrégularité interannuel :  $K_3 = 1,89$ , est beaucoup plus faible d'ailleurs que celui du Sénégal : 2,75.

Le Bani est constitué par la réunion du Baoulé et de la Bagoé. Ces deux cours d'eau prennent leur source dans des régions de collines au Nord de la Côte d'Ivoire. Au voisinage de ces sources, la hauteur de précipitations est assez élevée : 1 500 à 1 600 mm, mais le climat devient plus sec. L'ensemble du bassin occupe une position beaucoup plus septentrionale que le Niger Supérieur. La pente diminue très rapidement : 70 % du bassin sont compris entre 300 et 400 mm, aussi, après quelques dizaines de kilomètres, ces cours d'eau présentent un lit très sinueux au milieu d'une large plaine d'inondation ; ces caractéristiques, déjà notables pour le Tinkisso et le Sankarani, sont absolument la règle pour tous les tributaires du Bani. Il en résulte des crues amorties par les pertes dans les plaines d'inondation et un diagramme annuel de forme très régulière ; par contre, les plaines d'inondation restituent en basses eaux une faible partie de ce qu'elles ont absorbé en crue et c'est fort heureux car, même dans le Sud du bassin, il est assez rare de rencontrer des petits cours d'eau à écoulement permanent. Le tiers méridional ressort du régime tropical de transition, il s'agit d'une variante assez peu abondante, intermédiaire entre celui des branches du Niger et le régime dahoméen. Le reste du bassin fait partie du régime tropical pur. Mais, par suite de la faible pente, on ne retrouve plus les crues violentes du Sénégal.

Le module  $670 \text{ m}^3/\text{s}$  à Douna est un peu plus abondant qu'il ne le serait sur le Sénégal pour un bassin de  $102\,000 \text{ km}^2$ , ce qui montre l'influence guinéenne plus marquée sur le Bani, mais la

#### LE NIGER A KOULIKORO



crue : 2 980 m<sup>3</sup>/s est nettement plus faible qu'elle ne le serait sur le Sénégal pour le même bassin. Ceci est encore mieux marqué pour la crue décennale : 3 180 m<sup>3</sup>/s au lieu de  $7\,600 \times 102$ , soit

135

5 700 m<sup>3</sup>/s que l'on trouverait sur le Sénégal. L'étiage, 20 m<sup>3</sup>/s environ, est beaucoup plus fort. Le coefficient d'irrégularité interannuelle est encore plus faible qu'à Koulikoro.

Le bassin supérieur du Niger apporte donc 70 milliards de m<sup>3</sup> par an avec un débit maximal annuel de 6.220 + 2.980 m<sup>3</sup>/s et un débit d'étiage de 50 m<sup>3</sup>/s. Qu'en resterait-il après l'épreuve redoutable de la traversée de la zone lacustre ?

## 2° Zone lacustre

La zone lacustre du Niger est un exemple typique de la traversée des régions sahéliennes par un grand fleuve venant de régions méridionales mieux arrosées. Elle est comparable au Sud que traverse le Nil et à la Mésopotamie tchadienne formée par le Chari et le Logone.

Il s'agit d'un pays très plat légèrement en contrebas par rapport au niveau de crue dans le Niger et soumis à une très longue saison sèche pendant laquelle l'évaporation est très forte. On constate, en effet, que la hauteur d'eau évaporée annuelle est voisine de 2,50 m en moyenne sur ces eaux peu profondes.

On comprend aisément que, dans ces conditions, les plaines d'inondation s'étendent à l'infini, que de nombreux effluents quittent le bras principal en hautes eaux et que la majeure partie de l'eau quittant le fleuve soit perdue par l'évaporation, d'autant plus que, dans le cas particulier du Niger, ces bras alimentent de nombreux lacs sur la rive droite comme sur la rive gauche. Un autre trait caractéristique de cette zone lacustre est l'abaissement progressif, au cours des siècles, du plan d'eau par le lent creusement du seuil qui commande l'écoulement à l'aval : le seuil de Tossaye. Il en résulte qu'à l'amont de la zone lacustre, certains effluents sont maintenant fossiles, tel le bras de Molodo qui a été remis artificiellement en eau par l'Office du Niger.

La zone de dégradation hydrographique de la cuvette lacustre commencerait théoriquement à Ségou avec cet effluent fossile. En fait, elle débute 100 km plus loin vers Ké Macina. De même sur le Bani, elle commence peu après Douna mais jusqu'au confluent avec le Niger, les pertes du Bani vers ce fleuve sont limitées, malgré la présence de nombreux bras secondaires joignant deux cours d'eau.

A Diafarabé, le Diaka quitte le fleuve principal et se dirige vers l'Ouest pour rejoindre bien péniblement le lac Débo. La répartition est la suivante : 2/3 du débit moyen annuel reste et, dans le Niger, 1/3 emprunte le Diaka, la répartition est la même pour le débit de crue. Une série de bras secondaires quittent encore le Niger sur la rive gauche vers le Diaka ou le lac Débo, tandis que sur la rive droite, de nombreuses communications relient le Niger et le Bani. Puis, le fleuve parvient à Mopti où il reçoit le Bani, il oblique légèrement vers le Nord et tombe dans le lac Débo. Il y retrouve d'ailleurs ce qui reste des apports des bras rive gauche.

De la rive Nord du lac Débo part le Bara Issa qui rejoint le fleuve juste avant Diré et alimente, vers l'Est, les lacs de la rive dont les plus importants sont : Korarou, Bougoundou, Niangaye et Garou ; les plus éloignés ne sont remplis qu'en période de forte hydraulité.

Du lac Débo sort le bras principal, l'Issa Ber, qui s'incurve d'abord légèrement vers l'Ouest avant de reprendre la direction Nord-Est ; il est rejoint par le Bara Issa et passe à la station principale de Diré. Auparavant, il alimente par sa rive gauche une série de mares et de lacs dont les lacs Horo et Fati. A l'aval de Diré, le Niger alimente le lac Télé, lequel remplit le lac Faguibine. Ce lac présente beaucoup de points communs avec le lac Tchad, en particulier, ses eaux restent douces grâce au même processus, ses avancées vers l'Ouest sont de bons repères de l'hydraulité du Niger et ses rives peuvent donner lieu à une mise en valeur agricole intéressante.

Bien entendu, il faut ajouter à ce schéma, déjà complexe de bras principaux et de lacs, d'innombrables bras et dépressions secondaires, les plaines d'inondation qui les bordent, cet ensemble constituant une zone lacustre longue de 450 km, large de plus de 200 km dans sa plus grande largeur, et dont la superficie est de l'ordre de 80 000 km<sup>2</sup>.

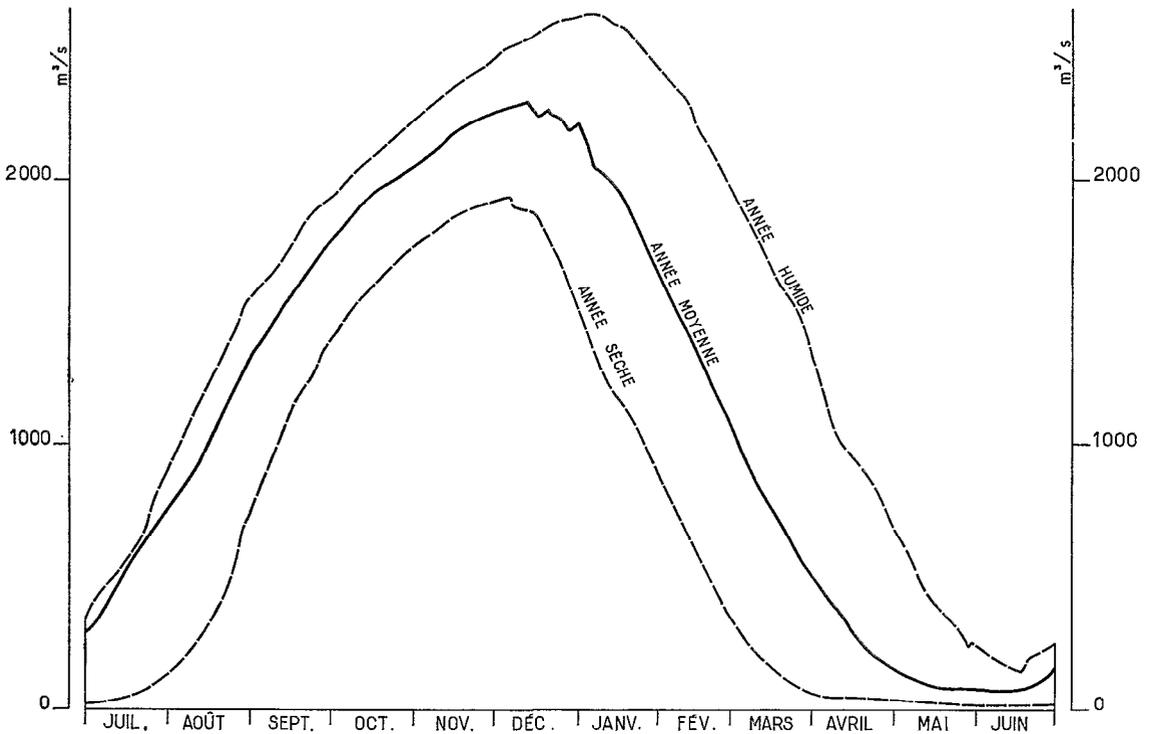
Au droit de Tombouctou, les divagations cessent, les plaines d'inondation deviennent très réduites, c'est la fin de cette zone lacustre.

Pour des raisons qui n'ont de rapport ni avec l'hydrographie, ni avec l'hydrologie, la station principale de la sortie de cette zone est Diré, et non Kabara, faubourg de Tombouctou. Mais les pertes entre Diré et Kabara sont à peu près de l'ordre de grandeur des erreurs de mesures sur le module à Diré.

Depuis les stations de Koulikoro et de Sofara (sur le Bani), le Niger a reçu :

- les apports directs des précipitations sur la partie de la cuvette en eau de juillet à septembre. Ces apports sont faibles, la superficie correspondante étant minimale à cette époque de l'année ;
- les apports d'un unique affluent, l'Yamé, issu du massif de Bandiagara : moins de 500 000 000 de m<sup>3</sup> par an.

LE NIGER A DIRÉ



Mais ses pertes sont énormes. En effet, le module à Diré n'est plus que de 1 110 m<sup>3</sup>/s (sur 51 ans), soit la moitié du module entrant dans la cuvette lacustre. Les valeurs maximales annuelles à Koulikoro et Douna étaient respectivement de 6 220 m<sup>3</sup>/s et 2 980 m<sup>3</sup>/s, il en reste 2 350 m<sup>3</sup>/s. Par contre, nous avons déjà vu qu'il était devenu beaucoup plus régulier. L'étiage, difficile à mesurer, est resté à peu près le même, le maximum correspond seulement à 2,1 fois le module, la crue décennale n'est plus que de 2 640 m<sup>3</sup>/s, soit 1,12 fois la crue annuelle, alors qu'à Koulikoro, le même rapport est égal à 1,27, l'irrégularité annuelle définie par le coefficient  $K_3$  est de 1,71, nettement amélioré par rapport à l'ensemble Koulikoro + Douna.

On trouvera, dans le tableau ci-après, les caractéristiques principales à Diré, à la sortie de la cuvette lacustre.

### 3° Niger Moyen

Après Diré, le Niger s'infléchit peu à peu vers l'Est, passe par un défilé étroit au seuil de Tosaye par où il peut enfin s'échapper vers l'océan, il se dirige alors vers le Sud-Est et va rencontrer des affluents de mieux en mieux alimentés ; mais il faut bien reconnaître que, pendant une bonne distance, ces promesses sont bien cachées.

Le Tilemsi, sur la rive gauche, qui est censé drainer le Sud de l'Adrar des Iforas, est désespérément fossile et le premier affluent rive gauche voltaïque présentant un écoulement notable, le Gorouol, apporte en année moyenne moins de 150 000 000 de m<sup>3</sup> pour 45 000 km<sup>2</sup>. Jusqu'à Niamey on compte, toujours sur la rive gauche, trois affluents sahéliens dont le plus important est la Sirba, qui apportent au total peut-être 1 000 000 000 de m<sup>3</sup>.

#### NIGER SUPÉRIEUR ET ZONE LACUSTRE

##### *Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Koulikoro, Koulikoro + Douna, et Diré*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	KOULIKORO	KOULIKORO + DOUNA	DIRÉ
Superficie .....	km <sup>2</sup>	120 000	222 000	330 000
Précipitation moyenne annuelle .	mm	1 600	1 450	(1)
Débit moyen annuel .....	m <sup>3</sup> /s	1 545	2 215	1 110
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	49 × 10 <sup>9</sup>	70 × 10 <sup>9</sup>	35 × 10 <sup>9</sup>
Débit d'étiage absolu .....	m <sup>3</sup> /s	32	(50)	(50)
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	115	170	250
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	2 400	3 700	1 960
Débit caractéristique de crue ...	m <sup>3</sup> /s	5 840	5 840	2 320
			+ 2 900	
Maximum annuel .....	m <sup>3</sup> /s	6 220	6 220	2 350
			+ 2 980	
Crue décennale .....	m <sup>3</sup> /s	7 900	7 900	2 660
			+ 3 180	
Crue centenaire .....	m <sup>3</sup> /s	9 600	9 600	2 800
			+ 3 750	
Volume annuel (année humide). 1 <sup>er</sup> décile .....	m <sup>3</sup>	63,5 × 10 <sup>9</sup>	90 × 10 <sup>9</sup>	47 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel (année sèche) dernier décile .....	m <sup>3</sup>	33,5 × 10 <sup>9</sup>	50 × 10 <sup>9</sup>	27,5 × 10 <sup>9</sup>
Déficit écoulement .....	mm	1 165	1 135	(1)
Coefficient d'irrégularité interan- nuelle .....		1,89	1,80	1,71

(1) Sans signification.

Le régime s'en trouve assez peu modifié, la période des basses eaux est légèrement plus courte et, en septembre, date correspondant à la crue maximale de ces affluents sahéliens, le débit du Niger peut se trouver renforcé de 5 % (année faible sur ces cours d'eau) à 25 % (année forte).

En définitive, le module moyen à Niamey n'est que de 1 020 m<sup>3</sup>/s, les apports sahéliens n'ayant compensé que très faiblement les pertes par évaporation. Le maximum annuel est égal à 1 840 m<sup>3</sup>/s (valeur médiane).

Si les apports de Diré à Niamey sont encore insignifiants, ils commencent à devenir substantiels de Niamey à la frontière du Nigeria. Sur la rive gauche, les affluents s'obstinent à demeurer fossiles ; dans leur lit démesuré, quelques ruisseaux se sont installés, d'autres drainent les pentes qui bordent le Niger, mais leurs débits de crue sont sans influence sur le régime du Niger. Rappelons cependant que, dans la partie amont du plus important des affluents fossiles, le Dallol-Dosso, certains tributaires roulent en crue en année humide des débits de l'ordre de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais pas une goutte de ces crues n'arrive au Niger, même par l'intermédiaire de l'inféoflux.

Sur la rive droite, par contre, les affluents dahoméens, qui ressortent du régime tropical pur, roulent au total  $6\,000\,000\,000$  de  $\text{m}^3$ . Les trois plus importants affluents sont la Mékrou, l'Alibori et la Sota. Le module du Niger est en conséquence majoré de 20 %, passant entre Niamey et Malanville de  $1\,020 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $1\,255 \text{ m}^3/\text{s}$  (période de 35 ans) : volume  $39,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Le diagramme annuel subit une modification beaucoup plus importante que le débit moyen annuel. La crue des affluents dahoméens survient en juillet, juste au moment où le tarissement de la crue soudanaise (crue noire) arrive en sa période finale et où la courbe tend à s'aplatir, la période de basses eaux est écourtée, d'où des débits d'étiage un peu plus forts qu'à Niamey :  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  au lieu de  $41 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mais ce qui est plus important, c'est l'apparition d'une première pointe de crue, aiguë puisqu'elle n'est pas régularisée, qui précède de cinq à six mois la crue noire qui est au moins aussi molle qu'à Diré.

Les deux crues présentent la même valeur médiane :  $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais la première crue dahoméenne présente un écart-type double, les crues exceptionnelles seront donc des *crues dahoméennes*. La crue décennale est voisine de  $2\,800 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'influence dahoméenne ne change guère, le coefficient d'irrégularité  $K_3$  est égal à 1,73. Le régime des nouveaux affluents est irrégulier, mais l'apparition d'une nouvelle pointe, dont l'abondance est en corrélation très lâche avec la crue soudanaise, tend au contraire à réduire cette irrégularité.

A partir de Malanville, le Niger va recevoir des apports de plus en plus importants qui transformeront le diagramme annuel et augmenteront considérablement le module. Les plus importants parviendront de la rive gauche.

La dépression du Dallol-Maouri, en zone sahéenne, ne doit apporter, comme le Dallol-Dosso, que des débits tout à fait insignifiants. Il n'en est pas de même de la Sokoto. Celle-ci draine un important bassin, à régime mi-sahélien, mi-tropical pur, l'extrême Nord de ce bassin correspondant au Goulbi de Maradi, typiquement sahéen, qui communique tant bien que mal avec le reste du réseau hydrographique de la Sokoto. Mais plus les affluents de cette rivière sont méridionaux, plus leurs débits spécifiques sont abondants et une bonne partie du bassin, tropicale, présente une forte crue (le débit de basses eaux restant pratiquement nul). Il en résulte une forte pointe venant se superposer à la crue dahoméenne, mais le module du Niger augmente nettement moins que le débit maximal. Du confluent de la Sokoto jusqu'à la station de Jebba, il reçoit, sur la rive droite et sur la rive gauche, une série de petits affluents dont les plus méridionaux ont un régime qui se rapproche du régime tropical de transition.

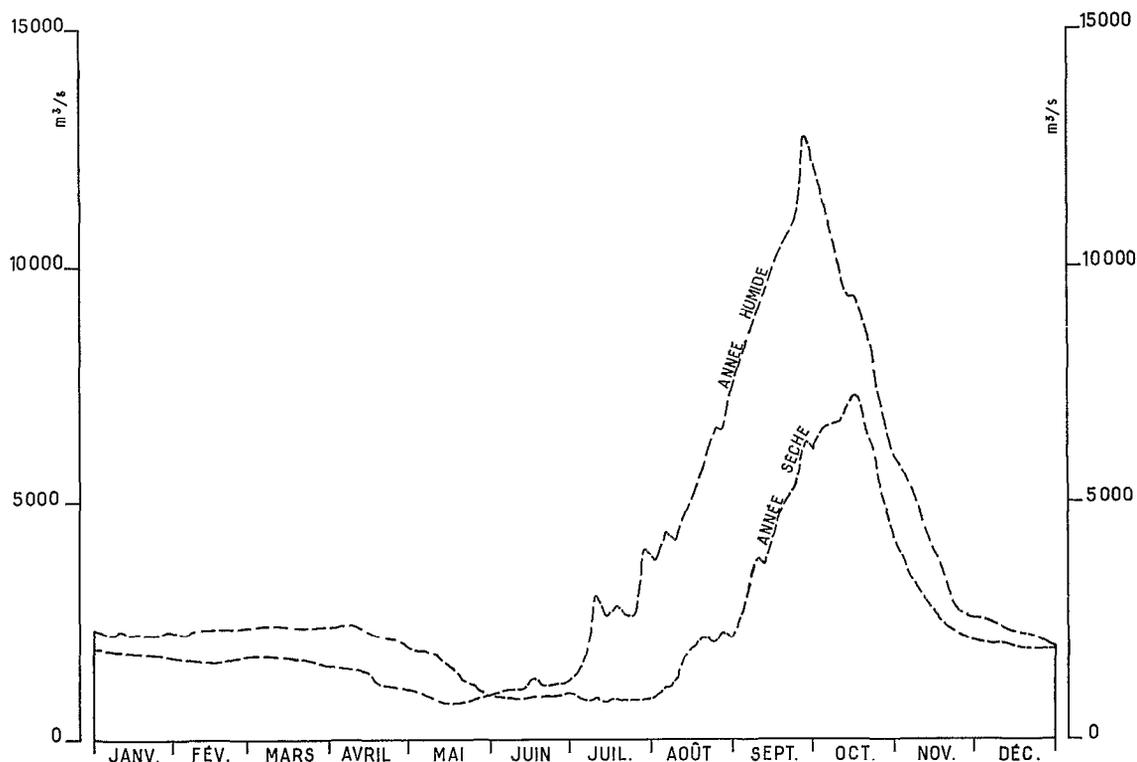
A Jebba, le module est passé de  $1\,255$  à  $1\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais la crue locale a plus que doublé, le débit d'étiage a beaucoup augmenté par un processus qui sera expliqué plus loin.

Peu après Jebba, le Niger reçoit sur sa rive droite un second affluent important, la Kaduna ( $S = 65\,500 \text{ km}^2$ ), venu du plateau de Jos dont le régime est du type tropical pur, avec une légère influence du régime tropical de transition ; étant donné la forte pente de ce cours d'eau dans sa partie amont, l'hydrogramme présente des séries de pointes aiguës comparables à celles de la Haute Bénoué, avec un débit d'étiage pratiquement nul, un débit maximal annuel atteignant probablement  $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit beaucoup plus que le maximum à Malanville, et un module sur une longue série d'années qui doit être voisin de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit la moitié du module de Malanville, plus du tiers du module du Niger à Jebba. Du confluent de la Kaduna jusqu'à Baro, le Niger reçoit encore deux petits affluents à régime tropical de transition.

A Baro, le régime du fleuve peut être défini comme suit : le module  $2\,525 \text{ m}^3/\text{s}$  (1914-1957) a doublé depuis Malanville : 50 % du supplément proviennent de la Kaduna, le reste provient surtout

de la Sokoto. Le maximum annuel, 9 000 m<sup>3</sup>/s, a quadruplé (il avait déjà doublé à Jebba, ce qui montre que l'influence de la Sokoto est loin d'être négligeable). La crue décennale est passée à 12 000 m<sup>3</sup>/s.

#### LE NIGER A BARO



Les affluents depuis Niamey ont reconstitué un fleuve présentant des débits comparables au Niger Supérieur. L'hydrogramme annuel présente certaines ressemblances : la pointe principale est bien en septembre-octobre mais, beaucoup plus aiguë, elle rappelle celle du Sénégal, ce qui est normal, les apports dominants ressortant du régime tropical pur. Suit une longue période de basses eaux, mais cette partie de l'hydrogramme diffère nettement des parties correspondantes des hydrogrammes de Koulikoro et de Douna, et c'est ici qu'il convient de reparler de la crue soudanaise ou crue noire. On reconnaît assez mal la pointe arrondie des stations de Niamey et de Malanville, il en reste un palier de décembre à avril avec parfois un léger bombement en mars qui atteint 1 800 m<sup>3</sup>/s en moyenne, la décrue de la crue noire est à peine commencée lorsque les affluents les plus méridionaux fournissent déjà en juin des débits non négligeables, d'où des débits d'étiage beaucoup plus élevés qu'on ne les trouverait dans le régime tropical de transition ; on observe un étiage de 600 m<sup>3</sup>/s environ, qui n'est plus comparable à celui de Malanville.

La forte pointe tropicale, d'autre part, a pour effet d'augmenter le coefficient  $K_3$  d'irrégularité interannuelle qui, depuis Malanville, passe de 1,72 à 1,85 environ. Tel est le régime du Niger avant le confluent de la Bénoué.

NIGER MOYEN

*Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Malanville,  
Wuya (Kaduna) et Baro*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	MALANVILLE	WUYA (KADUNA)	BARO
Superficie .....	km <sup>2</sup>	440 000 (1)	65 500	730 000
Module .....	m <sup>3</sup> /s	1 255	600	2 525
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	40 × 10 <sup>9</sup>	19 × 10 <sup>9</sup>	80 × 10 <sup>9</sup>
Débit d'étiage absolu .....	m <sup>3</sup> /s	(60)		700 à 800
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	(450)	30 ?	1 100
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	1 800	((700))	2 500
Débit caractéristique de crue ...	m <sup>3</sup> /s	2 100	(2 500)	8 700
Maximum annuel .....	m <sup>3</sup> /s	2 204	3 000	9 000
		2 152		
Crue décennale .....	m <sup>3</sup> /s	2 800	4 500	12 000
Crue centenaire (calculée) ...	m <sup>3</sup> /s			14 000
Volume annuel (année humide). 1 <sup>er</sup> décile .....	m <sup>3</sup>	50 × 10 <sup>9</sup>		104 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel (année sèche) 2 <sup>e</sup> décile .....	m <sup>3</sup>	29 × 10 <sup>9</sup>		56 × 10 <sup>9</sup>
Coefficient d'irrégularité interan- nuelle .....		1,72		1,85

(1) Bassin actif seulement.

**4° La Bénoué Supérieure**

Avant la capture du Niger Supérieur par le seuil de Tossaye, la Bénoué était le fleuve principal, d'autant plus qu'à cette époque elle était grossie par les déversements de la mer paléotchadienne. Actuellement encore, son débit moyen et sa crue sont plus importants que ceux du Niger à Baro.

Comme on le verra pour la Volta, la Bénoué rencontre, de l'amont vers l'aval, des affluents de plus en plus abondants, mais, alors que le bassin de la Volta est essentiellement un bassin de plaine alimenté par des pluies pas très abondantes, la Bénoué, et presque tous ses affluents, viennent de zones montagneuses souvent fort bien arrosées. Leurs hydrogrammes de crues sont donc très aigus, la majeure partie d'entre eux correspondant au régime tropical de transition. On examinera ce cours d'eau en deux points : à Garoua, où le régime est tropical pur, et à Makurdi, où il est à peu près le même qu'au confluent avec le Niger.

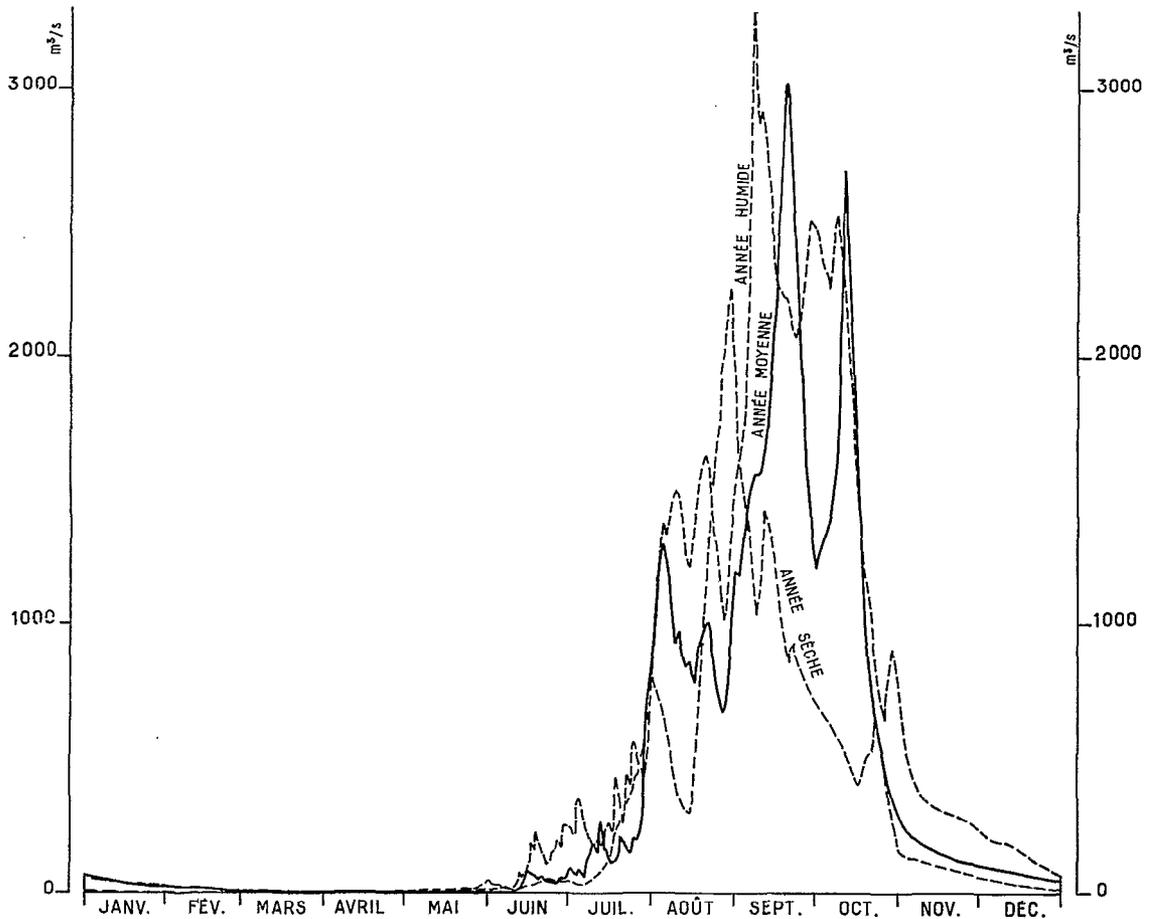
La Bénoué à Garoua est alimentée par deux cours d'eau de régime tropical pur : le Mayo Kebbi et la Bénoué. Au point de vue morphologique, la vallée principale est celle du Mayo Kebbi, qui part de la dépression des lacs Toubouris, au voisinage de la ligne indécise de partage des eaux entre Logone et Bénoué. C'est par cette vallée que passait autrefois le cours d'eau principal alimenté par l'ensemble du réseau constitué actuellement par le Chari et le Logone. C'est pourquoi le lit actuel a une pente très faible, mis à part l'accident des chutes Gauthiot (hauteur : une quarantaine de mètres) et les sections immédiatement à l'amont et à l'aval. La capture partielle du Logone n'est plus qu'un lointain souvenir de cet état de choses ancien. En octobre, 1 000 000 000 de m<sup>3</sup> en année humide ou 300 000 000 de m<sup>3</sup> en année moyenne, provenant du Logone, rejoignent la dépression des lacs Toubouris, par les seuils de Dana et Eré. En année sèche, le phénomène ne se produit pas. A moins de changements climatiques ou d'importantes divagations du Logone, le phénomène ne s'aggravera pas avant bien des siècles.

Le lit de la Bénoué n'est manifestement pas fait pour le fleuve actuel, au moins jusqu'à Lau ; or, presque tous ses affluents dans cette partie du cours ont des pentes fortes et charrient de grandes quantités de sable. Il en résulte qu'à l'arrivée dans la vallée principale, ce sable constitue des barrières qui créent des lacs à l'amont ; ceci se produit jusqu'au confluent avec la Bénoué proprement dite. Celle-ci charrie peu, nous verrons pourquoi plus tard.

Plus à l'aval, chaque affluent donne lieu, sur une dizaine de kilomètres à l'aval du confluent, à des « flats » sableux qui gênent considérablement la navigation. Certains même de ces affluents débouchent dans la rivière principale par un delta. Par ailleurs, la longueur de la vallée et la grande profondeur des alluvions, quelques dizaines de mètres, sont bien en rapport avec un fleuve puissant.

La Bénoué prend naissance vers la cote 1 200 m, sur la partie septentrionale du plateau de l'Adamaoua, assez bien arrosé, mais ce cours d'eau et ses premiers petits affluents descendent très rapidement du plateau, de sorte qu'au confluent avec le Mayo Kebbi, la Bénoué est simplement un cours d'eau à régime tropical pur avec une légère influence tropicale de transition ; mais l'influence montagnarde est moins sensible qu'on pourrait le croire, en particulier, le déficit d'écoulement reste assez élevé. Elle parvient assez vite dans une large plaine, constituée probablement par un ancien lac à l'amont du défilé de Lagdo. L'existence de cette plaine, conjuguée avec la faible pente des affluents rive droite, explique pourquoi la Bénoué ne charrie pas trop de sable, d'où un confluent normal avec le Mayo Kebbi, contrairement à ce qui peut être observé à l'amont et à l'aval.

#### LA BÉNOUÉ A GAROUA



Au confluent, la Bénoué apporte un module de  $280 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit 75 % du débit à Garoua ; la crue correspond à un hydrogramme dentelé de la fin de juillet au début d'octobre, auquel succède une longue courbe de tarissement. L'écoulement est permanent, quoiqu'il soit réduit parfois à quelques dizaines de litres à l'étiage ; ceci est dû aux apports du plateau de l'Adamaoua en saison sèche et à la restitution provenant du lit majeur, très large et à faible pente.

La dépression du Mayo Kebbi, outre les apports de la capture, reçoit d'abord des cours d'eau tropicaux de plaine à crue lente et à sec pendant plusieurs mois, mais, très rapidement, il reçoit surtout sur la rive gauche de véritables torrents : les mayos du Nord-Cameroun, dont les plus importants sont les mayos Binder, Oulo et Louti. Ces cours d'eau tropicaux, avec parfois une légère tendance sahélienne, ont un véritable régime d'oued. Les crues se présentent comme des séries de pointes de plusieurs centaines de  $\text{m}^3/\text{s}$ , séparées par des périodes où le débit tombe à quelques  $\text{m}^3/\text{s}$ . L'écoulement, qui a commencé en juillet, cesse en octobre et, pendant près de neuf mois, le lit reste à sec.

Comme nous l'avons vu, le lit du Mayo Kebbi comporte un certain nombre de lacs : lac de Fianga, lac de Tikem, étang Tréné, lac de Léré.

La superposition des crues des affluents donne au Mayo Kebbi un diagramme très dentelé, avec un débit de base de hautes eaux assez faible ; la capture du Logone, qui arrive en novembre à l'amont du confluent de la Bénoué, produit simplement une grosse bosse sur la courbe de tarissement. Grâce à la capture du Logone et à l'influence des lacs, l'écoulement est permanent en année moyenne.

Le régime qui en résulte à Garoua est un régime tropical pur, correspondant à un bassin de montagne. Le tableau et le diagramme montrent deux périodes très contrastées : les hautes eaux avec un maximum moyen de  $3\ 100 \text{ m}^3/\text{s}$  ; le diagramme comporte plusieurs pointes assez aiguës, de fin juillet à début octobre, et, après une courbe de tarissement à peine troublée par la capture du Logone, une longue période de basses eaux ; la valeur médiane de l'étiage est difficile à déterminer. Elle est certainement très variable ; pour des débits si faibles, le lit doit être considéré comme instable ; enfin, suivant les années, les débits ont été plus ou moins bien surveillés ; la valeur, faible, de  $400 \text{ l/s}$ , doit être simplement considérée comme un ordre de grandeur.

Il est très intéressant de comparer la Haute Bénoué à la Kaduna, dont le bassin présente la même superficie. Toutes deux ressortent du régime tropical pur, ont une forte pente ; elles sont alimentées en partie, l'une par le plateau de Jos, l'autre par celui de l'Adamaoua ; tous deux reçoivent à peu près la même hauteur de pluie annuelle, mais la région bien arrosée sur la Kaduna présente une superficie beaucoup plus grande que sur la Bénoué, d'où un module nettement plus fort sur la première et un débit d'étiage un peu supérieur ; les deux diagrammes annuels sont très comparables ; cependant, alors que la crue commence très brutalement à Garoua, fin juillet, la transition est nettement mieux marquée sur la Kaduna : par contre, les pointes de crue de Garoua sont aussi élevées que celles de la Kaduna, malgré un module nettement plus faible ; ceci tient à la disposition en éventail du réseau hydrographique de la Haute Bénoué, alors que le réseau de la Kaduna est plutôt en arête de poisson.

A l'aval de Garoua, la Bénoué va recevoir sur sa rive gauche une série d'affluents tropicaux de transition, dont l'influence aura pour principal effet d'allonger la période de hautes eaux, surtout vers les mois de juillet et juin, et d'augmenter très sérieusement le débit spécifique ; les affluents rive droite sont du régime tropical pur. C'est la disposition inverse du Niger Moyen, entre Malanville et Baro.

Le premier affluent rive gauche, le Faro, est du type tropical de transition, la majeure partie de son bassin se développant sur le plateau de l'Adamaoua ou dans les monts Allantika. Malgré un bassin presque trois fois plus petit, son module est légèrement supérieur à celui de la station de Garoua, le maximum annuel  $3\ 300 \text{ m}^3/\text{s}$  est légèrement plus élevé, le mois de juillet est un mois de hautes eaux, le mois de juin nettement un mois de transition. Ces circonstances devraient être bénéfiques pour la navigation ; malheureusement, le Faro charrie beaucoup de sable ; les transports sableux passent d'environ  $200\ 000 \text{ m}^3/\text{an}$  à Garoua à  $600\ 000 \text{ m}^3/\text{an}$  à l'aval du confluent du Faro, à Ouro-Boki. Le maximum annuel de la Bénoué est passé à  $4\ 200 \text{ m}^3/\text{s}$ , le coefficient d'irrégularité interannuelle  $K_a$  diminue de 2 à 1,9.

Sur la rive droite, après quelques mayos, la Bénoué reçoit la Gongola, torrent tropical pur dont le régime est très voisin de celui des affluents rive droite du Mayo Kebbi, mais le bassin est beaucoup plus étendu ( $21\ 500 \text{ km}^2$ ), une partie s'étend même sur le plateau de Jos, de sorte que le module est beaucoup plus élevé et les débits de crue également ; malheureusement, comme le Faro, elle débite

beaucoup de sable et elle contribue aussi très fortement à allonger le secteur difficile pour la navigation, alors que le régime favorable des affluents rive gauche tendrait à l'améliorer. Le module de la Gongola doit être légèrement supérieur à 200 m<sup>3</sup>/s, la crue annuelle est voisine de 1 200 m<sup>3</sup>/s.

Les crues sont un peu moins fortes qu'on pourrait le craindre, en raison de la très grande longueur du bassin.

La Gongola est le dernier affluent turbulent de la Bénoué. A l'aval, les gros affluents présentent des pointes moins fortes et des débits plus prolongés ; aussi, à partir de la station de Lau, sur la Bénoué, la navigation va s'améliorer très nettement.

### 5° Bénoué Inférieure

On ne trouvera plus désormais sur la rive droite que des affluents relativement peu importants ; par contre, sur la rive gauche, trois rivières très importantes viennent se jeter dans la Bénoué, à l'amont de Makurdi : ce sont la Taraba, la Donga, la Katsina Ala, avec des bassins versants respectifs de : 21 500 km<sup>2</sup>, 20 000 km<sup>2</sup> et 22 000 km<sup>2</sup>. Toutes trois prennent leur source dans le massif montagneux qui sépare le Nigeria du Cameroun et présentent un régime tropical de transition. On peut évaluer approximativement leur module respectif à : 400-500 m<sup>3</sup>/s, 500 m<sup>3</sup>/s et 700-800 m<sup>3</sup>/s ; les valeurs maximales annuelles sont de l'ordre de : 1 800 m<sup>3</sup>/s, 1 800 m<sup>3</sup>/s et 2 800 m<sup>3</sup>/s. Les hydrogrammes sont très voisins, avec une montée assez rapide au début de juin, puis un diagramme dentelé de juin au 20 octobre, avec maximum au mois d'octobre (parfois à fin septembre), et un léger fléchissement en août, de plus en plus net, de la Taraba à la Katsina Ala, trahissant une très légère influence équatoriale.

La Bénoué, qui a bénéficié de tous ces apports, apparaît transformée à la station de Makurdi.

Le module est passé à 3 150 m<sup>3</sup>/s. Sur l'hydrogramme annuel, la période des hautes eaux tropicales d'août et septembre donne encore une pointe bien nette qui se produit en septembre et octobre par suite du temps de parcours ; mais, devant cette pointe, apparaît, suivant les années, soit une pre-

#### BÉNOUÉ ET NIGER INFÉRIEUR

*Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Garoua  
Makurdi, Onitsha*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	GAROUA	MAKURDI	ONITSHA
Superficie .....	km <sup>2</sup>	64 000	305.000	1 100 000
Précipitation annuelle .....	mm	1 130	1 240	(1)
Module .....	m <sup>3</sup> /s	375	3 150	7 000
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	12 × 10 <sup>9</sup>	100 × 10 <sup>9</sup>	220 × 10 <sup>9</sup>
Débit d'étiage absolu .....	m <sup>3</sup> /s	0,40	240	1 500
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	10	400	2 600
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	390	4 800	9 000
Débit caractéristique de crue ...	m <sup>3</sup> /s	2 375	11 500	24 000
Crue annuelle .....	m <sup>3</sup> /s	3 100	12 000	25 000
Crue décennale .....	m <sup>3</sup> /s	4 500	14 500	28 000
Crue centenaire .....	m <sup>3</sup> /s	6 000		(32 000)
Volume annuel (année humide) ..	m <sup>3</sup>	16 × 10 <sup>9</sup>	120 × 10 <sup>9</sup>	275 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel (année sèche) .	m <sup>3</sup>	8 × 10 <sup>9</sup>	80 × 10 <sup>9</sup>	175 × 10 <sup>9</sup>
Déficit écoulement .....	mm	945	915 mm	(1)
K <sub>3</sub> .....		2	1,50	1,58

(1) Sans signification.

mière bosse en juin, juillet et août, soit une montée progressive pendant la même période. Ceci est dû surtout aux trois derniers affluents. La courbe de tarissement est beaucoup plus progressive qu'à Garoua, ce qui se traduit par une valeur du DC 9 importante. Cette courbe de tarissement comporte un certain nombre de petites irrégularités, légères crues d'avril et de mai des affluents rive droite. L'étiage  $240 \text{ m}^3/\text{s}$  n'est plus du tout négligeable. Malgré un module huit fois plus fort qu'à Garoua, le maximum annuel, en octobre, n'est que quatre fois plus élevé, la crue décennale trois fois seulement. En liaison avec tout ceci, le coefficient  $K_3$  est passé de 2 à 1,5. Il avait certainement peu évolué de Garoua au confluent de la Gongola. On mesure toute l'influence des trois derniers affluents.

A Lokoja, la Bénoué se jette dans le Niger (on serait un peu tenté de dire le contraire), avec un module qui est voisin de  $3\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ . Peu d'affluents importants à l'échelle de ce fleuve le rejoignent entre Makurdi et ce confluent.

### 6° Niger Inférieur

Le régime, dans le cours inférieur jusqu'au delta, correspondra donc à la superposition des régimes du Niger à Baro et de la Bénoué ; or, ces régimes sont assez voisins. Cependant, chacun des hydrogrammes annuels apporte un élément intéressant : celui de la Bénoué présente un gonflement à la crue, en juin et juillet, et son maximum est en retard de quinze jours à trois semaines sur celui de Baro : sur l'hydrogramme de Baro, la courbe de tarissement se termine par le palier légèrement ascendant de la crue noire, qui maintient un débit de  $2\,000$  à  $2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  en janvier, février et mars. Il en résulte à Onitsha un hydrogramme tropical de transition avec une pointe dissymétrique ; une montée progressive, un maximum en octobre, une décrue rapide au début.

Le tarissement conserve le palier de Baro ; il est suivi sur le diagramme d'Onitsha par un léger creux en mai, époque d'un étiage assez confortable de  $1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La seule modification du confluent de la Bénoué au delta est l'atténuation des petites pointes secondaires et, vers le delta, l'aplatissement de la pointe de septembre-octobre.

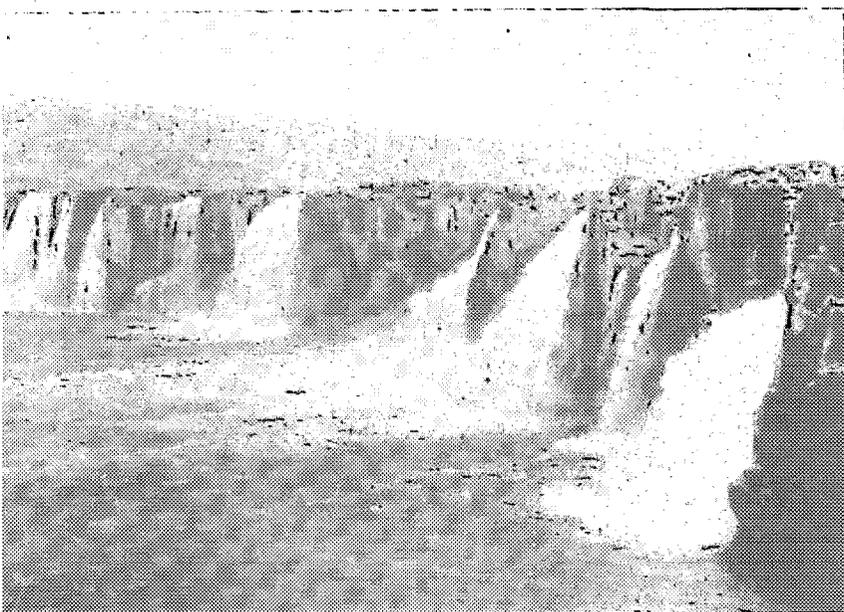
Le Niger arrive au delta avec un module de  $7\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit 220 milliards de  $\text{m}^3$  par an ; le maximum annuel est de  $25\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mais peu de chose dans le régime de ce fleuve puissant vient rappeler le Niger Supérieur, juste le palier de février, mars, avril et un étiage un peu trop abondant.

## III. LA VOLTA.

Nous avons laissé au Sud du Niger le bassin d'un fleuve important : la Volta. Ce fleuve et ses affluents prennent la direction générale Nord-Sud, après parfois de sérieuses hésitations, comme on le verra plus loin. Il résulte de cette direction générale que, comme la Bénoué, il recevra des affluents dont l'abondance spécifique sera de plus en plus grande. Mais il s'agit cette fois d'un fleuve de plaine et aucun affluent important ne prend naissance dans les régions les plus méridionales, ce qui donne lieu à un hydrogramme annuel très régulier, contrairement à celui de la Bénoué.

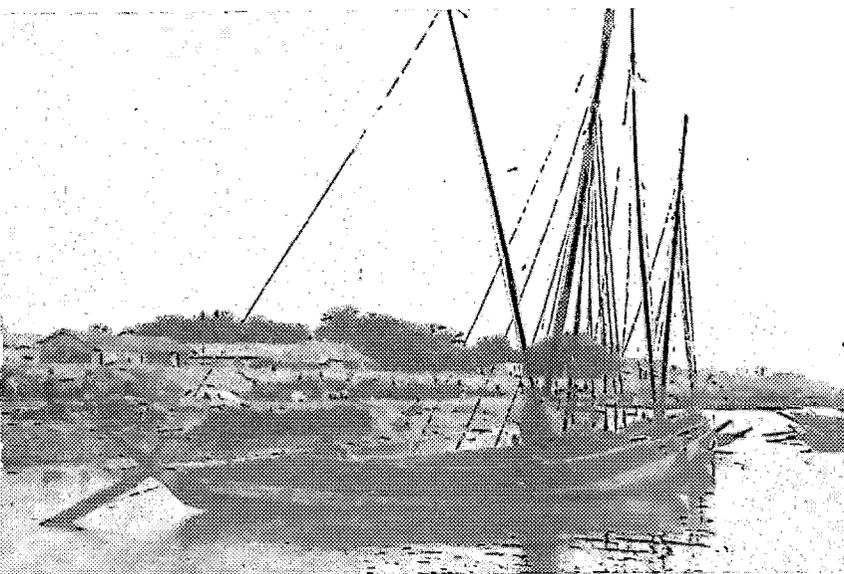
La branche principale est la Volta Noire. Malgré sa grande longueur et les dimensions de son bassin, ce cours d'eau a un débit relativement faible. La Volta Noire rencontre en effet bien des difficultés avant d'arriver au cœur du Ghana. Ses mésaventures rappellent assez celles du Niger Supérieur, en beaucoup plus petit. Elle prend naissance sur le plateau gréseux qui se termine vers le Sud-Ouest par la faïsse de Banfora. Le régime est sensiblement du type tropical pur, mais il se rapproche un peu du régime tropical de transition. La pente, très faible, donne lieu très rapidement à des plaines d'inondation ; des sources assez importantes viennent ajouter, en saison sèche, leurs débits à la maigre restitution des plaines d'inondation.

La Volta coule d'abord vers le Nord-Est, elle reçoit sur sa rive gauche quelques affluents plus ou moins sahéliens, dont les apports sont très faibles, puis elle rencontre, toujours sur la même rive, une dépression Nord-Sud, le Sourou, qui absorbe une partie importante de ses apports de hautes eaux. Cette dépression joue un peu le rôle de la dépression lacustre sur le Niger. Elle régularise encore le débit, retarde sa pointe et retient la majeure partie des transports solides, donnant une crue relativement « noire », comme le Niger Moyen. Puis, la Volta oblique vers le Sud et garde cette direction générale, avec de nombreux méandres, jusqu'au niveau de Bondoukou.



Chutes de Gouina  
en basses eaux.

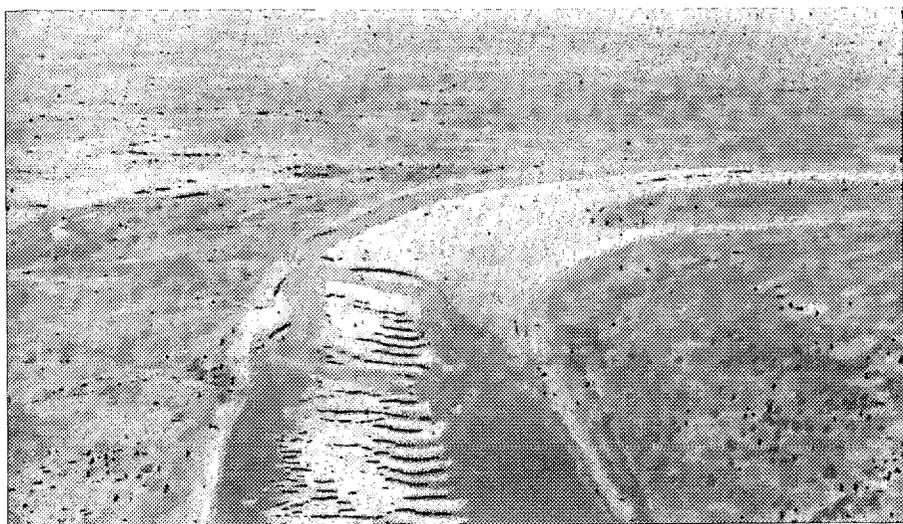
RODIER



*Le Sénégal.*

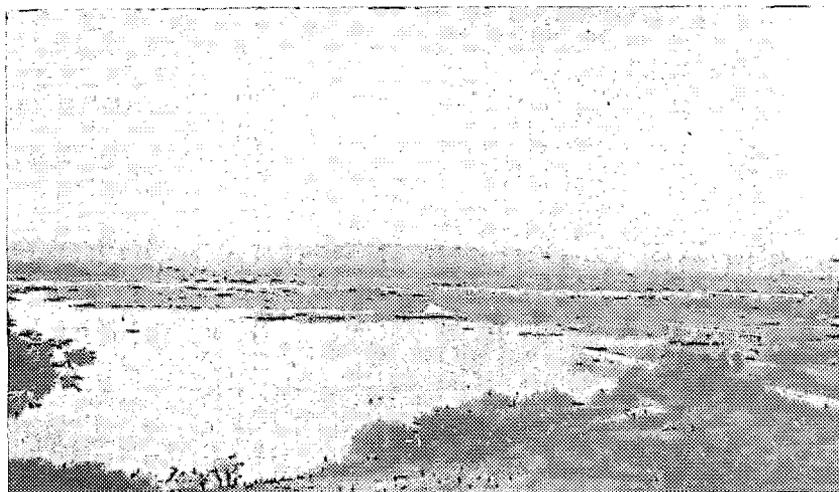
Le Sénégal à Rosso.

ROCHE



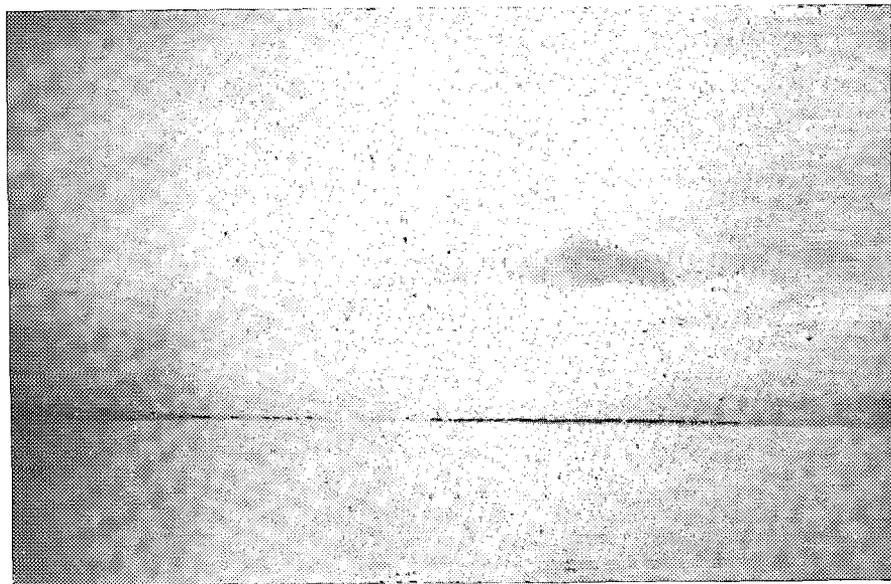
Le Sénégal à Kaédi  
(vue aérienne).

TOUCHEBEUF



RODIER

Le Niger  
au barrage des Aigrettes  
près de Bamako  
(basses eaux).



*Le Niger.*  
Coucher de soleil  
sur le lac Débo  
(zone lacustre).

ROCHE



Bords du Niger  
à Ghourma Rharous.

RODIER



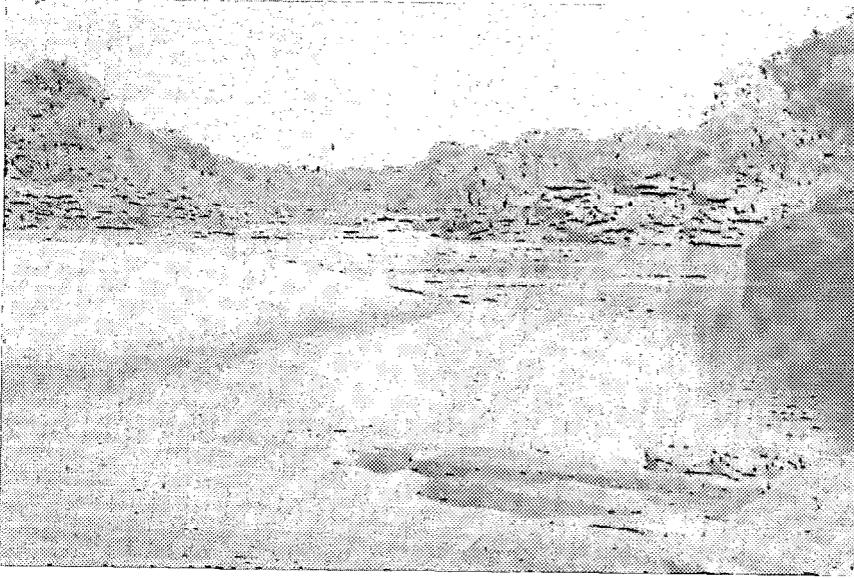
La Bénoué en aval du défilé de Lagdo (Cameroun)

RODIER, F.



La Bénoué en aval des Ouro Boki flats (Nigeria)

TOUCHEBEUF



F.D.

PELLERAY

La Sanaga en aval  
de Sakbayémé.



F.D.

PELLERAY

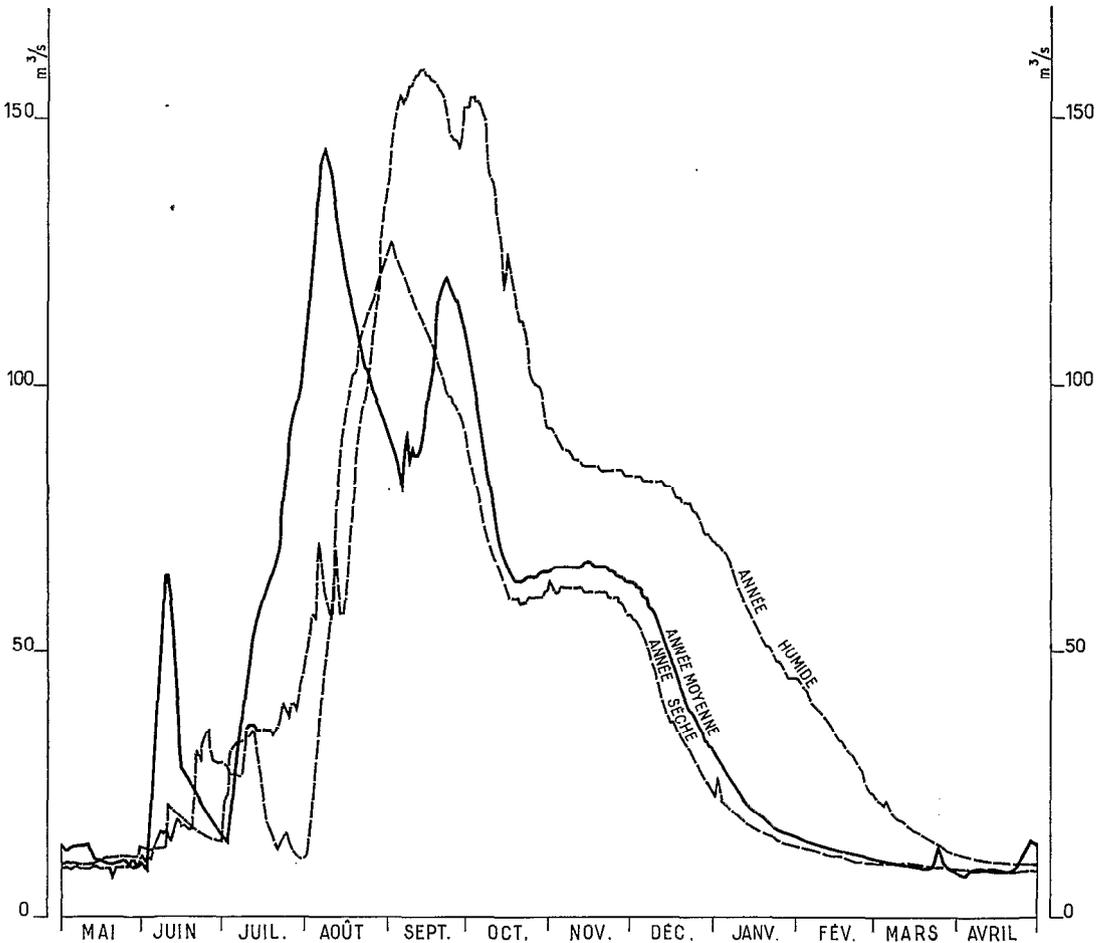
La Sanaga.  
Le couloir  
de la Sanaga en amont  
des chutes Herbert.

Les chutes de la Sanaga  
à Edéa, en 1949.

RODIER



## LA VOLTA NOIRE A BOROMO



A la station de Boromo, le régime est défini par un certain nombre de caractéristiques portées sur le tableau ci-contre. On notera :

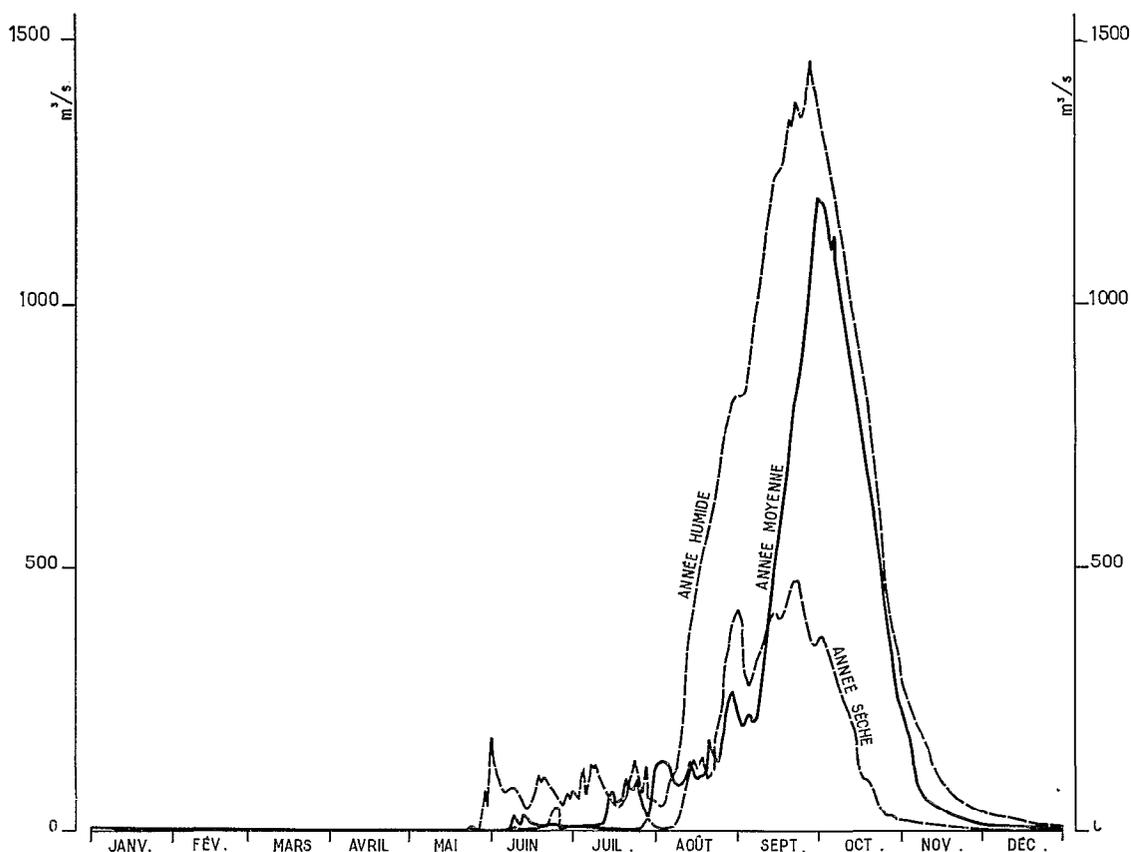
- la très faible valeur du module eu égard à la superficie du bassin versant, par suite de la faible hauteur de précipitation annuelle et des pertes dans les plaines d'inondation et le Sourou ;
- le caractère très régulier de l'hydrogramme annuel, le maximum très faible étant d'ailleurs assez tardif (2<sup>e</sup> quinzaine de septembre) ;
- la valeur assez élevée de l'étiage qui, alliée à une faible irrégularité interannuelle, résulte de la régularisation apportée par les débordements. Mais la Volta Noire, dès qu'elle arrive à la frontière du Ghana, ne représente que quelques pour cent du volume total du fleuve tel qu'il se présente au barrage d'Ajena, par exemple.

En se dirigeant vers le Sud, elle reçoit une série de petits affluents de régime tropical de transition, dont le plus important est la Bougouri-Ba. Bien que leurs bassins ne soient que médiocrement arrosés, leurs apports sont au total plus élevés que les maigres débits de Boromo. La Volta Noire présente un coude très prononcé à Bamboi, puis prend la direction Ouest-Est et reçoit la Volta Blanche.

Les bassins supérieurs de la Volta Blanche et de son affluent, la Volta Rouge, sont assez mal arrosés. Les lits sont à très faible pente et marécageux. Le régime à la sortie de la République de Haute-Volta est typiquement tropical, avec un débit nul de janvier à juillet, une courte période de crue de mi-juillet à octobre, terminée par une assez longue période de tarissement, qui s'achève plus ou moins tard suivant l'hydraulicité de la crue précédente. Les débits, encore mal connus, sont faibles. A leur entrée au Ghana, la somme des deux modules est peut-être encore inférieure à celui de Boromo. Plus au Sud, comme la Volta Noire, la Volta Blanche reçoit des affluents dont les débits spécifiques sont de plus en plus élevés;

Après le confluent de la Volta Blanche, le fleuve prend la direction générale Nord-Ouest-Sud-Est et reçoit l'Oti, affluent très important. Celui-ci prend sa source dans la région de Fada N'Gourma, reçoit en rive gauche la Pendjari, affluent plus important que lui, venue du massif de l'Atakora et qui le rejoint après un parcours assez compliqué. Les caractéristiques hydrologiques de l'Oti à Sansanné-Mango sont données sur le tableau ci-après. L'Oti, à cette station, présente un régime assez voisin du régime tropical pur ; cependant, le maximum, en fin septembre, est très tardif : ceci est dû à la très grande longueur de la Pendjari. L'hydrogramme est beaucoup plus aigu que celui de la Volta Noire.

L'OTI A SANSANNÉ-MANGO



Les débits de mai ne sont pas négligeables, ceux de juin sont déjà assez élevés, indice d'une certaine influence du régime tropical de transition.

Bien avant Sansanné-Mango et jusqu'au confluent avec la Volta, l'Oti présente de nombreux méandres au milieu de plaines d'inondation fort intéressantes pour les développements agricoles.

Comme pour les Voltas, les petits affluents sur la rive gauche et la rive droite augmentent très substantiellement son débit.

Au barrage d'Akosombo, après le confluent de l'Oti, les caractéristiques hydrologiques principales de la Volta sont les suivantes (1) :

— module annuel .....	1 180 m <sup>3</sup> /s (4 l/s.km <sup>2</sup> ),
— débit d'étiage .....	28 m <sup>3</sup> /s,
— crue annuelle .....	6 500 m <sup>3</sup> /s (22 l/s.km <sup>2</sup> ),
— crue centenaire .....	15 000 m <sup>3</sup> /s (52 l/s.km <sup>2</sup> ).

#### VOLTA

##### *Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Boromo Sansanne-Mango, Akosombo*

	UNITÉ	VOLTA NOIRE à BOROMO	OTI à SANSANNÉ-MANGO	VOLTA à AKOSOMBO
Superficie du bassin versant ...	km <sup>2</sup>	58 000	36 650	292 000
Précipitation annuelle .....	mm	915	1 000	1 200
Module .....	m <sup>3</sup> /s	48	131	1 180
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	1,5 × 10 <sup>9</sup>	4 × 10 <sup>9</sup>	37 × 10 <sup>9</sup>
Étiage .....	m <sup>3</sup> /s	8,5	0,5	28
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	(15)	1,8	
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	(80)	105	
D. C. C .....	m <sup>3</sup> /s	130	900	
Crue annuelle .....	m <sup>3</sup> /s	145	1 000	6 500
Crue décennale .....	m <sup>3</sup> /s	(200)	1 400	10 000
Crue centenaire .....	m <sup>3</sup> /s			15 000
Volume annuel (1 <sup>er</sup> décile) ...	m <sup>3</sup>	(1,9 × 10 <sup>9</sup> )	7,4 × 10 <sup>9</sup>	55 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel (dernier décile) .	m <sup>3</sup>	(1,2 × 10 <sup>9</sup> )	2,2 × 10 <sup>9</sup>	18,5 × 10 <sup>9</sup>
K <sub>3</sub> .....		1,6	3,3	3,0
Déficit écoulement .....	mm	890	890	1 040

L'examen du tableau ci-après met en évidence la faible influence des apports en amont des frontières du Ghana. Une partie très importante des apports provient de zones tropicales de transition assez mal arrosées, comme le Nord-Est de Côte d'Ivoire et le Togo, donc avec un régime pas très différent du régime dahoméen. Le maximum a lieu généralement entre le 1<sup>er</sup> et le 15 octobre. L'influence méridionale est marquée par quelques pointes de fin mai à juillet et des irrégularités en novembre. Mais la crue principale du 15 août au 15 novembre est aussi aiguë que dans le régime tropical. Le module spécifique est nettement plus faible que celui du Niger Supérieur, le débit d'étiage également. L'écart entre crue annuelle médiane et crue centenaire est beaucoup plus élevé que sur le Niger à Koulikoro, le coefficient d'irrégularité interannuelle K<sub>3</sub> également. Ces deux caractères d'irrégularité sont bien typiques du régime dahoméen, à rapprocher de celui du Mono à l'Est et du Bandama à l'Ouest.

(1) Chiffres établis à partir de données aimablement communiquées par Kaiser Engineers and Constructors et Sir William Halcrow and Partners.

Après avoir reçu quelques très petits affluents équatoriaux de transition, la Volta fait un coude brusque vers l'Est et se jette dans le golfe de Guinée, après un parcours de 1 200 km, la superficie totale du bassin versant étant de 370 000 km<sup>2</sup>.

#### IV. LA SANAGA.

Au Sud-Est du bassin du Niger, coule, du Nord vers le Sud, un autre fleuve moins connu que la Volta, mais plus abondant : la Sanaga, le grand fleuve du Cameroun.

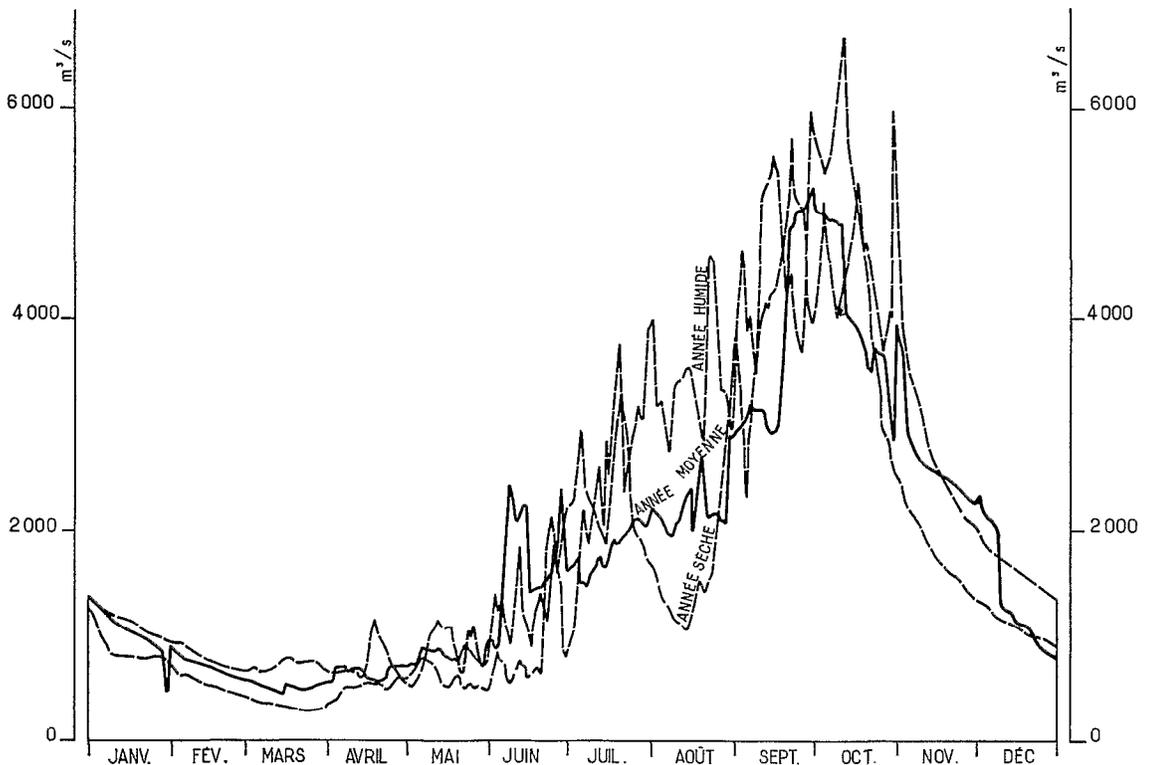
Comme la Volta, la Sanaga coule, de façon générale, du Nord vers le Sud, mais c'est un fleuve beaucoup plus abondant et, à quelques points de vue, plus régulier.

Sa situation est nettement plus méridionale ; d'autre part, une partie importante du bassin est montagneuse et souvent bien exposée aux masses d'air humide venant du golfe de Guinée.

Mis à part les régions les plus méridionales, de régime équatorial de transition, presque tout le bassin est sous le régime tropical de transition. Les caractéristiques hydrologiques sont très voisines de celles des gros affluents rive droite de la Bénoué, dont le bassin versant est tout proche.

La Sanaga est constituée par la réunion du Lom et du Djérem, qui, tous deux, viennent du plateau de l'Adamaoua, entre 1 000 et 1 200 m d'altitude ; le Djérem est d'ailleurs beaucoup plus important. Il est plus mal connu ; la station principale de Mbakaou est installée depuis trop peu de temps et les deux stations plus anciennes du Meng à Tibati et de la Vina du Sud contrôlent des bassins trop petits. La seule station pouvant donner une bonne idée du régime des bassins supérieurs du Lom et du Djérem est celle de Bétaré-Oya, sur le Lom, dont on trouvera les caractéristiques sur le tableau ci-après. Le module spécifique est très comparable à celui des cours d'eau de Haute Guinée, ce qui est en rapport avec l'importance des précipitations et l'altitude. Le débit d'étiage : 42 m<sup>3</sup>/s, est élevé.

LE LOM A BÉTARÉ-OYA



Les maximums annuels et décennaux, 560 et 700 m<sup>3</sup>/s, sont nettement moins élevés que ceux de Haute Guinée ; peut-être, ce fait est-il dû à des galeries forestières un peu plus épaisses et à la présence de terrains basaltiques plus perméables. L'irrégularité interannuelle, 1,4, est faible, caractéristique générale du bassin de la Sanaga. Il semble que, de façon générale, les modules spécifiques sur le haut bassin croissent de l'Est à l'Ouest. Ils décroissent du Nord au Sud ; l'altitude diminuant, les pertes par évapotranspiration augmentent et la hauteur de précipitation annuelle diminue, comme on le verra plus loin. Après le confluent du Djérem avec le Lom, la Sanaga suit la direction générale Nord-Est-Sud-Ouest, qu'elle conservera jusqu'à la mer. Le Djérem présente de nombreuses chutes et rapides, en particulier à la descente du plateau de l'Adamaoua. Après le confluent avec le Lom, on note un long bief calme, puis la pente s'accroît avec les chutes Nachtigal, où a été installée une station de jaugeage importante.

La Sanaga est déjà un grand cours d'eau avec un module de près de 1 200 m<sup>3</sup>/s, mais module et débit d'étiage spécifiques ont nettement baissé depuis l'Adamaoua : le module spécifique, qui était de 22 ou 23 l/s.km<sup>2</sup> sur la Vina du Sud, de 17 l/s.km<sup>2</sup> sur le Lom, n'est plus que de 15,4 l/s.km<sup>2</sup> à Nachtigal. Le débit d'étiage, qui était voisin de 4 l/s.km<sup>2</sup> sur les Hauts-Plateaux, est passé à 2,8 l/s.km<sup>2</sup>, malgré quelques petits affluents équatoriaux de transition sur la rive droite.

A l'aval de Nachtigal, la Sanaga reçoit le Mbam, son principal affluent, qui draine la région montagneuse entre Nigeria et Cameroun et le pays Bamiléké, et qui apporte 37 % du débit à Edéa. Le régime du Mbam est très voisin de celui du Lom et du Djérem, avec un module un peu plus élevé, mais un débit d'étiage plus faible. Le débit de crue est un peu plus élevé, par suite peut-être de la forte pente du Noun, affluent rive droite, mais reste du même ordre de grandeur que pour le Lom et le Djérem. A l'aval du confluent, la Sanaga traverse une zone de chutes et de rapides ; la dénivellée

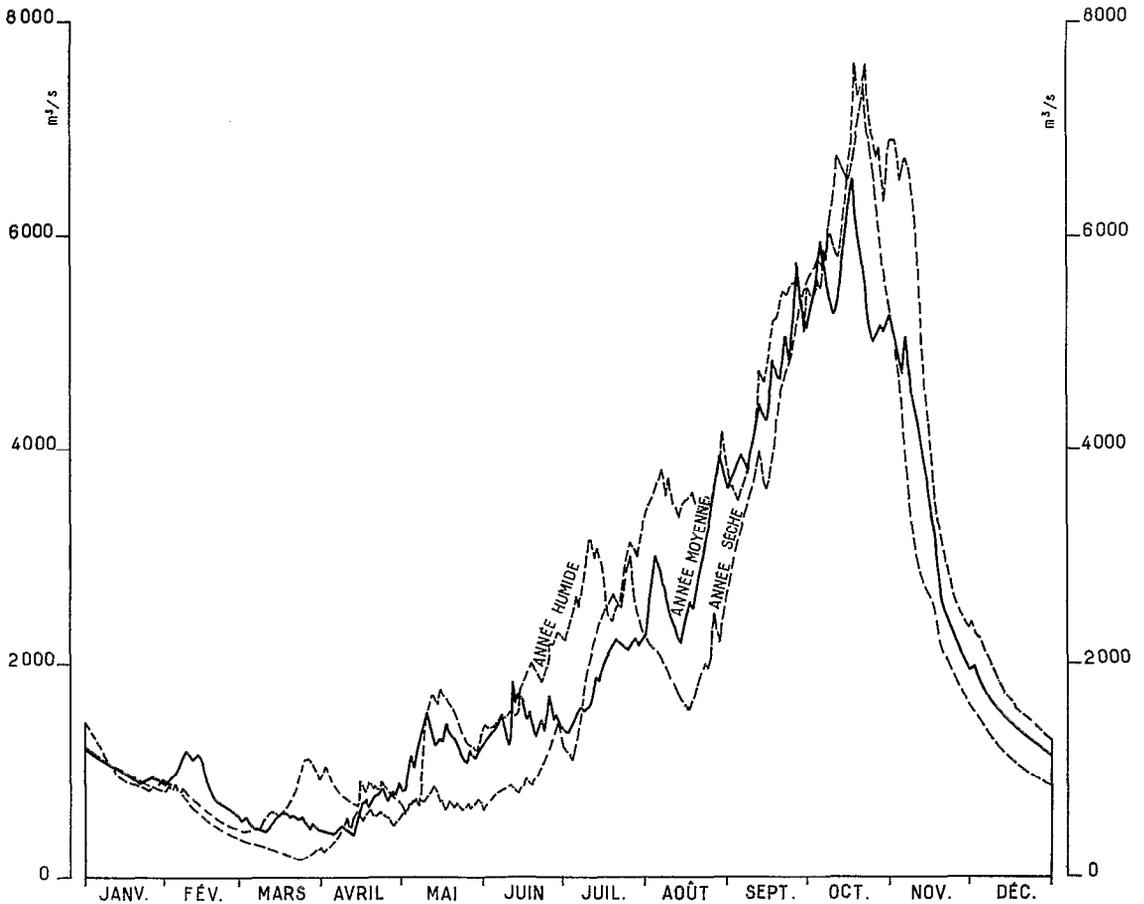
#### SANAGA

*Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Bétaré-Oya, Goura, Nachtigal, Edéa*

	Unité	LOM à BÉTARÉ-OYA	MBAM à GOURA	SANAGA à NACHTIGAL	SANAGA à EDÉA
Superficie du bassin versant .....	km <sup>2</sup>	10 680	43 000	77 200	135 000
Hauteur de précipitations annuelles	mm	1 480	1 780	1 570	1 630
Module .....	m <sup>3</sup> /s	182	780	1 190	2 158
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	5,7 × 10 <sup>9</sup>	25 × 10 <sup>9</sup>	37,5 × 10 <sup>9</sup>	68 × 10 <sup>9</sup>
Débit d'étiage ...	m <sup>3</sup> /s	42	96	216	390
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	73	220	440	830
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	238	1 170	1 680	2 960
D. C. C .....	m <sup>3</sup> /s	510	2 340	3 325	6 380
Débit maximal annuel .....	m <sup>3</sup> /s	560	2 750	3 650	6 700
Crue décennale ...	m <sup>3</sup> /s	700	3 040	4 100	7 300
Crue centenaire ...	m <sup>3</sup> /s				
Volume annuel premier décile ....	m <sup>3</sup>	7 × 10 <sup>9</sup>	28 × 10 <sup>9</sup>	43 × 10 <sup>9</sup>	77 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel dernier décile .....	m <sup>3</sup>	5 × 10 <sup>9</sup>	20,5 × 10 <sup>9</sup>	31,5 × 10 <sup>9</sup>	59 × 10 <sup>9</sup>
K <sup>3</sup> .....		1,4	1,37	1,36	1,30
Déficit d'écoulement En mm .....	mm	940	1 210	1 080	1 130

est de 350 m, sur 140 km, avec deux chutes particulièrement spectaculaires : les chutes Herbert et celles d'Edéa. Quelques petits affluents de régime équatorial rejoignent la Sanaga dans ce bief, mais leurs bassins ne sont pas assez importants pour modifier le régime de façon sensible. Après Edéa, la pente devient très faible jusqu'à la mer. Dans le cours inférieur, la Sanaga ne reçoit que des affluents insignifiants.

#### LA SANAGA A EDÉA



Le régime à Edéa est très voisin du régime à l'estuaire. Pour un bassin de 135 000 km<sup>2</sup>, le module est de 2 158 m<sup>3</sup>/s, soit 31 % de celui du Niger au delta. Le débit d'étiage médian, 390 m<sup>3</sup>/s, est élevé, mais, en année très sèche, il peut descendre jusqu'à peut-être 150 m<sup>3</sup>/s. Les crues sont relativement modérées : la crue décennale correspond à moins de 110 % de la crue annuelle médiane. Ce résultat est à rapprocher de la faible irrégularité interannuelle,  $K_3 = 1,3$ . Ceci résulte des faibles variations de la hauteur de précipitation annuelle, sans qu'il possible de faire une étude très précise sur ce point, la durée des observations pluviométriques ne dépassant guère celle des observations limniométriques.

En définitive, avec un écoulement annuel de 68 milliards de m<sup>3</sup>, la Sanaga fait figure de grand fleuve africain.

## V. LE CHARI.

Au Nord-Est de la Sanaga, un grand bassin, celui du Chari, vient compléter, entre Niger et Nil, la série des cours d'eau de régime tropical pur. Mais, ce qui distingue le Chari de son affluent principal, le Logone, c'est que :

- 1° les branches-mères parviennent très tôt dans la cuvette tchadienne, très plate ;
- 2° le Chari, comme faisait autrefois le Niger, se jette dans une dépression intérieure, le lac Tchad. La capture qui lui permettrait, comme au Niger, de rejoindre le golfe de Guinée, a été à peine amorcée en bordure du lit majeur du Logone, et, contrairement au seuil de Tossaye, sur le Niger, elle n'a pas l'intention, pour le moment du moins, de s'accroître.

L'alimentation du Chari est très hétérogène : les têtes du Chari et de ses affluents se répartissent sur la bordure externe d'un immense éventail s'étendant entre 5°20' et 14°40' de latitude Nord. Le bassin, dont la superficie est voisine de 600 000 km<sup>2</sup>, couvre le tiers méridional de la République du Tchad et déborde largement sur le Cameroun, la République Centrafricaine et même le Soudan. Il est inutile de chercher à en préciser la superficie, la dégradation hydrographique est fréquente au Nord du bassin et les limites sont souvent difficiles à déterminer. On peut discuter indéfiniment, par exemple, pour décider si l'El-Beid est une branche du delta du Chari ou un tributaire du lac Tchad communiquant avec le Logone, si le Ba-Tha de Lairi est un effluent du Chari ou fait partie du bassin du lac Fitri, bien qu'il communique avec le Chari.

Les régimes des branches-mères et des affluents sont du type tropical de transition, tropical pur et même sahélien. Cette alimentation serait comparable à celle du Sénégal, mais, heureusement pour le Chari, les affluents tropicaux de transition sont beaucoup plus importants.

Le bassin du Chari étant assez déroutant pour les géographes, il n'y a pas lieu de s'étonner si la désignation des fleuves en cours d'eau principaux et affluents ne suit pas toujours les règles de la logique.

Le Chari est constitué théoriquement par la réunion de deux cours d'eau à tendances guinéennes : le Gribingui et le Bamingui, dont le régime rappelle beaucoup celui des affluents rive droite de l'Oubangui, avec une période de hautes eaux prolongée, des étiages assez abondants, des débits de crues pas très élevés et un régime assez régulier.

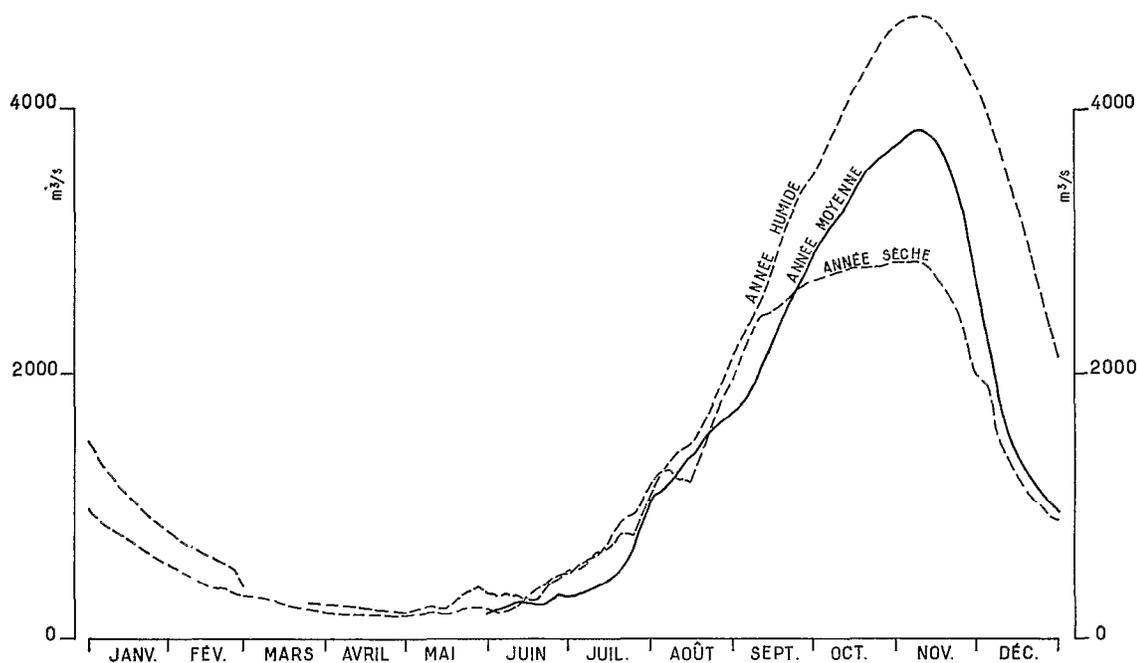
Le Chari, après le confluent des deux cours d'eau, avec un bassin de 45 000 km<sup>2</sup>, doit avoir un module de l'ordre de 160 m<sup>3</sup>/s ; c'est un cours d'eau tropical de transition. Il reçoit, sur sa rive droite, le Bangoran, dont le régime ne diffère pas beaucoup de celui des deux cours d'eau précédents.

Puis, il reçoit sur sa rive droite un affluent très important, que l'on considère parfois comme une branche-mère du Chari : l'Aouk, dont la direction générale est Est-Ouest et dont le régime est très différent de celui des trois cours d'eau qui précèdent. Il prend naissance dans le Dar Fougoro, à la limite de la zone sahélienne, et entre très rapidement dans la cuvette tchadienne, qu'il ne quitte plus jusqu'au Chari ; il traverse tout le long de son cours d'immenses plaines d'inondation qui, d'ailleurs, communiquent plus ou moins mal avec celles du Bahr-Keita, plus au Nord, lesquelles sont en liaison avec celles du Bahr-Salamat. A mi-chemin du Chari, il reçoit sur sa rive gauche le Bahr-Kamer, dont le débit doit être plus important que le sien. Bahr-Kamer et Aouk reçoivent sur leur rive gauche toute une série d'affluents, dont le plus important est la Ouandjia, qui viennent de la région montagneuse, entre bassins du Chari et de l'Oubangui, avec des sommets à 1 400 m. Ces affluents et sous-affluents de régime tropical pur fournissent à l'Aouk la majeure partie de son volume annuel, mais ils entrent dans la grande plaine d'inondation bien avant d'avoir atteint le cours d'eau principal.

Il en résulte, à la station de Golongosso, peu avant le confluent du Chari, un hydrogramme annuel qui rappelle un peu celui de la Volta à Boromo. Les plaines d'inondation ont étalé la crue tropicale, réduit le débit maximal à une valeur insignifiante, de l'ordre de 250 m<sup>3</sup>/s (2 l/s.km<sup>2</sup>), et reporté une légère partie des apports de saison des pluies vers l'étiage, de sorte que l'écoulement est permanent. En année moyenne, il ne descend guère en-dessous de 15 m<sup>3</sup>/s. Mais les pertes sont énormes, le module est de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>/s (0,8 l/s.km<sup>2</sup>) ; les apports de l'Aouk ne constituent que le tiers du volume annuel à Fort-Archambault, malgré un bassin versant de 125 000 km<sup>2</sup>. Le Chari prend alors la direction du Nord-Ouest et passe à Fort-Archambault, première station principale. L'hydrogramme

annuel de cette station est assez régulier, avec un étiage notable de 45 m<sup>3</sup>/s, une pointe de hautes eaux assez large à la base, mais qui s'amenuise rapidement pour présenter un maximum tardif en fin octobre, comme les cours d'eau du bassin de l'Oubangui. Rapportés aux 193 000 km<sup>2</sup> du bassin, les débits caractéristiques sont faibles, mais on ne doit pas oublier que les apports de l'Aouk sont faibles et que la majeure partie de ces chiffres doit être rapportée aux 65 000 km<sup>2</sup> de Bamingui, Gribingui et du Bangoran ; on trouve alors des caractéristiques voisines de celles des cours d'eau tropicaux de transition voisins, mais les modules sont deux fois plus faibles et les crues beaucoup plus amorties. Ceci tient à la situation plus continentale de cette partie du bassin et aux caractéristiques particulières des crues des bassins voisins de l'Oubangui. Les étiages sont assez voisins de ceux du Logone, grâce à la brièveté de la période des basses eaux sur Gribingui et Bamingui, et à la faible restitution des plaines d'inondations. Celles-ci effacent les petits points des branches mères méridionales, et l'hydrogramme très mou de l'Aouk vient envelopper le tout. Avec près de 10 000 000 000 de m<sup>3</sup>, le Chari à Fort-Archambault roule un volume correspondant au 1/4 du volume total. Le coefficient d'irrégularité interannuel assez élevé :  $K_3 = 1,9$ , correspondant à l'irrégularité des apports des affluents tropicaux purs, nous verrons que les branches tropicales de transition ont un régime beaucoup plus régulier.

#### LE CHARI A FORT-LAMY



A l'aval de Fort-Archambault, le Chari reçoit son principal affluent, le Bahr Sara, beaucoup plus important que lui. Le Bahr Sara est un cours d'eau tropical de transition qui prend naissance par sa branche principale, l'Ouham, sur le revers oriental de l'Adamaoua, dans une zone bien arrosée, vers 1 100 m d'altitude ; il coule d'abord vers l'Est et, après avoir décrit un très long arc de cercle, se dirige vers le Nord. Il reçoit sur la rive gauche son principal affluent, la Nana Barya, et passe à la station principale de Moïssala. Avec un module annuel de 500 m<sup>3</sup>/s pour 67 500 km<sup>2</sup>, il est presque aussi abondant que le Logone. Le maximum est en septembre, succédant à une montée en dents de scie assez tardive par suite de l'éirement du bassin, la décrue est également perturbée par de petites crues tardives.

Le palier de basses eaux est rejoint très tard, en février ou mars, et ce palier est perturbé souvent par quelques petites pointes ; ces dernières caractéristiques sont à rapprocher de celles des affluents de l'Oubangui. Le débit de crue est plus faible de 35 % que celui du Logone, malgré un bassin un

peu plus grand et un module voisin. Ceci tient à l'étirement du bassin et aussi aux faibles débits de crues des affluents voisins du bassin de l'Oubangui. Le coefficient d'irrégularité interannuel  $K_3$  est de l'ordre de 1,80, nettement plus faible qu'à Fort-Archambault. Avec un volume annuel qui approche 16 000 000 000 de  $m^3$ , le Bahr Sara est de loin la branche mère la plus importante du Chari.

Coulant toujours vers le Nord-Est, le Chari reçoit, peu après le Bahr Sara, un affluent beaucoup moins abondant mais aussi intéressant, le Bahr Salamat. Ce cours d'eau sahélien prend naissance au Soudan dans le Djébel Mara, sous le nom de Bahr Azoum. Grâce à l'altitude élevée et à la forte pente, le Bahr Azoum et ses affluents échappent à la dégradation totale qui affecte par exemple les cours d'eau du massif voisin du Ouaddaï. A l'origine, ce sont de véritables « oued » aux lits sableux, à sec pendant les trois quarts de l'année. La crue annuelle arrive en quelques heures dans le courant de juillet, se prolonge de juillet à septembre avec plusieurs pointes et des périodes intermédiaires de très basses eaux. La crue parvient aussi jusqu'à Am Timan passablement régularisée. La moitié du débit est déjà perdue par quelques effluents rive gauche avant d'arriver à cette station. Le volume annuel est encore de  $1,4 \cdot 10^9 m^3$ , le débit de crue variant de 225 à 350  $m^3/s$ . La crue commence vers le 25 juillet, présente un palier ondulé et, après une décrue de 30 à 40 jours, se termine vers le 15 novembre.

A l'aval d'Am Timan, le Bahr Azoum se perd dans un delta intérieur, il est régénéré sous le nom de Bahr Salamat par une série de cours d'eau sahéliens venant des environs d'Aboudeïa.

L'hydrogramme du Bahr Salamat est beaucoup plus mou que celui d'Am Timan, il rappelle un peu celui du Bahr Aouk, mais les débits sont plus faibles et il s'assèche en basses eaux. Cependant, il est à peu près certain qu'à certains moments de la saison des pluies, il y a une ligne d'eau continue depuis le Bahr Azoum Supérieur jusqu'au Chari, mais les apports du Bahr Azoum au Chari, impossibles à calculer d'ailleurs, doivent être négligeables.

A l'aval du Bahr Salamat, le Chari présente des plaines d'inondation importantes sur la rive droite et quelques effluents dont le plus important est le Bahr Erguig qui rejoint plus tard le Chari, non sans pertes. A la station de Bouso, le diagramme annuel présente une pointe beaucoup plus émoussée qu'à Fort-Archambault, le volume annuel est voisin de 28 milliards de  $m^3$ , ce qui indique que les pertes sont assez minimes entre Fort-Archambault et Bouso. La crue annuelle est en moyenne de 2 600  $m^3/s$ . Puis, le cours du Chari se redresse vers le Nord et, quelques kilomètres avant Fort-Lamy, il reçoit, sur sa rive gauche, le Logone.

Celui-ci est issu du rebord Nord-Est de l'Adamaoua. Il est constitué par la réunion de la Vina du Nord et de la Mbéré. A Moundou, le Logone est un cours d'eau tropical de transition type. Les modules sont nettement moins élevés que sur le rebord méridional de l'Adamaoua, mais les crues annuelles sont plus fortes, peut-être par suite de la forte pente ; les débits d'étiage sont quatre fois plus faibles, le bassin est beaucoup plus septentrional que celui du Lom, mais le coefficient d'irrégularité annuel reste assez faible :  $K_3 = 1,53$ .

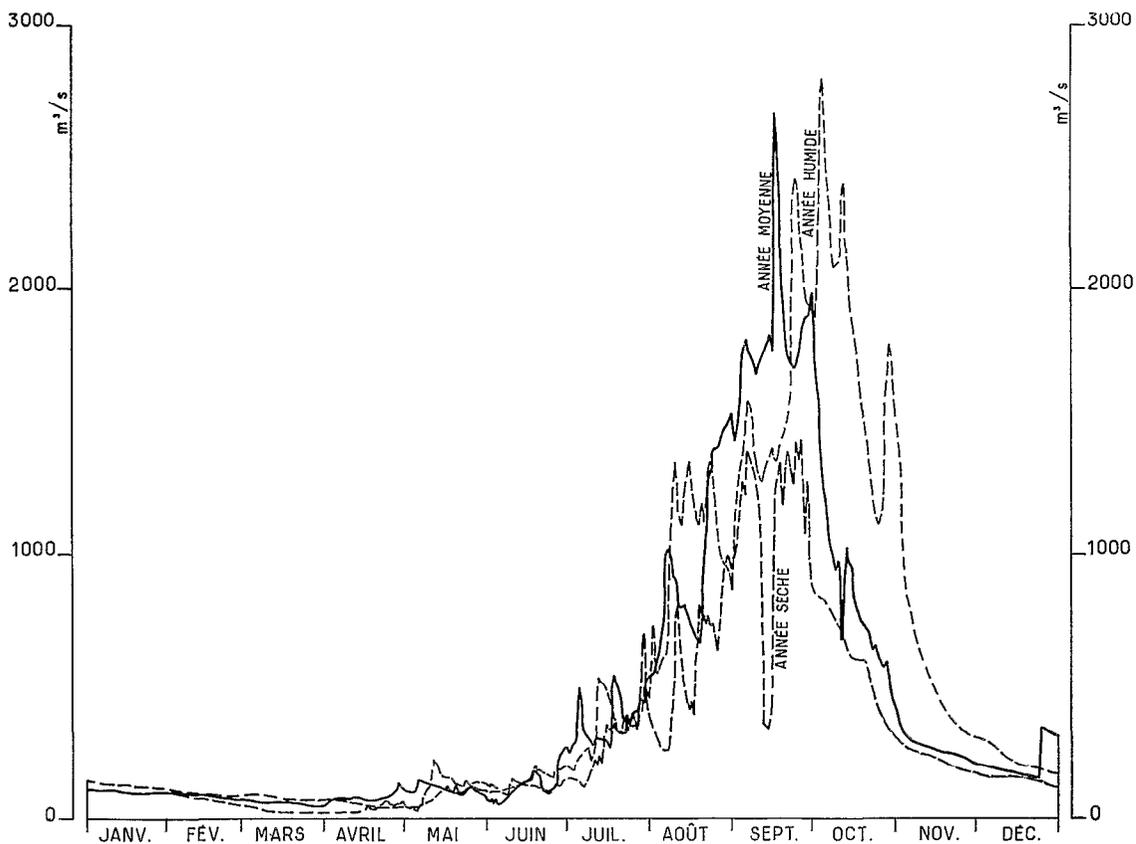
A l'aval de Moundou, le Logone reçoit sur la rive droite la Pende (ou Logone Oriental), nettement moins abondante que lui. A Laï, le volume annuel est de 17 milliards de  $m^3$ , la crue annuelle est de 2 500  $m^3/s$ , très supérieure à celles du Bahr Sara et du Chari à Fort-Archambault. Ces fortes crues résultent de la pente des cours supérieurs qui présentent tous des rapides et des chutes dont les plus belles sont les chutes Lancrenon sur un affluent de la Mbéré, le Ngou. La décrue se termine en janvier et est suivie par un palier assez long. Les premières crues commencent en mai et juin à Moundou. Le maximum se produit dans la seconde quinzaine de septembre. Le coefficient  $K_3$  à Laï est égal à 1,62, il a légèrement augmenté depuis Moundou par suite de l'influence de la Pendé.

Après Laï, le Logone subit des pertes importantes dans les plaines d'inondation et par ses effluents dont les plus importants sont le Ba Illi et les effluents de la capture par la Bénoué. Le Ba Illi se sépare du Logone à l'aval de Laï, serpente entre Chari et Logone et rejoint, bien diminué, les marais entre Chari et Logone à l'aval de Bongor.

Après Bongor, le Logone entre dans le Grand Yaéré, la largeur de la plaine d'inondation dépasse 70 km, une partie de ces plaines alimente l'El Beid qui rejoint directement le lac Tchad. Par contre, elles reçoivent les apports des petits torrents ou mayos du Nord-Cameroun dont le mayo Tsanaga. Le

Logone traverse ces marais par un lit assez bien marqué et il rejoint le Chari avec 12,5 milliards de m<sup>3</sup>, en ayant perdu en route près de 5. L'hydrogramme a été très régularisé, la crue annuelle n'est plus que de 905 m<sup>3</sup>/s, elle varie très peu d'une année à l'autre, encore moins que le Niger à Diré. La crue décennale n'est que de 932 m<sup>3</sup>/s. Le coefficient d'irrégularité interannuelle K<sub>3</sub> n'est plus que de 1,21. Le débit d'étiage a très légèrement augmenté depuis Lai, la restitution des plaines d'inondation est faible à l'étiage, comme très souvent en Afrique.

#### LE LOGONE A MOUNDOU



Les caractéristiques à Fort-Lamy ne sont plus très éloignées de celles à l'entrée dans le lac. Les variations de débits sont très progressives ; la crue commence en juin et arrive près du maximum en octobre, elle présente de légères irrégularités dues surtout au Bahr Sara. La partie supérieure de l'hydrogramme annuel est très arrondie avec le maximum voisin de 4 000 m<sup>3</sup>/s, dans la première quinzaine de novembre.

Le débit de crue est en corrélation assez étroite avec le volume annuel, compte tenu de la forme très régulière de l'hydrogramme. La crue décennale s'écarte peu de la valeur annuelle, ceci tient aux crues régulières du Haut Chari, du Salamat, de l'Aouk, et surtout du Logone Inférieur.

Le coefficient d'irrégularité interannuelle  $K^3 = 1,35$  est d'ailleurs très faible.

La décrue est très régulière et le débit d'étiage 180 m<sup>3</sup>/s est relativement élevé.

Comparé au Niger Supérieur, dont le module n'est pas beaucoup plus élevé, le Chari, à tous les points de vue, est beaucoup plus régulier : crues plus faibles : 3 570 m<sup>3</sup>/s pour 38,5 milliards de m<sup>3</sup> au lieu de 6 220 pour 49 milliards de m<sup>3</sup> ; débits d'étiage beaucoup plus élevés : 180 m<sup>3</sup>/s au lieu de 32 ; irrégularité interannuelle nettement plus faible : K<sub>3</sub> = 1,35 au lieu de 1,89. Ceci est dû surtout au laminage dans les nombreuses plaines d'inondation.

#### LOGONE ET CHARI

*Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Moundou, Laï, Logone-Birni, Fort-Archambault, Fort-Lamy*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	LOGONE à MOUNDOU 1935-1959	LOGONE à LAÏ 1948-1960	LOGONE à LOGONE-BIRNI 1950-1960	CHARI à FORT- ARCHAMBAULT	CHARI à FORT- LAMY
Superficie du bassin versant .....	km <sup>2</sup>	34 900	60 320	76 000	193 000	600 000
Hauteur de précipitations annuelles	mm	1 460	1 420	1 330	1 070	(1)
Module .....	m <sup>3</sup> /s	413	551	401	305	1 225
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	13 × 10 <sup>9</sup>	17 × 10 <sup>9</sup>	12,5 × 10 <sup>9</sup>	9,5 × 10 <sup>9</sup>	38,5 × 10 <sup>9</sup>
Débit d'étiage ....	m <sup>3</sup> /s	28	50	55	45	180
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	70	80	110	65	280
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	520	800	720	502	2 200
D. C. C .....	m <sup>3</sup> /s	1 700	2 120	905	1 100	3 540
Débit maximal annuel .....	m <sup>3</sup> /s	2 265	2 470	910	1 120	3 570
Crue décennale ...	m <sup>3</sup> /s	3 400	3 700	932	1 800	4 600
Crue centenaire ...						
Volume annuel premier décile ....	m <sup>3</sup>	14,5 × 10 <sup>9</sup>	21 × 10 <sup>9</sup>	13,3 × 10 <sup>9</sup>	13,7 × 10 <sup>9</sup>	47 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel dernier décile .....	m <sup>3</sup>	9,5 × 10 <sup>9</sup>	13 × 10 <sup>9</sup>	11 × 10 <sup>9</sup>	7 × 10 <sup>9</sup>	35 × 10 <sup>9</sup>
K <sup>3</sup> .....		1,53	1,62	1,21	1,9	1,35
Déficit d'écoulement	mm	1 090	1 130	1 160	1 020	(1)

(1) Sans signification.

## VI. L'OUBANGUI.

Au Sud-Est du bassin du Chari, on rencontre le bassin de l'Oubangui dont le régime fait la transition avec les régimes équatoriaux. Dans la présente étude, on considérera le bassin limité à Bangui

L'Oubangui est formé par la réunion du Mbomou et de l'Ouellé qui, tous deux, prennent naissance vers la ligne de partage des eaux entre Nil et Congo, à assez faible altitude.

Le Mbomou coule de l'Est à l'Ouest dès son origine, son premier gros affluent sur la rive droite est la Ouarra, puis il reçoit le Chinko qui vient des collines séparant au Nord-Est la République Centrafricaine du Soudan.

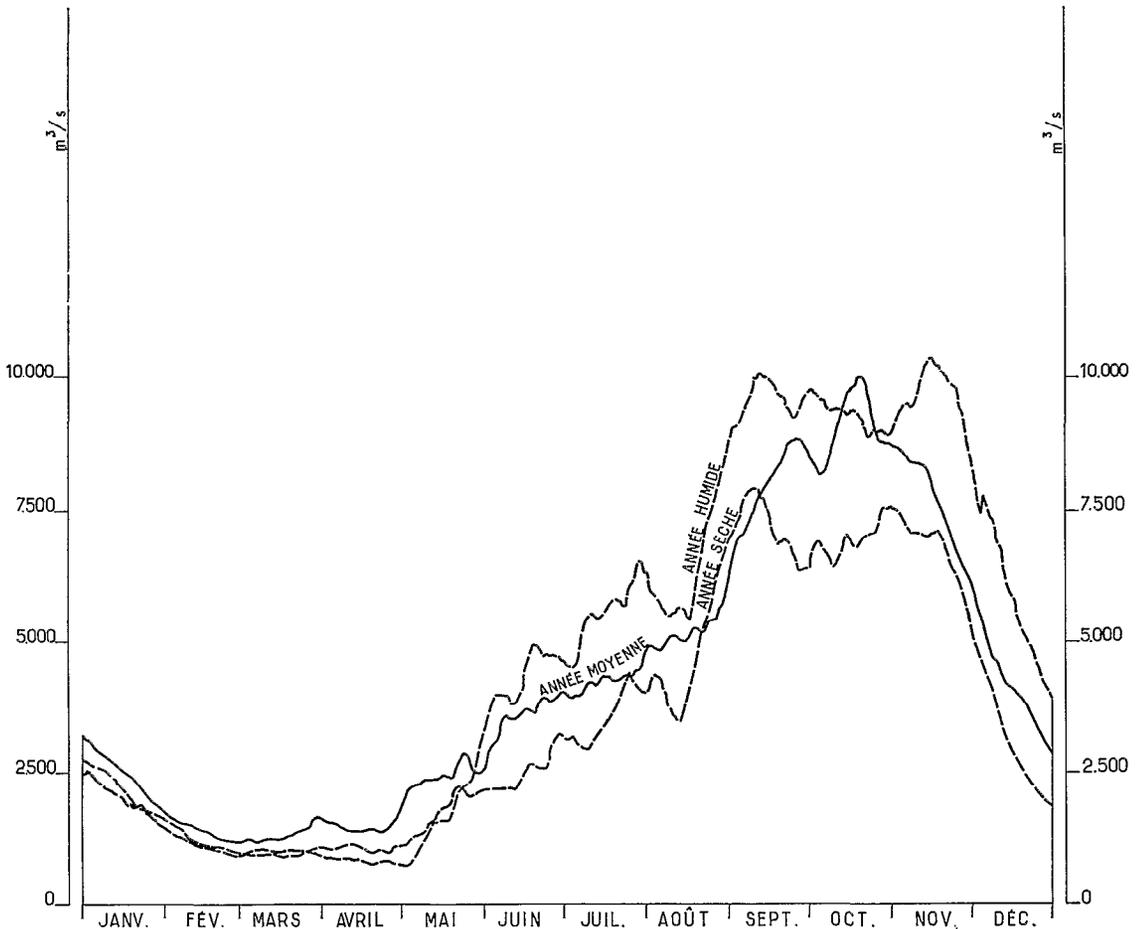
Il passe alors à la station de jaugeages de Bangassou, dont le régime est du type tropical de transition assez classique, avec un étiage assez soutenu : 50 m<sup>3</sup>/s, un peu comparable à ceux du Haut Logone, mais inférieur aux étiages guinéens et encore plus aux étiages de la Haute Sanaga. A partir de mai, commence la montée en dents de scie qui se termine par une période maximale de deux mois présentant quelques grandes pointes avec maximum en septembre ou octobre. Le maximum est peu

élevé pour 116 000 km<sup>2</sup> : 2 700 m<sup>3</sup>/s correspondant donc à 23 l/s.km<sup>2</sup>. Ces faibles valeurs des crues annuelles sont assez typiques de l'Oubangui. Ceci résulte probablement de la faible pente des cours d'eau et du freinage des galeries forestières. Il est encore prématuré de déterminer le débit de crue décennale à Bangassou.

Après avoir reçu un petit affluent sur la rive droite, la Mbari, et sur la rive gauche un autre, le Biu, il se jette dans l'Ouellé, nous disons se jette car l'Ouellé est plus important que le Mbomou. Bien que la station de Yakoma dans la République du Congo n'ait pas été étalonnée, on peut estimer que le débit moyen annuel de l'Ouellé au confluent est voisin de 1 500 m<sup>3</sup>/s, alors que le Mbomou, grossi de la Mbari et du Biu, doit avoir un module de 1 250 m<sup>3</sup>/s à 1 300 m<sup>3</sup>/s. Le débit d'étiage de l'Ouellé doit être trois fois supérieur à celui du Mbomou. Le régime de l'Ouellé présente des tendances nettement équatoriales, le diagramme annuel de son grand affluent rive gauche et aussi le plus méridional, le Bomokandi, est nettement équatorial de transition.

A Yakoma, la crue est très longue, elle commence en mars et se termine en octobre avec des montées en dents de scie très comparables à celles des grands affluents rive gauche de la Bénoué. On n'observe pas, sur ce cours d'eau, la période finale de deux ou trois mois avec quelques pointes de même importance comme sur le Mbomou et surtout sur les cours d'eau guinéens. L'Ouellé améliore très nettement le régime de l'Oubangui.

#### L'OUBANGUI A BANGUI



A l'aval du confluent Ouellé-Mbomou, l'Oubangui reçoit sur sa rive droite la Kotto, dont l'extrême Nord du bassin est en zone tropicale pure. Le module spécifique est nettement moins élevé que celui du Mbomou et surtout de l'Ouellé, en raison d'une position plus septentrionale et par suite de précipitations moins abondantes ; cependant l'étiage est nettement plus élevé que celui du Mbomou à Bangassou. Le débit maximal annuel : 1 100 m<sup>3</sup>/s, est très faible pour 75 200 km<sup>2</sup> (14,7 l/s.km<sup>2</sup>). L'irrégularité interannuelle est assez faible : K<sub>3</sub> = 1,68.

L'Oubangui conservant la direction Est-Ouest reçoit, toujours sur sa rive droite, la Ouaka, puis toute une série de petits affluents qui représentent tous la variante méridionale du régime tropical de transition avec des périodes de basses eaux très courtes, perturbées par des petites crues et une très longue saison de hautes eaux de mai à novembre. Il amorce un virage vers le Sud-Ouest et arrive à Bangui. C'est alors un grand cours d'eau avec un bassin de 500 000 km<sup>2</sup> et un module annuel de 4 282 m<sup>3</sup>/s. L'étiage de 910 m<sup>3</sup>/s n'est pas très abondant pour un bassin aussi méridional, ceci tient au caractère continental du climat. Les basses eaux durent à peine deux mois grâce à l'Ouellé et aux derniers petits affluents. L'allure de la crue est intermédiaire entre celle du Mbomou et de l'Ouellé, mais malgré l'importance du bassin versant, le diagramme est beaucoup moins régulier que celui du Chari à Fort-Lamy. Le maximum se produit vers le 20 octobre en général, la valeur médiane interannuelle, calculée sur 31 ans, est de 10 250 m<sup>3</sup>, sensiblement 20 l/s.km<sup>2</sup>. Le débit augmente très lentement lorsque la fréquence croît, la crue décennale est de 12 000 m<sup>3</sup>/s, la crue centenaire de 14 500 m<sup>3</sup>/s. Ceci résulte de l'allongement du bassin, de la faible pente, de l'effet de freinage des galeries forestières et du caractère assez régulier de ce régime tropical de transition très voisin du régime équatorial. Le coefficient d'irrégularité interannuelle K<sub>3</sub> = 1,4 est remarquablement faible.

#### OUBANGUI

##### *Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Bangassou Yakoma, Kembé, Bangui, au confluent*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	LE MBOMOU à BANGASSOU	L'OUELLÉ à YAKOMA	LA KOTTO à KEMBÉ	L'OUBANGUI à BANGUI	LE MBOMOU AU CONFLUENT
Superficie du bassin versant .....	km <sup>2</sup>	116 000	150 000	75 200	500 000	
Hauteur de précipitations annuelles	mm	1 500		1 400	1 560	
Module .....	m <sup>3</sup> /s	825	(1 500)	394	4 282	1 250 à 1 300
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>	26 × 10 <sup>9</sup>	47 × 10 <sup>9</sup>	12,5 × 10 <sup>9</sup>	128 × 10 <sup>9</sup>	140
Etiage .....	m <sup>3</sup> /s	50	(400)	100	910	
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s	180		175	1 550	
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s	1 300		640	6 800	
D. C. C .....	m <sup>3</sup> /s			1 050	9 850	
Crue annuelle ....	m <sup>3</sup> /s	2 700		1 100	10 250	
Crue décennale ...	m <sup>3</sup> /s			(1 600)	12 000	
Volume annuel premier décile ....	m <sup>3</sup>			(16 × 10 <sup>9</sup> )	153 × 10 <sup>9</sup>	
Volume annuel dernier décile .....	m <sup>3</sup>			9,5 × 10 <sup>9</sup>	109 × 10 <sup>9</sup>	
K <sub>3</sub> .....				1,68	1,40	
Déficit d'écoulement	mm	1 280		1 230	1 290	

## C) RÉGIMES ÉQUATORIAUX

Ils sont essentiellement caractérisés par deux étiages et deux périodes de hautes eaux (1).

Les régimes équatoriaux ne présentent pas une unité aussi marquée que les régimes tropicaux. Ceci tient peut-être à la complexité des phénomènes météorologiques intervenant dans l'écoulement et également au fait suivant : contrairement aux régimes tropicaux qui, dans la zone de l'Afrique faisant l'objet de la présente étude, s'observent sur un grand ensemble continental, soumis par son côté Nord à des conditions homogènes, les bassins à régimes équatoriaux, épars sur une vaste ceinture, voient leurs climats influencés par des contextes géographiques qui varient souvent d'un bassin à l'autre.

Le centre de la Côte d'Ivoire, par exemple, au voisinage d'une région particulièrement sèche, aura un régime très différent de celui de la côte Sud du Cameroun dont l'exposition est particulièrement favorable, ou l'extrême Nord du Moyen-Congo, loin à l'intérieur, mais sur une immense forêt primaire inondée. Et pourtant, ces régimes doivent être rangés dans la même classe.

Par ailleurs, il est inexact de prétendre que les régimes au Sud de l'Equateur sont les mêmes que ceux au Nord, avec simplement un décalage de six mois. Le Moyen-Congo, si les terrains étaient imperméables, présenterait des étiages beaucoup plus longs que le Sud de la Côte d'Ivoire. Il suffit de comparer les régimes de la Bia et de la Foulakary.

D'une façon générale, d'ailleurs, il semble que l'Afrique australe soit plus aride, toutes choses restant égales par ailleurs, que l'Afrique occidentale, tout au moins si on se limite au 12° parallèle. Il y aurait là une étude intéressante à faire et les observations effectuées, tant en Rhodésie et en Afrique du Sud qu'au Congo (Léopoldville), devraient permettre de la faire, mais ce n'est pas l'objet de la présente publication.

Enfin, un seul cours d'eau équatorial, l'Ogooué, a fait l'objet d'observations sur une longue période, de sorte que nous manquons de données sur les crues de fréquence rare.

On peut diviser, suivant la latitude, les régimes équatoriaux en trois catégories :

- 1° Régime équatorial de transition boréal.
- 2° Régime équatorial pur.
- 3° Régime équatorial de transition austral.

### I. REGIME EQUATORIAL DE TRANSITION BOREAL.

Il est caractérisé par le schéma suivant de variations saisonnières :

- une grande saison sèche pendant l'hiver boréal,
- une première saison de hautes eaux,
- une petite saison sèche,
- une seconde saison de hautes eaux.

#### a) *Extension*

Il couvre :

- la Côte d'Ivoire au Sud de Bouaké ;
- le Sud du Ghana ;
- la côte du Dahomey ;
- l'extrême Sud du Nigeria ;

---

(1) Dans des cas très particuliers, la petite saison sèche peut pratiquement disparaître, on observe alors, une période de hautes eaux très longues.

- le Sud du Cameroun entre le parallèle de Yaoundé et une ligne Est-Ouest courant un peu au Nord de la frontière du Gabon ;
- l'extrême Sud de l'Oubangui ;
- le Nord du Moyen-Congo.

Il intéresse les petits fleuves côtiers de la Côte d'Ivoire et du Ghana, le Nyong, les affluents Ouest de la Sanga, les affluents de l'Oubangui au Sud de la Mpoko.

### b) Module

Il est fonction de la pluviométrie, elle-même très variable : 1 300 à 3 500 mm et même 5 à 6 000 mm en certains points. En terrain imperméable, en Côte d'Ivoire, au centre du Cameroun (Nyong) et dans l'Oubangui, il varie entre 7 et 11 l/s.km<sup>2</sup> pour des hauteurs de précipitations annuelles comprises entre 1 400 et 1 600 mm.

Il peut être beaucoup plus faible en terrain perméable ou si la hauteur de précipitation est inférieure à 1 400 mm. En Côte d'Ivoire, dans la Boucle du Cacao, perméable, nous avons relevé 2,5 l/s.km<sup>2</sup> ; sur l'Agnéby, assez mal arrosé, on trouve 2 l/s.km<sup>2</sup>. Pour de petits bassins à la fois peu arrosés et en terrain perméable, il peut arriver que, certaines années, il n'y ait pas d'écoulement, comme en 1958, ainsi que cela a été vu au Dahomey.

Par contre, le module augmente très nettement quand la hauteur de précipitations annuelle est égale ou supérieure à 1 800 mm. En descendant vers le Sud, au Moyen-Congo et surtout au Cameroun, il peut dépasser 20 l/s.km<sup>2</sup> dans la zone côtière. Dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire, il varie entre 16 et 20 l/s.km<sup>2</sup> (Cavally).

### c) Variations saisonnières

1° Comme nous l'avons vu plus haut, la grande saison sèche se produit en hiver. Elle présente un caractère différent suivant les situation et nature du sol :

EN CÔTE D'IVOIRE, l'étiage sévère et assez long dure de décembre à février-mars (2 à 3 mois). En terrain imperméable, les débits caractéristiques d'étiage varient de 0,02 à 0,3 l/s.km<sup>2</sup>. On note quelques petites crues pendant cette période. Dans les régions mieux arrosées, voisines de la côte, à l'Est ou à l'Ouest d'Abidjan, les débits spécifiques sont nettement plus élevés.

Au contraire, dans les terrains perméables du centre Est de la Côte d'Ivoire, il n'y a pas écoulement sur les petits bassins de novembre à juin.

On sent, dans ces régions, la proximité des zones à régime dahoméen que nous avons étudiées dans le chapitre précédent.

AU CAMEROUN, mieux arrosé, les débits d'étiage sont plus abondants : 2 à 4 l/s.km<sup>2</sup> à l'étiage. Les basses eaux durent également de 2 à 3 mois, 2 mois seulement dans le Sud.

EN OUBANGUI ET AU MOYEN-CONGO, les terrains très perméables *en surface* donnent lieu à une forte rétention, d'où des étiages élevés qui peuvent atteindre et dépasser 8 l/s.km<sup>2</sup>.

2° *Première période de hautes eaux* : Elle correspond, en Côte d'Ivoire, à la plus importante des deux saisons des pluies, mais le déficit de saturation, dû à la saison sèche principale, absorbe une grande partie des précipitations. C'est ainsi que, sur le bassin expérimental de l'Ifou par exemple, bassin perméable, seules les dernières pluies de cette saison, en juillet, donnent lieu à écoulement. Il en résulte que, assez souvent dans cet Etat, le maximum des débits ne se produit pas au cours de cette saison des pluies.

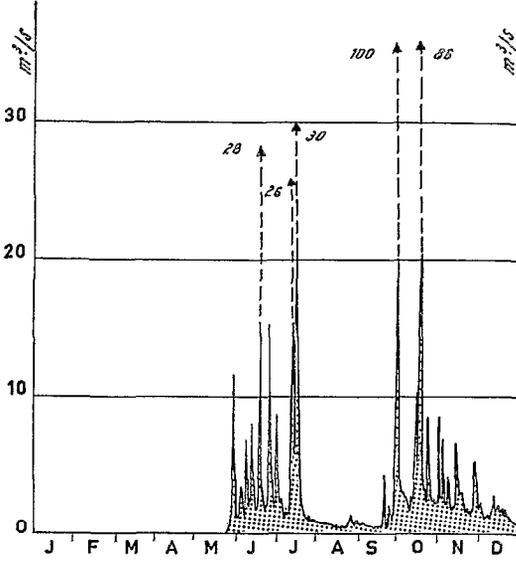
Cette période de hautes eaux est nette en terrain imperméable et à pente notable : sur certaines rivières du Cameroun et de Côte d'Ivoire, on observe une série de pointes.

Sur les rivières lentes ou à sol perméable, bassin du Nyong, Moyen-Congo et Oubangui, la courbe annuelle ne présente qu'un très long palier.

LE MANSO A GUÉSSIGUÉ

104 Km<sup>2</sup>  
(COTE D'IVOIRE)

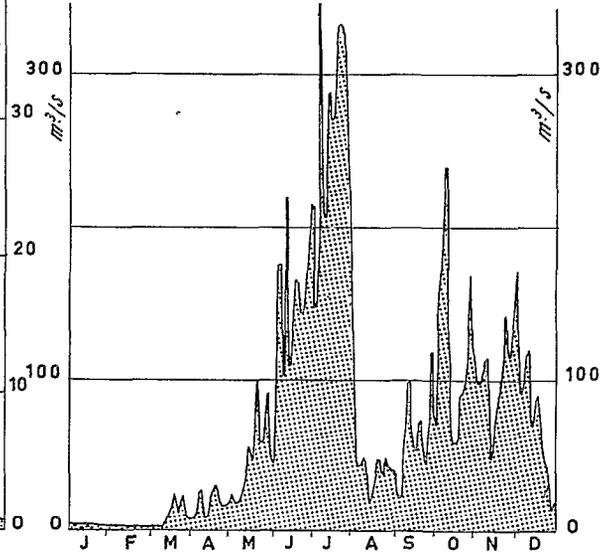
Débits en 1959



LA BIA A AYAMÉ

9320 Km<sup>2</sup>  
(COTE D'IVOIRE)

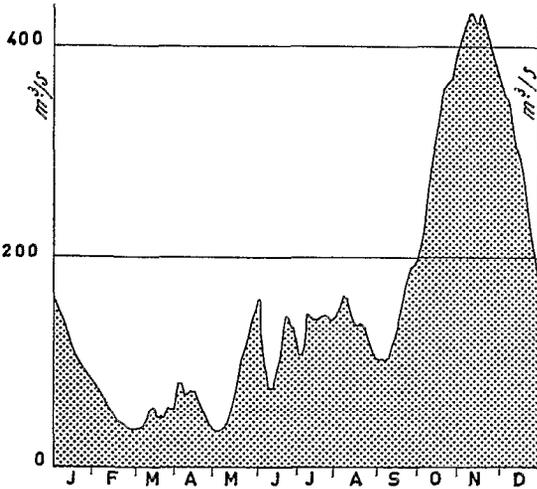
Débits en 1957



LE NYONG A MBALMAYO

14 300 Km<sup>2</sup>  
(CAMEROUN)

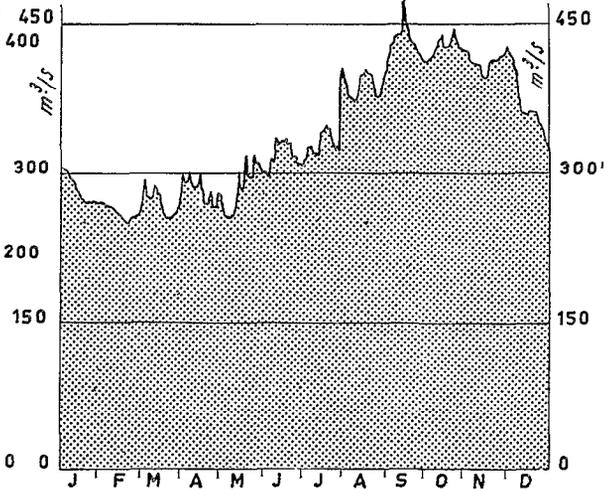
Débits en 1957



LA LOBAYE A MBATA

30 000 Km<sup>2</sup>  
(RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE)

Débits en 1957



Le maximum se produit en mai-juin ou en juin-juillet, suivant la longueur du cours d'eau ou la perméabilité du bassin.

Les débits maximaux sur des bassins de plus de 1 000 km<sup>2</sup> varient, en général, de 20 à 45 l/s.km<sup>2</sup>, mais ils peuvent atteindre 50 l/s.km<sup>2</sup> au Nord du Gabon ou, au contraire, rester de l'ordre de 15 l/s.km<sup>2</sup> pour des cours d'eau lents ou à bassin perméable.

3° *Un minimum secondaire se produit en août-septembre* : Il est pratiquement insensible dans les terrains perméables du Sud-Oubangui. Ailleurs, il dure de 1 à 2 mois. Les débits sont toujours supérieurs à ceux de la grande saison sèche, surtout en Côte d'Ivoire (1,3 à 3 l/s.km<sup>2</sup>). Ils atteignent 5 l/s.km<sup>2</sup> sur la côte du Cameroun. Il semble qu'ils soient un peu plus faibles vers l'intérieur (3 à 4 l/s.km<sup>2</sup>).

4° *La seconde période de hautes eaux* commence à fin septembre ou début octobre, elle dure généralement peu : 2 mois à 2 mois 1/2. Sauf pour le Sud de la Côte d'Ivoire et probablement le Sud du Ghana, c'est la crue principale.

Les débits spécifiques de crues sur les moyens et grands bassins versants varient suivant les dimensions des bassins versants, leur situation et la nature du sol.

Ils sont relativement forts en Côte d'Ivoire, en zone imperméable : 40 à 60 l/s.km<sup>2</sup>, mais ils peuvent descendre à 25 sur les bassins peu arrosés tels que l'Agnéby.

Ils sont plus faibles au centre du Cameroun et dans l'Oubangui : 15 à 25 l/s.km<sup>2</sup>.

Ils sont forts sur la côte Sud du Cameroun.

Sur les bassins assez petits, les débits de crues sont plus élevés naturellement :

— par exemple, on trouve 4 l/s.km<sup>2</sup> sur la Lokoundjé (1 170 km<sup>2</sup>).

*Tous ces débits sont faibles* par rapport aux débits de crues des régimes tropicaux. Dans l'ensemble, les régimes équatoriaux semblent moins brutaux que ceux observés plus au Nord. Ce phénomène est encore accentué pour des cours d'eau à faible pente (Nyong, Sanga, Lobaye) et des terrains souvent perméables. Il semble que la cause première soit à rechercher dans l'épaisse couverture végétale de la forêt. La répartition des pluies en deux saisons conduit aussi, à hauteur pluviométrique annuelle égale, à une saturation plus difficile et, par suite, cet effet s'ajoute à celui de la végétation.

On le voit bien sur les bassins forestiers de Côte d'Ivoire qui donnent les résultats suivants pour la superficie standard de 1 000 km<sup>2</sup> :

- Nion : pente très forte, sol légèrement perméable, forêt dégradée, 800 l/s.km<sup>2</sup>.
- Loué : pente très forte, sol légèrement perméable, 1 000 à 1 200 l/s.km<sup>2</sup>.
- Gboa : pente un peu moins forte, même sol, forêt dégradée, 1 000 à 1 200 l/s.km<sup>2</sup>.
- Bafo : pente assez forte, sol hydromorphe devenant imperméable, 900 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sitou : pente assez forte, sol hydromorphe devenant imperméable, 900 l/s.km<sup>2</sup>.
- Ifou : pente faible, sol perméable, 200 à 300 l/s.km<sup>2</sup>.
- Agbéby : pente faible, sol très perméable, 150 à 300 l/s.km<sup>2</sup>.

On voit que l'influence de la perméabilité du sol est très importante, peut-être plus que celle de la pente.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus sur les bassins forestiers du régime équatorial de transition austral ; on doit pouvoir les appliquer aux régions forestières du Cameroun.

En savane, les débits sont un peu plus élevés, ils varient peut-être entre 200 l/s.km<sup>2</sup> et 1 500 l/s.km<sup>2</sup> en Côte d'Ivoire, donc entre des limites peu différentes de celles des régions forestières ; mais notons que cette savane comporte une certaine proportion d'arbres et qu'aucun bassin de savane étudié ne présente de pentes comparables à celles du Loué ou du Gboa.

#### d) *Crues exceptionnelles*

Nos connaissances atteignent bien péniblement la crue décennale.

Sur des bassins de dimensions moyennes (5 000 à 10 000 km<sup>2</sup>), nous donnons, à titre indicatif, les chiffres suivants pour la crue décennale :

- Côte d'Ivoire, sol imperméable . . . . . 50 à 100 l/s.km<sup>2</sup>,
- Centre Cameroun (Nyong), faible pente . . 25 à 35 l/s.km<sup>2</sup>,
- Oubangui . . . . . 20 à 30 l/s.km<sup>2</sup>.

Sur un assez petit bassin, tel celui de la Lokoundjé (1 170 km<sup>2</sup>), observé depuis plus de dix ans, la crue décennale serait comprise entre 130 et 160 l/s.km<sup>2</sup> bien que les précipitations annuelles soient fortes.

Pour les très petits bassins, 10 à 50 km<sup>2</sup>, l'effort important de ces dernières années en Côte d'Ivoire a permis une première vue d'ensemble des crues décennales en régions forestières.

On a spécialement recherché les cas les plus favorables au ruissellement pour l'implantation de certains bassins expérimentaux. En rapportant des résultats à la surface standard de 25 km<sup>2</sup>, on trouve les données suivantes :

- Loué : pente très forte, sol légèrement perméable, 2 000 à 2 500 l/s.km<sup>2</sup>.
- Nion : pente très forte, même sol (moins que le Loué), 1 200 à 1 800 l/s.km<sup>2</sup>.
- Bafo : pente assez forte, sol hydromorphe devenant imperméable, 2 000 l/s.km<sup>2</sup>.
- Sitou : pente assez forte, sol hydromorphe devenant imperméable, 1 800 l/s.km<sup>2</sup>.
- Ifou : pente faible, sol perméable, 400 à 600 l/s.km<sup>2</sup>.
- Agbéby : pente faible, sol très perméable, 300 à 400 l/s.km<sup>2</sup>.

La pente du Bafo n'est absolument pas comparable à celle du Loué, on voit l'influence très grande de la perméabilité du sol. Il n'a pas été possible de trouver jusqu'ici des bassins à sol imperméable et à très forte pente, et ceci pour une raison très simple : les pentes extrêmement fortes comprennent des parois rocheuses, au voisinage desquelles on trouvera des arènes perméables.

Par comparaison avec les données des régimes tropicaux et tropicaux de transition, on voit l'influence modératrice de la forêt qui, toutes choses étant égales par ailleurs, divise par 2 ou 3 les débits de crues décennales, alors que les averses décennales sont un peu plus fortes. Un autre facteur intervient, comme nous l'avons vu, dans le régime dahoméen : la saturation du sol. Sur certains bassins, l'état de saturation est au moins aussi important que la hauteur de précipitation de 24 heures.

On manque de données sur les savanes équatoriales de l'hémisphère Nord. Elles doivent présenter des caractéristiques de ruissellement très voisines de celles des savanes tropicales de transition, qui en sont toutes proches. Il semble que la crue décennale atteindrait entre 1 000 et 3 000 l/s.km<sup>2</sup>. Aucun bassin expérimental n'a été exploité jusqu'ici dans la forêt du Cameroun.

Tous ces résultats sont valables pour l'intérieur. La côte est l'objet de précipitations décennales plus fortes, souvent supérieures à 200 mm/24 heures. Il est possible que les crues décennales offrent des débits spécifiques différents.

#### e) *Irrégularité interannuelle*

Elle n'a pu être déterminée avec de sérieuses garanties d'exactitude que pour quelques stations. Elle varie beaucoup suivant que la hauteur de précipitation annuelle est très supérieure ou non au déficit d'écoulement.

En Côte d'Ivoire, l'irrégularité semble la plus forte : on trouve  $K_3 = 2$  pour la Bia, par exemple ; ce chiffre semble un minimum pour la région. Dans le cas de faible hydraulité, et toujours pour des bassins de 3 à 4 000 km<sup>2</sup> au moins,  $K_3$  peut dépasser 4 ou 5 (1) ; on trouve 8 pour l'Agnéby.

(1) Sur les très petits bassins de la Boucle du Cacao en Côte d'Ivoire, où l'écoulement est très faible,  $K_3$  dépasse largement 2. On a même trouvé des bassins sans aucun écoulement en année exceptionnelle.

Signalons les très faibles débits observés au cours de l'année 1958 qui, pour ces régions équatoriales, présente un caractère exceptionnel, presque aussi marqué que l'année 1913 dans les régions tropicales de transition.

Les modules suivants ont été observés :

- Sur l'Agnéby ..... 2,3 m<sup>3</sup>/s (0,5 l/s.km<sup>2</sup>),
- Sur la Bia ..... 42,1 m<sup>3</sup>/s (4,5 l/s.km<sup>2</sup>).

Au Cameroun et en Oubangui, où les hauteurs de précipitations annuelles sont plus fortes, K<sub>3</sub> semble compris entre 1,4 et 1,7 ; en Oubangui, la perméabilité du sol concourt à diminuer l'irrégularité interannuelle.

#### f) *Déficit d'écoulement, coefficient d'écoulement*

Ils sont assez difficiles à déterminer avec précision, le nombre de pluviomètres est généralement insuffisant.

Après être passé par un maximum dans le régime tropical de transition, le déficit d'écoulement commence à décroître en descendant vers le Sud.

Si la hauteur de précipitations annuelles est suffisante, le déficit d'écoulement est très proche de l'évapotranspiration potentielle qui décroît du Nord au Sud.

En fait, il suit donc, à la fois, l'influence de la latitude et de la pluviométrie : il varie, en général, de 1 120 mm à 1 280 mm. Le minimum (Lokoundjé) correspond, à la fois, à une basse latitude et à plus de 1 800 mm par an.

Bien entendu, si le bassin reçoit moins de 1 400 mm par an, le déficit d'écoulement peut descendre au-dessous de 1 100 mm.

Le coefficient d'écoulement varie suivant la hauteur de précipitations et la pente moyenne du profil en long. Il est souvent beaucoup plus faible qu'on ne pourrait le croire à première vue :

- 15 à 20 % en Côte-d'Ivoire dans les régions suffisamment arrosées, au centre du Cameroun et en Oubangui ;
- 30 à 40 % sur les bassins côtiers du Sud du Cameroun particulièrement bien arrosés ;
- il peut descendre très en dessous si la hauteur de précipitations annuelles tombe en dessous de 1 400-1 300 mm. On trouve, par exemple, 6 % sur l'Agnéby.

Les pertes dues à la végétation et l'étalement des précipitations sur deux saisons des pluies sont responsables de ces faibles coefficients.

## II. REGIME EQUATORIAL PUR.

Il est caractérisé par deux saisons sèches équivalentes et deux saisons de hautes eaux sensiblement de même importance.

#### a) *Extension*

Elle est faible. Ce régime est observé sur une bande étroite qui s'étend de part et d'autre de la frontière du Gabon et du Cameroun et sur le tiers Sud de la grande forêt inondée du Moyen-Congo. Les cours d'eau intéressés sont :

- la Lobé et le Ntem au Cameroun ;
- les affluents rive droite de l'Ogooué ;
- la Likouala-Mossaka et le Dja, affluent rive droite de la Sanga.

#### b) *Module*

Il décroît de la côte, où il atteint par endroits 60 l/s.km<sup>2</sup>, vers l'intérieur, où il est généralement voisin de 20 l/s.km<sup>2</sup> ; il peut descendre jusqu'à 14 l/s.km<sup>2</sup> (Ntem).

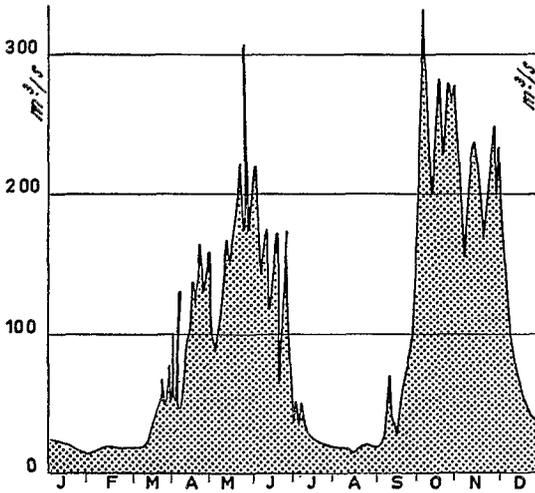
RÉGIME ÉQUATORIAL PUR

LA LOBÉ AU BAC DE KRIBI

1940 Km<sup>2</sup>

(CAMEROUN)

Débits en 1954

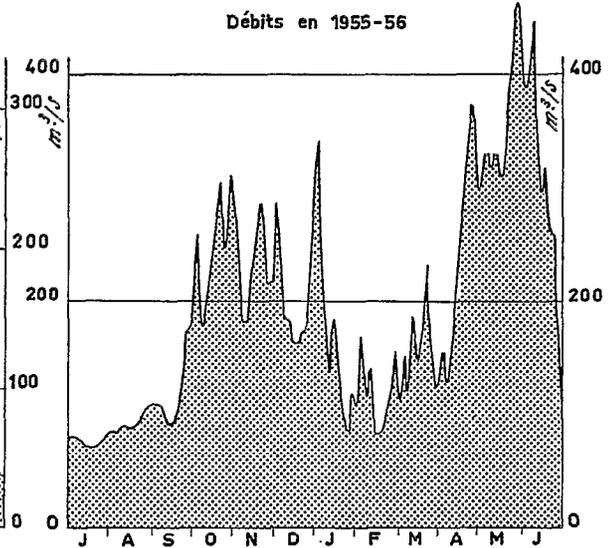


LA LIKOUALA MOSSAKA A ÉTOUMBI

9000 Km<sup>2</sup>

(CONGO)

Débits en 1955-56

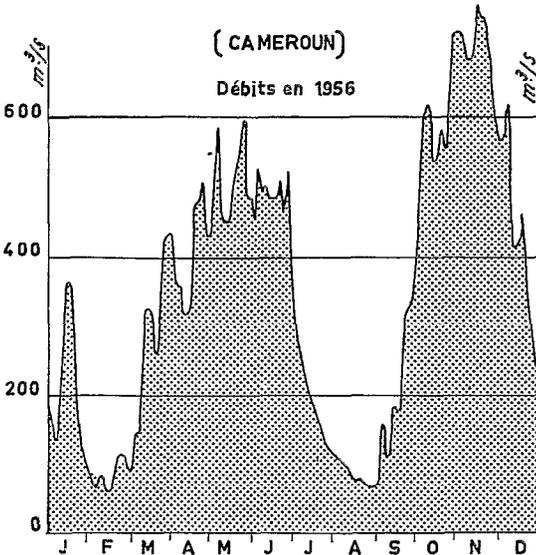


LE NTEM AU BAC DE NGOAZIK

18 060 Km<sup>2</sup>

(CAMEROUN)

Débits en 1956

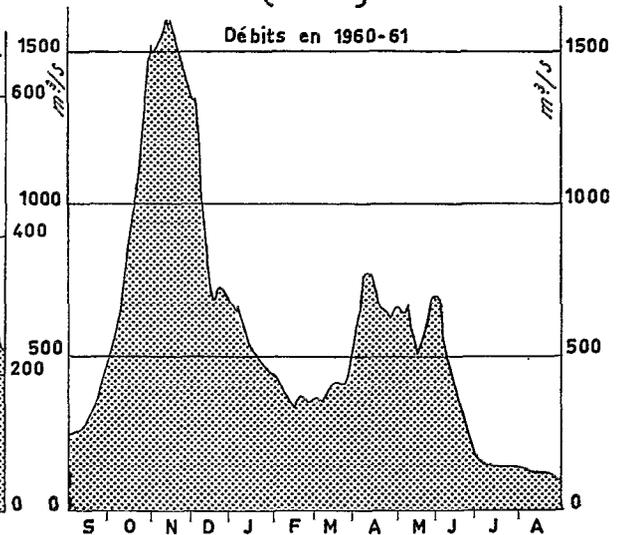


L'IVINDO A MAKOKOU

35 800 Km<sup>2</sup>

(GABON)

Débits en 1960-61



RÉGIME ÉQUATORIAL

Modules annuels spécifiques

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	MODULES m <sup>3</sup> /s	MODULES SPÉCIF. l/s. km <sup>2</sup>
<i>Equatorial boréal</i>				
Agnéby à Agboville .....	4 600	1 375	8,8	1,9
Bia à Ayamé .....	9 320	1 475	76	8,1
Nyong à Mbalamayo .....	14 300	1 460	126	8,8
Lokoundjé à Lolodorf .....	1 177	1 860	26,1	22
<i>Equatorial pur</i>				
Lobé au Bac de Kribi .....	1 940	2 700	105	54
Ntem au Bac de Ngoazik ....	18 060	1 770	262	14,5
Likouala-Mossaka à Etoumbi .	9 000	1 600	181	20
<i>Equatorial austral</i>				
Ogooué à Lambaréné .....	203 500	1 800	4 666	23
Ogooué à Franceville .....	9 000	1 900	220	24,5
Nkéni à Gamboma .....	6 250	1 850	200	32
Nyanga au Pont Rte du Gabon	5 600	1 800	200	35,7
Kouilou à Sounda .....	56 000	1 510	1 008	18
Bouenza à Moukoulou .....	5 800	1 720	105	18
Niari au Bac de la Safel ...	8 360	1 550	160	19,2
Djoué à Kibossi .....	5 450	1 630	125	23
Foulakary à Kimpanzou .....	2 815	1 460	55	19,5

c) Variations saisonnières

Ce sont les mêmes que celles du centre du Cameroun que nous venons de voir, mais la première saison de hautes eaux est bien marquée et, en moyenne, de la même importance que la seconde.

Les deux périodes de basses eaux présentent sensiblement la même durée et les mêmes débits. Leur importance relative varie un peu, cependant, d'une année à l'autre.

Les étiages sont élevés en général : ils sont particulièrement forts dans le cas de régions particulièrement arrosées ; sur la côte, par exemple, la Lobé présente un étiage spécifique voisin de 5 l/s.km<sup>2</sup> ; ou, si le bassin comporte des terrains particulièrement perméables, comme sur la Likouala-Mossaka (7,2 l/s.km<sup>2</sup>). A l'intérieur, si le terrain est perméable et la hauteur de précipitations inférieure à 1 800 mm/an, l'étiage est voisin de 2 l/s.km<sup>2</sup>.

Les crues sont assez fortes sur la côte. Pour d'assez petits bassins (1 000 à 2 000 km<sup>2</sup>), les maximums annuels varient de 100 à 250 l/s.km<sup>2</sup>, mais ils doivent être nettement plus faibles vers l'intérieur. Sur de grands et moyens bassins versants, on trouve entre 35 et 50 l/s.km<sup>2</sup> à l'intérieur (Ntem, Ogooué). Ces chiffres sont très voisins de ceux qui ont été trouvés au chapitre précédent.

#### d) Crues exceptionnelles

On sait assez peu de choses à ce sujet, car peu de stations sont observées depuis plus de 10 ans. L'Ogooué est observé depuis plus de 25 ans, mais, seule, la moitié Nord du bassin participe au régime équatorial pur. Les bassins de plus de 8 000 km<sup>2</sup> semblent présenter des débits spécifiques de crue décennale variant entre 50 et 70 l/s.km<sup>2</sup> (Ogooué à Lambaréné : 66 l/s.km<sup>2</sup>). Les petits bassins côtiers, tels que la Lobé, par suite d'une plus faible superficie et de très fortes précipitations, ont des crues exceptionnelles beaucoup plus violentes : à Kribi, la Lobé paraît avoir des crues décennales de 275 l/s.km<sup>2</sup>.

RÉGIME ÉQUATORIAL  
Débits d'étiage caractéristiques  
(Valeurs médianes)

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANNUELLE mm	DÉBIT D'ÉTIAGE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIF. D'ÉTIAGE l/s. km <sup>2</sup>
<i>Equatorial boréal</i>				
Agnéby à Agboville .....	4 600	1 375	0,09	0,02
Bia à Ayamé .....	9 320	1 475	4,3	0,46
Nyong à Mbalamayo .....	14 300	1 460	34	2,38
Lokoundjé à Lolodorf .....	1 177	1 860	3,8	3,22
<i>Equatorial pur</i>				
Lobé au Bac de Kribi .....	1 940	2 700	10	5,16
Ntem au Bac de Ngoazik ....	18 060	1 770	46	2,54
Likouala-Mossaka à Etoumbi .	9 000	1 600	65	7,2
<i>Equatorial austral</i>				
Ogooué à Lambaréné .....	203 500	1 800	1 625	7,85
Ogooué à Franceville .....	9 000	1 900	—	28
Nkéni à Gamboma .....	6 250	1 850	175	—
Nyanga au Pont Rte du Gabor	5 600	1 800	58	10,3
Kouilou à Sounda .....	56 000	1 510	305	5,45
Bouenza à Moukouloulou ..	5 800	1 720	50	8,65
Niari au Bac de la Safel ...	8 360	1 550	44	5,3
Djoué à Kibossi .....	5 450	1 630	105	19,3
Foulakary à Kimpanzou .....	2 815	1 460	12	4,27

#### e) Irrégularité interannuelle

La faible durée des observations ne serait pas de nature à faciliter l'étude de l'irrégularité, mais, heureusement, la présence d'une année très forte (1957) et d'une année extrêmement déficitaire (1958) permet d'en donner une estimation par excès. En général, on trouve que  $K_3$  est compris entre 1,6 et 2 (Ogooué : 1,6, Lobé : 1,7, Ntem : 2), ce qui correspond à un régime assez régulier. Cependant, dans certains cas,  $K_3$  peut dépasser 2 (Likouala-Mossaka).

Rappelons les très faibles modules de 1958 :

— Lobé à Kribi . . . . .	79 m <sup>3</sup> /s (41 l/s.km <sup>2</sup> ),
— Ntem au bac de Ngoazik . . . . .	174 m <sup>3</sup> /s (9,6 l/s.km <sup>2</sup> ),
— Ogooué à Lambaréné . . . . .	3 399 m <sup>3</sup> /s (1,7 l/s.km <sup>2</sup> ) (1).

#### f) *Déficit d'écoulement*

Dans certains cas, il est beaucoup plus faible que pour le régime équatorial de transition. Il peut descendre jusqu'à 700 à 900 mm sur la Lobé et la Likouala-Mossaka. Il est de 1 000 mm sur l'Ogooué. Mais il est égal à 1 100 mm sur le Ntem. Le coefficient d'écoulement varie beaucoup avec la hauteur de précipitations ; il est généralement élevé (souvent plus de 40 %), les précipitations s'écartant nettement de la valeur du déficit donnée plus haut (2). On trouve, par exemple : 44 % pour l'Ogooué, 40 à 50 % sur la Likouala-Mossaka.

### III. REGIME EQUATORIAL DE TRANSITION AUSTRAL.

Le schéma des variations saisonnières rappelle beaucoup celui des cours d'eau de Côte d'Ivoire avec six mois de décalage. La grande saison sèche se produit pendant l'hiver austral (été boréal) ; les crues principales, pendant l'automne austral (printemps boréal).

Si l'on considère l'absence presque totale d'averses pendant la grande saison sèche et la durée de cette saison, on devrait s'attendre à des étiages particulièrement rigoureux. Mais la température relativement modérée, la grande nébulosité en cette saison, la nature souvent perméable du terrain ou la couverture végétale, dense en certaines régions, atténuent très sensiblement la rigueur de l'étiage, de sorte que, même pour les terrains imperméables, les débits de basses eaux sont nettement supérieurs à ceux de Côte d'Ivoire, pourtant beaucoup plus arrosée en saison sèche.

#### a) *Extension*

Ce régime couvre la moitié Sud du Gabon et la moitié Sud du Moyen-Congo.

Ces régions correspondent aux affluents rive gauche de l'Ogooué, au Kouilou-Niari et à ses affluents, aux affluents rive droite du Congo, en aval de l'Oubangui.

La nature géologique de ces terrains varie beaucoup d'un point à un autre, depuis les terrains cristallins, recouverts d'argile de décomposition imperméable, jusqu'aux sables batékés très perméables, en passant par les zones karstiques du Niari. Il en résulte une grande variété entre les régimes de bassins souvent très voisins.

#### b) *Modules*

Ils sont assez élevés :

— dans le Sud du Moyen-Congo (sols relativement imperméables), suivant la hauteur de précipitations annuelle . . . . .	18 à 22 l/s.km <sup>2</sup> ,
— sur les Plateaux batékés (Nkéni, Ogooué à Franceville, Léfini) . . . . .	28 à 35 l/s.km <sup>2</sup> .

Le bassin du Djoué, dont la perméabilité est intermédiaire, a un module de 23 l/s.km<sup>2</sup>.

(1) Année 1958-1959.

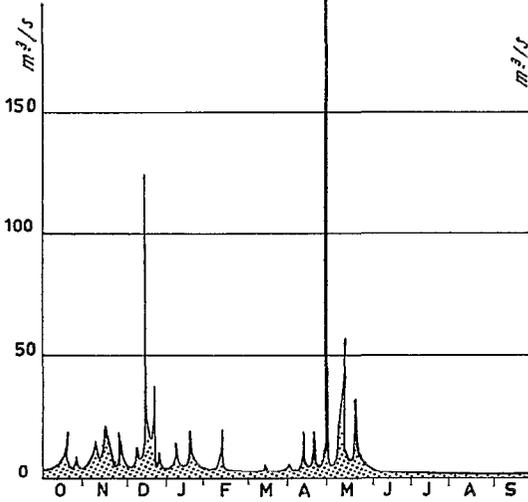
(2) Toujours pour des bassins de superficie supérieure à 2 000 km<sup>2</sup>.

RÉGIME ÉQUATORIAL DE TRANSITION AUSTRAL

LE NKENKÉ AU PONT C.F.C.O.

468 Km<sup>2</sup>  
( CONGO )

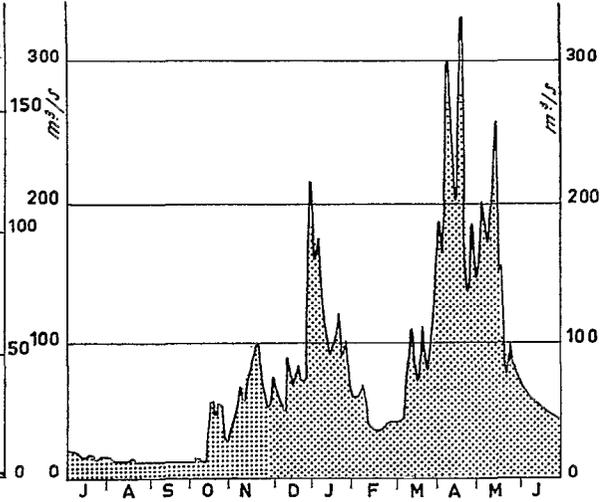
Débits en 1955-56



LA FOULAKARY AU BAC DE KIMPANZOU

2 815 Km<sup>2</sup>  
( CONGO )

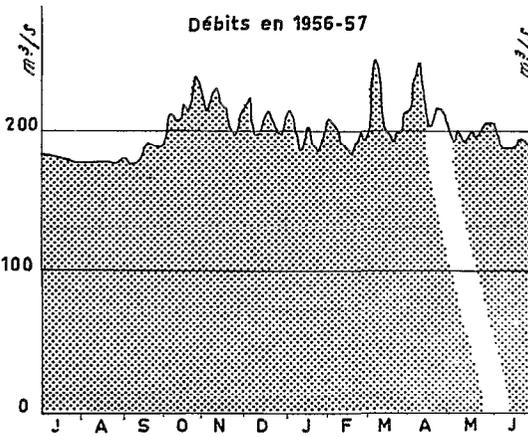
Débits en 1954-55



LE NKENI A GAMBOMA

6 250 Km<sup>2</sup>  
( CONGO )

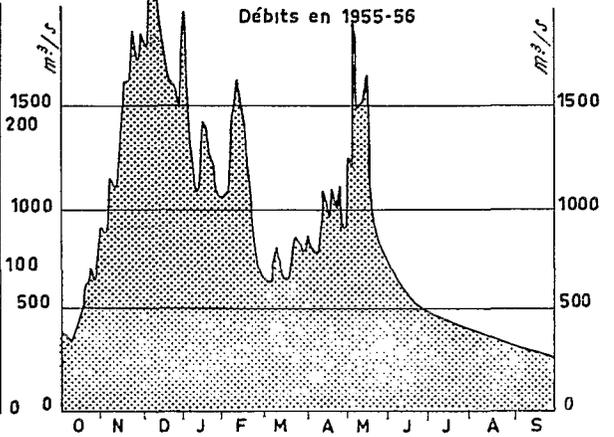
Débits en 1956-57



LE KOUILOU A SOUNDA

56 000 Km<sup>2</sup>  
( CONGO )

Débits en 1955-56



Les précipitations plus fortes, et probablement la diminution de l'évaporation par la rapide infiltration des eaux de pluie, conduisent à ces modules plus élevés.

Il semble que, au Nord du bassin du Kouilou, et en particulier au voisinage de la côte, les modules augmentent encore par suite de précipitations annuelles plus abondantes. C'est ainsi que le module de la Nyanga est de 36 l/s.km<sup>2</sup>.

Par contre, certaines régions peu arrosées (moins de 1 400 mm) doivent présenter des modules très inférieurs à 20 l/s.km<sup>2</sup>.

### c) Variations saisonnières

1° LA GRANDE SAISON SÈCHE est pratiquement sans crue pendant trois à quatre mois. On voit là le caractère aride de l'hémisphère austral. Les débits d'étiage varient dans de très fortes proportions suivant la perméabilité du sol.

Mais, même en terrain perméable, ce débit de base est relativement fort pour les raisons que nous avons exposées plus haut. Il est possible, en outre, que les précipitations occultes aient un effet non négligeable.

En terrain à peu près imperméable, le réseau hydrographique est dense, les débits d'étiage peuvent varier entre 4 et 6 l/s.km<sup>2</sup>.

En terrain perméable, le réseau hydrographique est très peu serré, les plateaux restent desséchés pendant plusieurs mois, mais les quelques cours d'eau qui drainent ces massifs sablonneux roulent des apports presque égaux à ceux de la saison des pluies, puisque le rapport entre minimum et maximum annuels varie de 1,25 à 1,35.

Dans ces conditions, le débit d'étiage varie entre 28 et 31 l/s.km<sup>2</sup>, valeurs tout à fait remarquables.

Par exemple, pour le Djoué, qui conflue avec le Congo, un peu en aval de Brazzaville, le rapport entre débits extrêmes annuels est égal à 2,5 ; le débit d'étiage est de l'ordre de 19 l/s.km<sup>2</sup>. La Bouenza est encore de ce type intermédiaire avec 9 l/s.km<sup>2</sup>.

Comme pour les modules, il semble que les débits d'étiage, même en terrain imperméable, soient plus élevés au Nord du bassin du Kouilou, où l'on rencontre des valeurs de 8 à 12 l/s.km<sup>2</sup>, comme en régime équatorial pur, zone côtière.

2° LA PREMIÈRE SAISON DES PLUIES, qui se produit en décembre, semble être la moins forte en général, quoique, certaines années, ce soit elle qui donne lieu au maximum.

Sur les bassins imperméables de quelques milliers de kilomètres carrés, les maximums sont de l'ordre de 40 à 50 l/s.km<sup>2</sup>. La faiblesse relative de ces maximums résulte soit de l'épaisseur de la couverture végétale dans le Nord, soit de la faible importance des précipitations dans le Sud. Ils sont plus élevés vers le Nord-Ouest, où les précipitations sont plus fortes (Nyanga : 70 à 80 l/s.km<sup>2</sup>). Vers la frontière du Congo (Léopoldville), certains petits cours d'eau, tels la Nkenké et la Comba, doivent présenter des valeurs nettement plus fortes.

Sur les bassins perméables, ils varient de 33 l/s.km<sup>2</sup> (bassins très perméables) à 38 l/s.km<sup>2</sup> (bassins moins perméables). La perméabilité du terrain joue un rôle régulateur très net.

3° LA SECONDE SAISON SÈCHE se produit en janvier ou février ; elle n'est pas toujours très nette, surtout dans les terrains perméables.

En terrain imperméable, le débit est trois fois plus élevé que celui de l'étiage principal.

En terrain perméable, le rapport varie entre 1,5 et 1 suivant la perméabilité.

4° LA SAISON DES PLUIES PRINCIPALE, qui se produit en avril et mai, n'est pas toujours très différente de la première ; elle peut être plus faible certaines années.

Pour les grands et moyens bassins versants, on trouve les résultats suivants :

— sur des terrains imperméables, les débits spécifiques maximaux sont de 50 à 80 l/s.km<sup>2</sup> en général et même 100 l/s.km<sup>2</sup> dans le cas de fortes pentes, de sol très imperméable et sans couverture forestière ou de régions très arrosées ;

— en terrain perméable, ils sont assez faibles : 35 à 40 l/s km<sup>2</sup>.

Le Kouilou présente, à la fois, des bassins forestiers à crues modérées, des bassins de savane imperméables, des bassins très perméables et des bassins peu arrosés à crues insignifiantes. Au total, on trouve une valeur moyenne proche de 43 l/s.km<sup>2</sup>.

Sur les petits bassins, les crues varient beaucoup suivant la perméabilité du terrain et la couverture végétale.

Les terrains à forte pente, avec faible végétation et couverture imperméable, au Sud du Niari, admettent des maximums annuels de l'ordre de 2 000 à 4 000 l/s.km<sup>2</sup> pour 25 km<sup>2</sup> (bassin expérimental de la Comba), assez comparables à ceux des régions tropicales.

En terrain très perméable, le maximum annuel descend jusqu'à 60 l/s.km<sup>2</sup> pour la même superficie.

En terrain imperméable, toujours à forte pente, mais avec couverture forestière dense, on trouverait, en général, dans les mêmes conditions, 300 à 500 l/s.km<sup>2</sup>. Mais il n'est pas exclu que certaines zones forestières puissent présenter des débits spécifiques de 1 000 l/s.km<sup>2</sup>, comme en certains points de Côte d'Ivoire et du Gabon.

RÉGIME ÉQUATORIAL  
Débits de crues médians

BASSIN	SUPERFICIE DU BASSIN km <sup>2</sup>	PLUVIOM. ANN. MOY. mm	DÉBIT DE CRUE m <sup>3</sup> /s	DÉBIT SPÉCIF. DE CRUE l/s. km <sup>2</sup>
<i>Equatorial boréal</i>				
Agnéby à Agboville .....	4 600	1 375	120	26
Bia à Ayamé .....	9 320	1 475	440	47
Nyong à Mbalmayo .....	14 300	1 460	331	23
Lokoundjé à Lolodorf .....	1 177	1 860	110	94
<i>Equatorial pur</i>				
Lobé au Bac de Kribi .....	1 940	2 700	402	207
Ntem au Bac de Ngoazik ....	18 060	1 770	687	38
Likouala-Mossaka à Etoumbi .	9 000	1 600	300	33
<i>Equatorial austral</i>				
Ogooué à Lambaréné .....	203 500	1 800	9 150	44
Ogooué à Franceville .....	9 000	1 900	500	56
Nkéni à Gamboma .....	6 250	1 850	245	39
Nyanga au Pont Rte du Gabon	5 600	1 800	520	93
Kouilou à Sounda .....	56 000	1 510	2 335	43
Bouenza à Moukougoulou ...	5 800	1 720	245	42
Niari au Bac de la Safel ....	8 360	1 550	825	99
Djoué à Kibossi .....	5 450	1 630	220	40
Foulakary à Kimpanzou ....	2 815	1 460	200	71

d) Crues exceptionnelles

Elles sont très mal connues.

En terrain très perméable, pour des bassins de plusieurs milliers de kilomètres carrés, il est douteux qu'elles atteignent des valeurs élevées : 50 l/s.km<sup>2</sup> semblent un maximum pour de grands et moyens bassins en terrains extrêmement perméables, 60 l/s.km<sup>2</sup> pour terrains moins perméables.

En terrain imperméable, elles sont assez fortes. On note pour les crues décennales :

- 110 à 125 l/s.km<sup>2</sup> pour 5 000 km<sup>2</sup> (Nyanga, Foulakary) ;
- 65 à 75 l/s.km<sup>2</sup> pour 55 000 km<sup>2</sup> (Kouilou).

La différence est faible par rapport aux maximums annuels : 43 l/s.km<sup>2</sup> pour 55 000 km<sup>2</sup>.

Ces chiffres sont comparables à ceux du régime tropical de transition ; la végétation présente d'ailleurs souvent la même densité.

Dans le Sud du bassin du Niari, certaines rivières, telles que la Comba, avec sol argileux, forte pente, faible couverture végétale, doivent donner des valeurs plus élevées que 120 l/s.km<sup>2</sup>.

Les crues décennales des petits bassins ont fait l'objet d'études assez approfondies, tant pour la réalisation de la ligne de chemin de fer du C.F.C.O. à Mbinda que pour la mise au point du projet de barrage du Kouilou, ou que pour les études d'assainissement de Brazzaville.

L'influence du sol et de la couverture végétale sont capitales, d'autant plus que les savanes de ces régions, qui comportent très peu d'arbres, semblent couvrir beaucoup plus mal le terrain que celles des régions tropicales boréales. La hauteur de pluie journalière décennale est de 130 mm, sauf sur la côte où elle est de 200 mm. Toutes les crues ont été calculées pour un bassin standard de 25 km<sup>2</sup>.

Les savanes plus ou moins dégradées de la Comba, avec sol assez imperméable et assez forte pente, correspondent à un maximum égal à 4 500 à 5 500 l/s.km<sup>2</sup>.

Les zones urbaines, même en terrain perméable, peuvent donner des chiffres presque aussi forts, le piétinement transformant vite la surface du sol en un glacis imperméable. A Brazzaville (Poto-Poto et Bacongo), on trouve 4 000 à 6 000 l/s.km<sup>2</sup>.

En forêt, avec les mêmes pentes, sol à peu près aussi imperméable que sur la Comba, la crue décennale est de 600-700 l/s.km<sup>2</sup> (bassin du Leyou).

Mais, comme nous l'avons dit plus haut, il n'est pas impossible qu'on trouve des bassins à forte pente donnant lieu à des débits spécifiques de crue décennale de 1 000 à 1 500 l/s.km<sup>2</sup>.

Si la pente s'atténue, on trouve 200 à 300 l/s.km<sup>2</sup> (bassin de la Bibanga).

Ces résultats sont tout à fait comparables à ceux obtenus en Côte d'Ivoire.

Sur les sables très perméables des Plateaux Batékés, la crue décennale est de l'ordre de 60 l/s.km<sup>2</sup>, comme sur les grands bassins. Ce chiffre correspond à la savane.

### e) *Irrégularité interannuelle*

Elle est :

- moyenne pour des terrains imperméables :  $K_3 = 1,6$  à  $1,8$ , chiffres comparables à ceux du régime tropical de transition ;
- faible pour des bassins mixtes (le Kouilou, la Bouenza, par exemple) :  $K_3 = 1,5$  à  $1,7$  ;
- extrêmement faible pour les terrains très perméables des Plateaux Batékés (Nkéni, Léfini, Djoué) :  $K_3 = 1,25$  à peut-être  $1,1$ .

Elle peut être très élevée pour les petits bassins très mal arrosés au Nord-Ouest de Dolisie.

Comme plus haut, nous donnons les modules observés en 1958 :

Nyanga .....	159 m <sup>3</sup> /s
Foulakary .....	41 m <sup>3</sup> /s
Djoué .....	115 m <sup>3</sup> /s
Kouilou .....	592 m <sup>3</sup> /s
Nkéni .....	194 m <sup>3</sup> /s

#### **f) Déficit d'écoulement, coefficient d'écoulement**

Le déficit est faible : 850 (Plateaux Batékés) à 1 000 mm par an ; il croît probablement du Nord au Sud. Le minimum se produirait dans le régime équatorial pur (?).

Le coefficient d'écoulement, assez fort, varie en général de 45 à 50 % avec la pluviométrie. Dans le cas du Kouilou, où une partie du bassin est très mal arrosée, il descend à 37 %.

#### **g) Erosion**

Elle est notable sur les pentes couvertes d'une végétation de graminées qui offrent une protection insuffisante. On retrouve les mêmes « lavaka » qu'à Madagascar, en beaucoup moins grand nombre toutefois.

En zone forestière, elle est faible mais non nulle.

## D) RÉGIMES DE QUELQUES GRANDS COURS D'EAU ÉQUATORIAUX

Le grand fleuve équatorial africain est bien évidemment le Congo. Mais la présente étude ne couvre qu'une partie de son bassin et il serait prématuré, à notre avis, d'en entreprendre une étude hydrologique d'ensemble ; le tarage des stations principales n'est pas encore assez avancé et les circonstances actuelles ne permettent pas d'améliorer rapidement cette situation.

Nous ne devons pas en avoir trop de regrets : avec une partie de son bassin soumis au régime tropical de transition boréal, une autre au régime tropical de transition austral, la partie centrale correspondant à plusieurs variantes du régime équatorial, son alimentation est très complexe et les variations de son débit ne peuvent guère fournir des points de repères pour les régimes de ses affluents rive droite qui font l'objet du présent ouvrage.

Nous avons déjà présenté le régime hydrologique de l'Oubangui à Bangui. Nous donnerons plus loin un aperçu sur le régime d'un autre grand affluent du Congo, la Sanga.

L'Ogooué, fleuve équatorial beaucoup plus typique que le Congo, commence à être connu et peut faire l'objet d'une description rapide.

L'Ogooué prend sa source vers la cote 600 sur les Plateaux Batékés dans la région de Zanaga. Il coule à l'origine vers l'Ouest puis vers le Nord-Nord-Ouest et reçoit près de Franceville son premier affluent important, la Mpassa, après les chutes de Poubara.

La station de Franceville, à l'amont du confluent de la Mpassa, donne une bonne idée du régime du cours supérieur.

L'hydrogramme annuel est bien typique du régime équatorial de transition austral, avec deux saisons de hautes eaux, l'une en octobre-novembre, la plus faible, l'autre en avril-mai, la plus forte ; la saison sèche la plus sévère est celle de juillet-août-septembre, ce qui est normal. Cet étiage, 100 m<sup>3</sup>/s environ, 11 l/s.km<sup>2</sup>, est abondant par suite de l'influence des sables batékés que l'Ogooué a cependant quittés depuis longtemps quand il arrive à Franceville.

Le module, 220 m<sup>3</sup>/s, est également assez fort. Il correspond à la moyenne du bassin de l'Ogooué ; cette valeur élevée explique pourquoi, avec des superficies modérées, l'Ogooué et ses affluents roulent des débits annuels imposants. Cependant, les crues annuelles de l'Ogooué ne sont pas très violentes, elles n'atteignent même pas 60 l/s.km<sup>2</sup> alors que le module est déjà de 24,5 l/s.km<sup>2</sup> ; d'une année à l'autre, le volume peut varier sensiblement puisque le coefficient K<sub>3</sub> est peut-être de l'ordre de 1,6, ce qui, pour un bassin de 9 000 km<sup>2</sup>, n'est pas très élevé, mais ce coefficient est déjà très supérieur à celui des Plateaux Batékés.

A l'aval de Franceville, l'Ogooué prend la direction générale Sud-Est-Nord-Ouest, passe par le défilé de Mafoula-Matato et traverse une première série de rapides en même temps qu'il reçoit sur sa rive droite deux affluents notables, la Léconi et la Sébé, dont le régime doit se rapprocher du régime équatorial pur. Il passe ensuite à Lastourville qui est suivi d'une autre série de rapides particulièrement difficiles. Après un bief plus calme, il reçoit sur sa rive gauche la Lolo et, sur sa rive droite, l'Ivindo qui, avec un bassin versant de 63 000 km<sup>2</sup>, est le plus important des affluents de l'Ogooué.

Le bassin supérieur de l'Ivindo déborde faiblement sur le Cameroun et la République du Congo. Il est assez marécageux. L'Ivindo passe à la station principale de Makokou et se dirige vers le Sud-

Ouest en présentant entre Makokou et le confluent quatre chutes, dont certaines sont très spectaculaires.

Bien que la station de Makokou ne draine que 35 800 km<sup>2</sup>, elle est assez représentative du régime de l'Ivindo. Il s'agit d'un régime équatorial pur, mais le diagramme annuel ne reflète pas une parfaite symétrie. Des deux pointes de crues équatoriales, celle de novembre, dont la valeur médiane est de 1 350 m<sup>3</sup>/s, est presque toujours plus forte que celle d'avril-mai dont la valeur médiane est voisine de 900 m<sup>3</sup>/s : ce détail rapprocherait le régime de l'Ivindo de celui des cours d'eau du Sud Cameroun. Par contre, pour les deux étiages, celui de mars est un peu plus élevé et nettement plus court que celui d'août-septembre qui dure deux à trois mois et descend jusqu'à 75 ou 100 m<sup>3</sup>/s (valeur médiane) : c'est là une tendance australe qui s'accroît certainement entre Makokou et le confluent avec l'Ogooué.

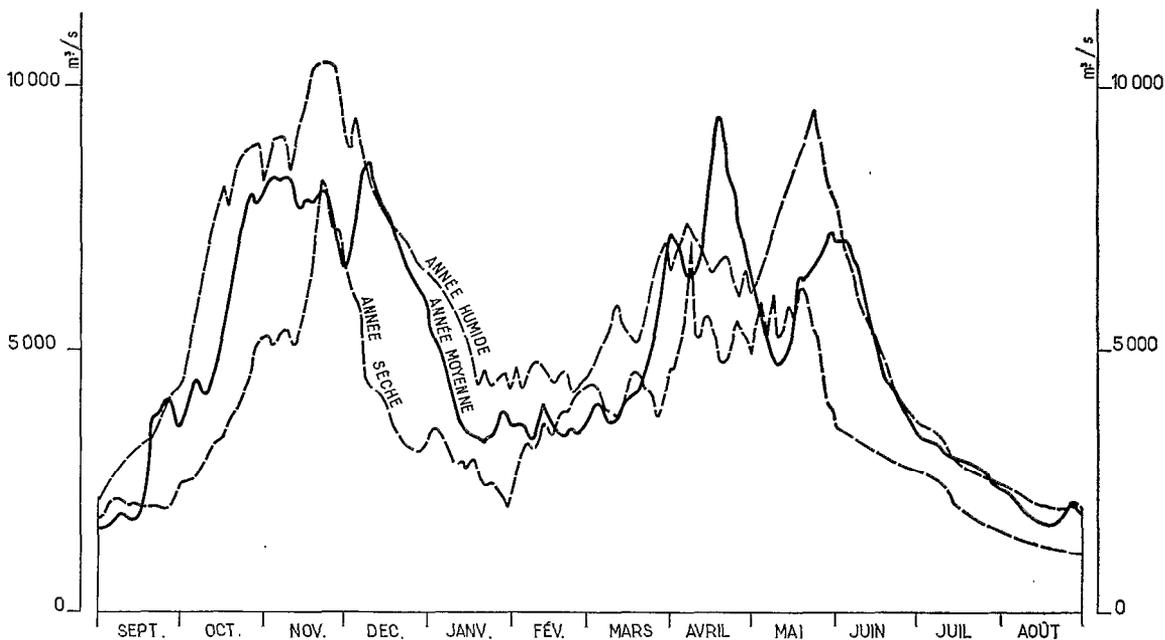
Le module sur une longue série d'années serait probablement supérieur à la moyenne actuelle, 520 m<sup>3</sup>/s, qui a été calculée avec certaines années exceptionnellement faibles. Ce chiffre n'est pas très élevé, l'Ivindo draine la région la moins arrosée de l'Ogooué avec un peu moins de 1 700 mm par an. Le module annuel au confluent est probablement voisin de 1 000 m<sup>3</sup>/s. On notera la faible valeur de la crue décennale à Makokou : 1 700 m<sup>3</sup>/s, soit 47 l/s.km<sup>2</sup>.

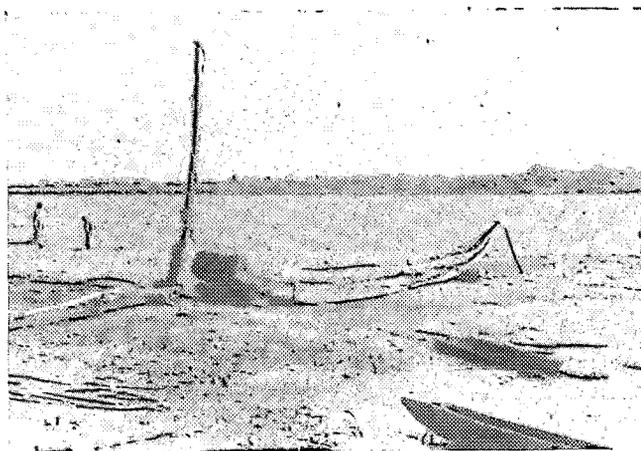
Le coefficient d'irrégularité K<sub>8</sub>, 1,9, est assez élevé ; peut-être est-il surestimé par suite de l'existence, dans la période d'observations, d'années exceptionnellement sèches et humides.

A l'aval de l'Ivindo, l'Ogooué prend la direction Est-Ouest, présente une faible chute, reçoit sur sa rive gauche l'Offoué et, après une série de rapides assez difficiles, traverse le défilé des Portes de l'Okanda, puis reçoit sur sa rive droite l'Okano ; il devient alors navigable et, après Ndjolé, entre en plaine. Puis, il s'oriente vers le Sud-Ouest et reçoit sur la rive gauche son second grand affluent, la Ngounié, issue de la région montagneuse et bien arrosée de Mbigou.

Avec un bassin de 32 500 km<sup>2</sup>, la Ngounié ne doit pas fournir un débit annuel aussi élevé que l'Ivindo, mais un module de 800 m<sup>3</sup>/s au confluent n'aurait rien d'étonnant ; l'influence australe est très nette, les plus basses eaux sont très nettement en septembre et octobre. Le maximum est encore en novembre.

#### L'OGOUE A LAMBARÉNE





Le Chari, à Goudey,  
en aval de Fort-Lamy.

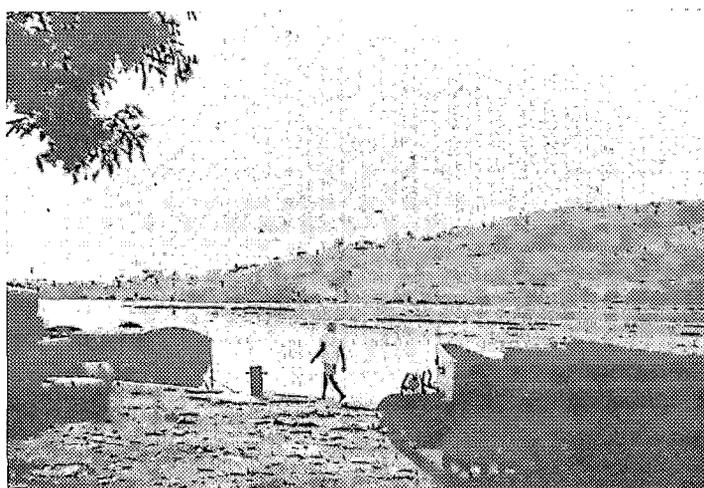
RODIER

Le coude de l'Oubangui, à Bangui.

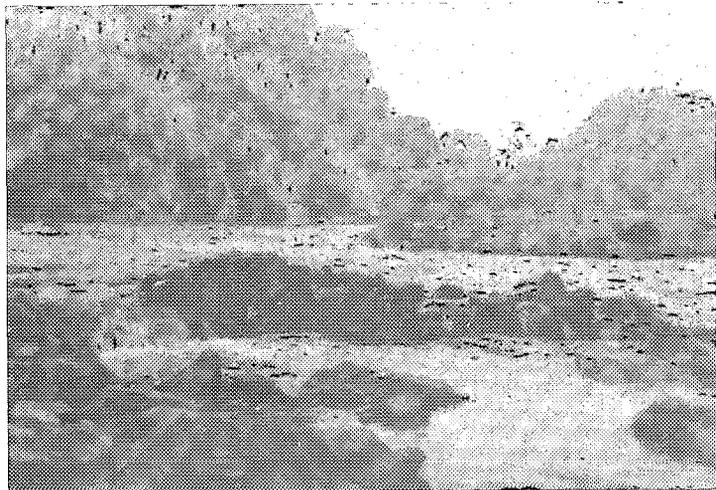


RODIER

Le Port de Bangui (1950).



RODIER



La Bia entre les sites de barrages.

F.D.

RODIER



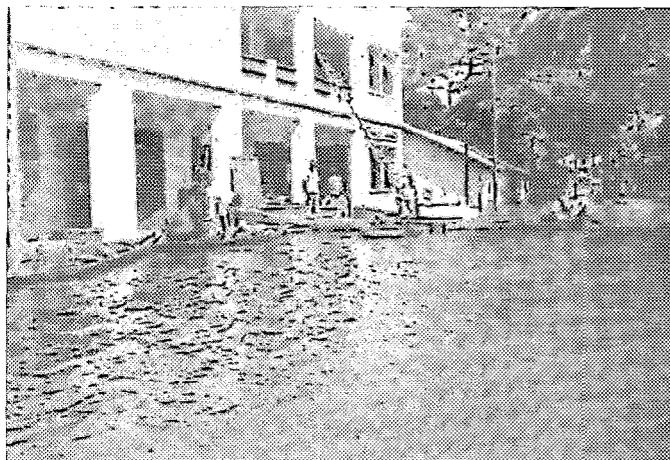
*Cours d'eau équatoriaux.*

Vue aérienne des chutes de Kongué sur l'Ivindo.

TOUCHEBEUP

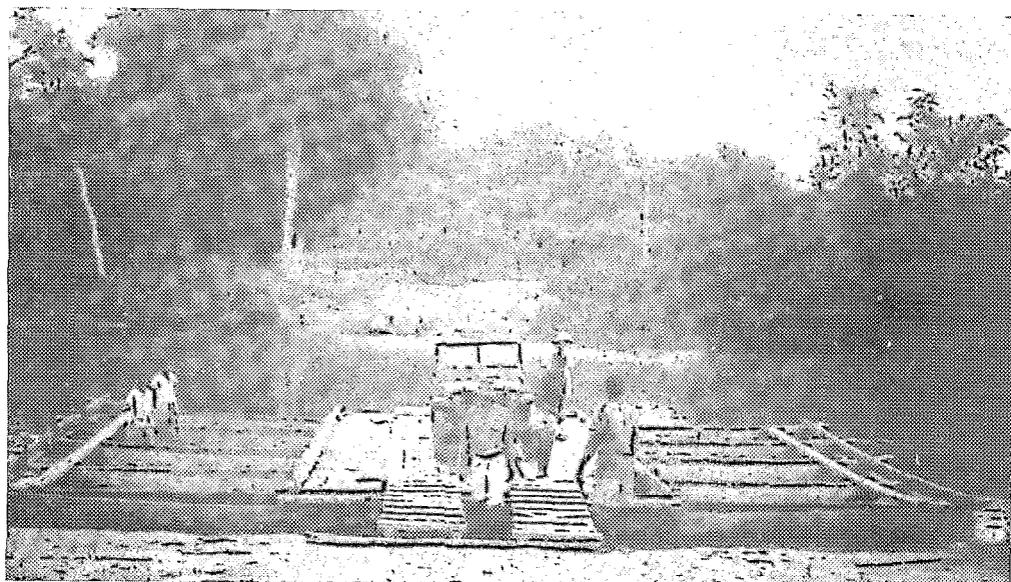
Descente de l'Ivindo (1961).  
Passage d'un rapide à la « Touline ».





Crue de l'Ogooué de 1961.  
Lambaréné, entrée du magasin S.H.O.  
17 novembre 1961, cote échelle S.H.O.  
6,98.

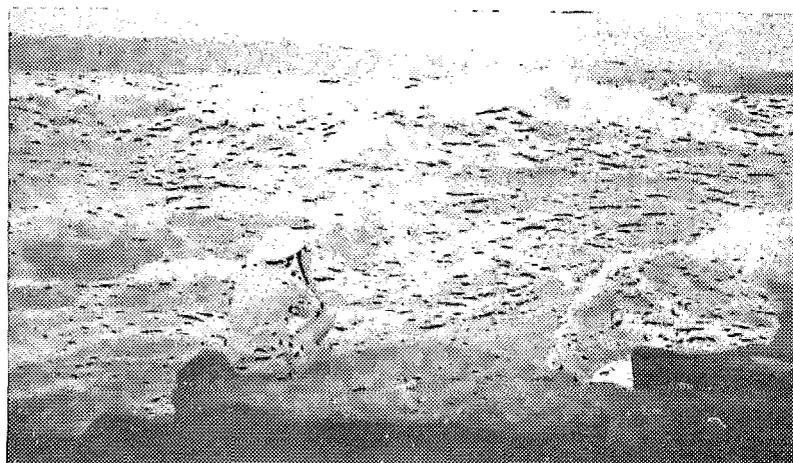
MERLEN



Bac sur la Foulakary en 1950.

RODIER

Rapides du Congo  
au confluent du Djoué.



RODIER

Un aperçu des efforts qu'ont coûté les chiffres qui précèdent.

*Le véhicule étant le premier outil de l'hydrologue est celui qui lui donne le plus d'ennuis.*

Petits ennuis :

L'expert R. Berthelot aux prises avec le poto-poto.



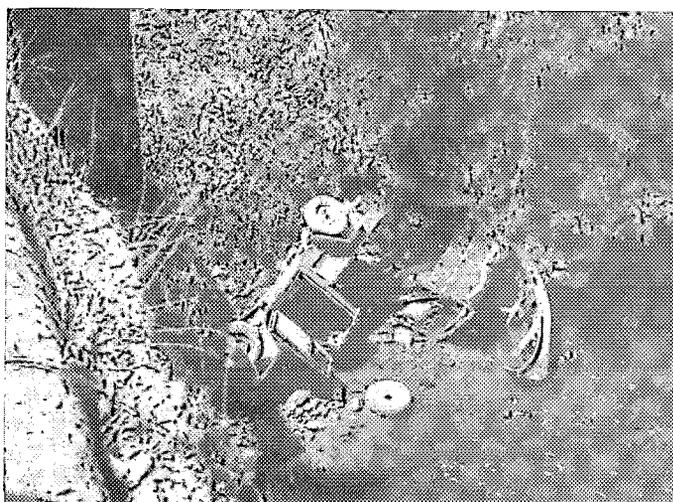
RODIE



Ennuis sérieux :

Douze heures de dépannage dans le lit majeur du Niger sur la piste de Gourma Rharous.

RODIER



Gros ennuis .

Les hydrologues s'en sont sortis indemnes mais n'ont pas jaugé les stations du Konkouré cette fois-là.

PONTONI

A l'aval de la Ngounié, l'Ogooué passe à Lambaréné, station de jaugeage la plus importante et la plus ancienne de l'Ogooué, où le fleuve se divise en deux bras. Commence alors une zone deltaïque avec de très nombreux lacs dont les plus importants sont le lac Azingo et le lac Onangué, puis la plupart du débit vient se concentrer dans une zone relativement étroite avant de se partager en deux séries de bras, l'une rejoignant l'océan à l'Est de Port-Gentil, l'autre au Sud.

Avec 203 500 km<sup>2</sup>, la station de Lambaréné contrôle près de 95 % du bassin du fleuve.

Cette station a donné beaucoup de travail aux hydrologues. Tout d'abord, il a fallu l'étalonner, ce qui a nécessité des jaugeages pour des débits atteignant 13 500 m<sup>3</sup>/s. Puis, il a fallu retrouver les lectures anciennes à Lambaréné et aux environs, ce qui a demandé plusieurs années. L'enjeu en valait la peine. L'Ogooué était le seul cours d'eau en région équatoriale (Congo mis à part) observé depuis près de trente ans. Contrairement au Congo, il pouvait fournir un précieux repère d'hydraulicité. Il a été ensuite nécessaire de rattacher les anciennes échelles aux échelles actuelles et, enfin, d'établir les correspondances nécessaires qui se sont avérées délicates puisque les premières échelles étaient installées sur des lacs dont le remplissage perturbait la correspondance. Actuellement, ce travail est suffisamment avancé pour que les hydrologues disposent de trente années d'observations. Le tableau ci-après donne les caractéristiques qui en ont été déduites.

### L'OGOOUÉ A LAMBARÉNÉ

*Caractéristiques hydrologiques essentielles aux stations de Makokou  
Franceville, Lambaréné, Ouessou*

CARACTÉRISTIQUES	UNITÉ	L'IVINDO à MAKOKOU	L'OGOOUÉ à FRANCEVILLE	L'OGOOUÉ à LAMBARÉNÉ	LA SANGA à OUESSO
Superficie du bassin versant .....	km <sup>2</sup>	35 800	9 000	203 500	165 500
Hauteur de précipitations annuelles	mm	1 650	(1 960)	1 800	1 550
Module .....	m <sup>3</sup> /s	520	220	4 666	1 800
Volume moyen annuel .....	m <sup>3</sup>		7 × 10 <sup>9</sup>	147 × 10 <sup>9</sup>	56,5 × 10 <sup>9</sup>
Etiage .....	m <sup>3</sup> /s	75	100	1 510	(800)
D. C. 9 .....	m <sup>3</sup> /s		(150)	3 025	(1 105)
D. C. 3 .....	m <sup>3</sup> /s		(300)	5 900	(2 200)
D. C. C .....	m <sup>3</sup> /s		430	8 250	3 750
Crue annuelle ....	m <sup>3</sup> /s	1 350 (900) (1)	500	9 150	3 800
Crue décennale ...	m <sup>3</sup> /s	1 700 (1 100) (1)	700	12 200	(4 600)
Crue centenaire ...	m <sup>3</sup> /s			6 000	
Volume annuel premier décile ....	m <sup>3</sup>	22 × 10 <sup>9</sup>		183 × 10 <sup>9</sup>	68 × 10 <sup>9</sup>
Volume annuel dernier décile .....	m <sup>3</sup>	11,5 × 10 <sup>9</sup>		113 × 10 <sup>9</sup>	49 × 10 <sup>9</sup>
K <sup>3</sup> .....		1,9	1,6	1,62	1,38
Déficit d'écoulement	mm	1 190	1 180	1 070	1 210

(1) Seconde période de hautes eaux.

Le module, 4 666 m<sup>3</sup>/s, soit 23 l/s.km<sup>2</sup>, est élevé, par suite des fortes précipitations dont bénéficient la moitié Sud et la partie occidentale du bassin. Ce module est moins régulier qu'on pourrait le penser puisque le coefficient d'irrégularité K<sub>3</sub> : 1,62, est supérieur à celui de l'Oubangui ; 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. L'Ivindo doit certainement intervenir de façon très importante dans la valeur relativement élevée de ce coefficient pour un régime aussi abondant.

Le débit d'étiage, 1 510 m<sup>3</sup>/s, 7 l/s.km<sup>2</sup>, est abondant par suite de la brièveté de la saison des pluies, surtout dans toute la partie occidentale du bassin. Le débit de crue annuelle, 9-150 m<sup>3</sup>/s, 45 l/s.km<sup>2</sup>, est modéré. La crue décennale a pu être déterminée sans trop de difficultés, avec 30 ans d'observations ; elle est voisine de 13 000 m<sup>3</sup>/s, chiffre également modéré eu égard à l'abondance des précipitations ; la couverture forestière est responsable de cette modération ainsi que la répartition des pluies en deux saisons.

Avec près de 150 millions de m<sup>3</sup> par an, l'Ogooué ne fait pas trop mauvaise figure vis-à-vis des plus grands fleuves que nous avons étudiés.

La Sanga est l'affluent rive droite du Congo le plus important après l'Oubangui ; ce cours d'eau, dont la direction générale est Nord-Sud, présente un régime mixte tropical de transition et équatorial. Voisine de la Sanaga et de l'Oubangui, elle présente des caractères beaucoup plus équatoriaux.

Elle est constituée par la réunion de la Mambéré et de la Kadeï. La Mambéré prend sa source à 1.500 m d'altitude, vers le 7° parallèle, sur le plateau qui prolonge l'Adamaoua vers l'Ouest, en République Centrafricaine. Elle porte alors le nom de Nana et présente un régime tropical de transition à peu près identique à celui des branches supérieures du Logone, de l'Ouham et du Lom. La couverture végétale est du type savane boisée. Les étiages sont notables et la période de hautes eaux dure de 4 à 5 mois. La Mambéré coule vers le Sud-Sud-Est avec un bassin assez étroit et rencontre un climat qui se rapproche de plus en plus du climat équatorial. Si on considère qu'elle constitue la branche dont le régime se rapproche le plus du régime tropical, on devine déjà que les étiages seront assez forts et les crues assez étalées. La Mambéré rejoint la Kadeï après un parcours de 450 km environ vers la cote 370. La Kadeï prend sa source nettement plus au Sud entre le 5° et le 6° parallèle vers la cote 1.000 près de Bétaré-Oya au Cameroun, en savane boisée. Elle se dirige vers le Sud, passe à Batouri et reçoit, sur sa rive droite, la Doumé dont le cours Est-Ouest est voisin de celui du Nyong.

Le régime de la Doumé est presque équatorial de transition. La Kadeï prend alors la direction Ouest-Est puis s'infléchit vers le Sud-Est et rejoint la Mambéré à Nolo. La Sanga prend alors la direction Nord-Sud jusqu'à Ouesso pendant 200 km environ, le régime est nettement équatorial. A Ouesso elle reçoit, sur sa rive droite, son principal affluent : la Ngoko. Celle-ci, rivière frontière entre Cameroun et Congo, est formée par la réunion de la Boumbé et du Dja, deux rivières camerounaises. La Boumbé prend sa source au Sud-Ouest d'Abong Mbong à faible distance du Dja, mais les directions générales de ces rivières sont en sens inverse. Le Dja coule d'abord vers l'Ouest puis, après 150 km, il fait demi-tour et prend la direction de l'Est et du Sud avant de rejoindre la Boumbé ; tous deux coulent en forêt et présentent un régime hydrologique assez voisin du régime équatorial pur.

Après Ouesso, la Sanga devenue navigable coule vers le Sud-Est et rejoint la plaine marécageuse qui borde le Congo sur une très grande largeur au Nord du 1<sup>er</sup> parallèle Sud ; elle reçoit sur sa rive gauche la Likouala aux Herbes avant de se jeter dans le Congo au poste de Mossaka, après un parcours de plus de 1 000 km.

Le régime de la Sanga n'est pas très bien connu. Le nombre de stations de jaugeages dans ce bassin peu peuplé est faible mais à peu près suffisant. L'étalonnage est peu avancé car, pour diverses raisons, les stations de jaugeages ont presque la dernière priorité dans les programmes des hydrologues des trois Etats intéressés. La station de Ouesso a fait l'objet de quelques mesures de débits qui permettent d'obtenir un ordre de grandeur des débits d'où l'on a déduit les caractéristiques hydrologiques principales. Celles-ci sont typiques d'un régime équatorial abondant et régulier. Abondant, puisque le module atteint 1 800 m<sup>3</sup>/s, soit 11 l/s.km<sup>2</sup>, malgré la faible pente générale et l'épaisse couverture

végétale. Régulier, puisque l'étiage est supérieur à  $4 \text{ l/s.km}^2$  et le maximum annuel est inférieur à  $25 \text{ l/s.km}^2$ . L'irrégularité interannuelle est remarquablement faible :  $K_3 = 1,38$ . Le diagramme annuel des débits reflète la prédominance des deux branches supérieures à tendance tropicale, dont la saison de hautes eaux principale est en septembre-octobre, d'où une pointe principale dominant nettement un ensemble de plusieurs séries de crues de janvier à août correspondant à la première saison des pluies, plus ou moins décalées suivant la longueur des affluents ; au milieu de celles-ci, on retrouve plus ou moins mal les deux périodes de basses eaux de février-mars et d'août. Il est à noter que le débit du mois d'août n'est pas très éloigné de celui de janvier, petite trace du régime équatorial pur.

La Sanga à Ouesso roule en moyenne  $56,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Le volume annuel au confluent avec le Congo doit être voisin de  $60 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Propositions données par la Faculté :

**METHODES D'ETUDES D'HYDROLOGIE ANALYTIQUE  
PAR EMPLOI DE BASSINS EXPERIMENTAUX**

O.R.S.T.O.M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS 8e

Service central de documentation :

80, route d'Aulnay, BONDY (Seine)