

REPUBLIQUE GABONAISE



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

SECTION D'ETUDES ET RECHERCHES
EN HYDROLOGIE

FLEUVES ET RIVIERES DU GABON DIVERSITE DES REGIMES HYDROLOGIQUES

P. CARRE.

Hydrologue de l'ORSTOM

Décembre 1978

REPUBLIQUE GABONAISE

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

(CENAREST)

SECTION D'ETUDES ET RECHERCHES EN
HYDROLOGIE

(S E R H Y D R O)

FLEUVES ET RIVIERES DU GABON.

DIVERSITE DES REGIMES HYDROLOGIQUES.

P. CARRE.

Hydrologue de l'ORSTOM

SERHYDRO

CENTRE DE GROS-BOUQUET

B.P. 13001 LIBREVILLE

L'ouverture au Gabon d'une dizaine de stations hydrologiques en 1953, puis l'entretien, depuis les années soixante, d'un réseau bientôt étendu à une cinquantaine de postes d'observations des rivières, ont permis de mettre à la disposition des spécialistes de l'eau une masse déjà considérable d'informations chiffrées, publiées sous forme d'annuaires hydrologiques.

Ces travaux d'inventaires ont d'ores et déjà permis d'apporter nombre de réponses aux ingénieurs, réponses qu'on trouvera satisfaisantes si l'on veut bien considérer le peu de moyens qui leur ont été consacrés.

Il faut pourtant convenir que l'information disponible est souvent d'un secours insuffisant. L'extrapolation spatiale des résultats s'avère difficile si l'on tient compte des gradients physico-climatiques locaux, eux-mêmes mal connus: le dispositif pluviométrique actuel définit très mal les fortes variations dues à la proximité maritime et aux reliefs alors que données hydrogéologiques et topographiques sont quasi-inexistantes.

Il est ardu dans ces conditions, de mettre en rapport quantitatif "les effets" et "les causes", opération préalable à la définition de régions hydrologiques homogènes.

Il paraît pourtant utile de souligner déjà la diversité des régimes, même si l'esquisse présentée aujourd'hui doit être rapidement dépassée avec la poursuite des travaux d'inventaires et l'extension des réseaux hydro-pluviométriques et hydrométriques, par exemple à des ensembles aussi importants que les formations Francevilliennes ou de la Nyanga dont les caractéristiques spécifiques font aujourd'hui l'objet d'hypothèses.

Pour faciliter la comparaison interrégionale et attirer l'attention sur la diversité, les caractéristiques ont été ramenés à celles d'un bassin moyen de 1000 Km². Il est bien entendu que, par exemple dans le domaine des crues des petits bassins versants, les chiffres proposés ne pourront faire l'objet d'extrapolation linéaire débit-surface, mais proposent un classement relatif de l'aptitude régionale moyenne (1000 à 5000 Km²).

Les résultats ci-dessous font l'objet d'une carte hydrologique dans l'Atlas du Gabon.

1)- LES FACTEURS DES ECOULEMENTS

Sur des paysages forestiers (85%) aux reliefs modérés, le climat, particulièrement exprimé sous ces latitudes par l'alternance saison sèche- saison des pluies et par les manifestations liées à l'évapotranspiration des surfaces naturelles, constituera le facteur principal de l'écoulement moyen interannuel; les autres variables, répartition mensuelle des débits, étiage annuel, verront l'influence plus explicite des paysages, de la géologie et, en plus pour la crue, de la géométrie des impluvium.

1.1 LE CLIMAT.

Dans l'aire de déplacement de la Zone Intertropicale de Convergence (ZIC), domaine de rencontre du flux sec d'alizés d'origine continentale (anticyclone de Lybie) et celui, humide, d'origine maritime (anticyclone de Sainte-Hélène), la position du Gabon, au sud de l'équateur "pluviométrique", lui confère un climat de type équatorial pur dans son extrême nord-est à équatorial de transition australe vers les latitudes du même nom. L'influence maritime apparaît cependant sur tout le territoire lorsqu'il est placé dans le contexte de l'Afrique centrale.

Ainsi, en juillet août, le caractère austral, mesuré à la sévérité de la sécheresse saisonnière comparée à celle de janvier février, paraît fortement renforcé par la présence des eaux froides du courant de Benguélé, génératrice de stabilité atmosphérique; en hiver austral, ces eaux remontent le littoral en direction du nord-ouest. Leur influence s'exerce par l'intermédiaire de vents du quadrant sud-ouest.

En saison des pluies, l'alizé austral, soufflant du quart sud-ouest, perd de son humidité à partir de la côte sur les reliefs "au vent". Il se continentalise en fonction des obstacles orographiques dont l'orientation générale sud-est/nord-ouest répond à celle du littoral.

La proximité atlantique affecte également le régime d'autres variables climatiques : en liaison avec le courant de Benguélé, l'amplitude thermique entre les valeurs mensuelles moyennes atteint 5° vers Mayumba au lieu de 2° sur le bassin du Congo. De même, l'insolation, facteur de l'évapotranspiration, apparaît-elle réduite; de 1300 h/an sur la zone précôtière (Bitam, Lambarené, Tchibanga), elle passe à 1600 h/an aux frontières est et à 2000 h/an sur le Congo. En hiver austral, les eaux froides du Benguélé et l'anticyclone de Sainte-Hélène entretiennent une couverture nuageuse de type strato-

cumulus, allant en diminuant vers les frontières est : l'insolation, de 65 h /mois en août sur le pré littoral, atteint 180 h/mois au Congo.

.1.1. Les précipitations.

pluie annuelle.

Les isohyètes 2500 et 2250 mm, caractérisent le domaine réduit d'un régime pluviométrique particulièrement abondant : il conjugue à la fois des influences maritimes exacerbées (eaux marines chaudes des hauts fonds des embouchures du Komo et de Rio Muni, de la baie de la Mondah) et orographiques (Monts de Cristal).

Traduisant une importante influence atlantique, le tracé de l'isohyète 2000 mm s'annonce grossièrement parallèle à la côte avec des inflexions orographiques (Monts de Cristal et de Ndjolé, dorsale des Monts Birogou revenant sur le Mayumbe, dôme des plateaux Batékés).

A ces reliefs répondent, "sous le vent", des dépressions pluviométriques bien caractérisées : vallées de l'Okano, de l'Offoué et de la Lolo inférieurs, du Moyen-Ogooué, de la Nyanga, de la Dollé.

Au nord-est le "marais pluviométrique" plus continental de l'Ivindo supérieur semble s'établir aux environs de 1650 - 1700 mm.

Le tableau 2 résume les données d'observation des principales stations gabonaises pour la période 1953 - 1974, considérée comme représentative. Trois stations congolaises étendent la description au contexte centrafricain. L'hypothèse simple de normalité de la variable pluie annuelle en milieu équatorial permet de situer médiane et dispersion des séries observées : deux années sur trois environ l'observation est entre moyenne - écart type et moyenne + écart type.

Modérée, l'irrégularité pluviométrique interannuelle exprimée par le coefficient de variation est d'autant plus faible que la pluie moyenne est élevée ($C_v = 0,13$) et qu'on se trouve éloigné des pôles de propagation de la sécheresse pour le pays : le sud-ouest pour la sécheresse australe, la plus caractérisée; le C_v y atteint des valeurs de l'ordre de 0,30. Le tableau 1, souligne l'extension de la sécheresse de 1958 pour l'hémisphère sud.

Répartition mensuelle.

La répartition mensuelle de la pluviométrie est caractérisée par l'existence de deux maxima, le plus remarquable en octobre - novembre, le suivant en mars-avril-mai.

Le domaine équatorial, défini par une égale sévérité mensuelle moyenne des sécheresses intermédiaires, apparaît limité à une bande de quelques dizaines de Kms d'extension en latitude passant par Bitam et entre Souanke et Mékambo, pour lequel la nuance "australe" s'annonce déjà.

Progressant en direction du sud-ouest, l'observateur voit se rapprocher les maxima, en importance et dans le temps, alors que la saison sèche australe (juillet-août) s'affirme aux dépens de sa soeur boréale (janvier-février).

pluies exceptionnelles.

Dans le domaine des pluies exceptionnelles, les observations mettent en évidence l'importance de l'influence maritime : une fois en dix ans, le total journalier dépasse 200mm sur la côte et seulement 120 à 150 mm à l'intérieur. L'averse décennale en dix minutes est évaluée à 33 mm dans la région de Libreville.

1.1.2. Evapotranspiration potentielle (E.T.P.) d'une pelouse standard.

Cette variable climatique mérite une place à part justifiée par son rôle dans les modèles utilisés en hydrologie pour approcher la valeur des déficits d'écoulements régionaux.

La consommation en eau d'une pelouse irriguée à volonté, ou ETP, a été calculée, mois par mois, pour quatre stations situées aux latitudes et longitudes extrêmes du pays. La formule utilisée est celle de Penman adaptée à l'aide des mesures effectuées à Libreville dans le domaine du rayonnement global et de l'évapotranspiration sur bac à paspalum.

Les résultats, replacés dans le contexte centrafricain, apparaissent cohérents avec les valeurs mesurées ou calculées par Riou en République Populaire du Congo : 1071 mm à Brazzaville, 1088 mm à Ouessou, 1108 mm à Pointe-Noire, 1134 mm à Impfondo. La relative faiblesse de l'ETP apparaît cependant sur la zone précôtière. Les mesures de Riou soulignent la modeste variabilité interannuelle de l'ETP/an.

ETP/an :	Bitam 924 mm	Franceville	980 mm
	Libreville 1072 mm	Tchibanga	989 mm

1.1.3. Zones climatiques

La nuance nord-sud correspondant aux sens de déplacement de la ZIC se conjugue donc au Gabon à un face à face littoral - continent fortement exprimé à partir du littoral sud-ouest et répercuté par les lignes de relief.

Caroff, Y et Rydalevsky, G ont caractérisé les différentes zones climatiques. Le critère de classement est la durée de la saison sèche de l'hiver austral : cette dernière est à l'origine des variations de l'évapotranspiration réelle liée au déficit d'écoulement.

En conclusion, chaud (24 à 26° C) sans gros écarts thermiques diurnes et très pluvieux, le climat gabonais trouve place dans les classifications en usage comme climat équatorial pur ou équatorial de transition australe, sous influence maritime. Dans la suite on précisera néanmoins le degré de transition : on parlera de transition à nuance australe quand la "sècheresse" de l'hiver austral, l'emportant sur l'autre, dure de deux à trois mois; la transition est à dominance australe, quand la "sècheresse" de l'hiver austral dure plus de trois mois.

Le domaine du climat équatorial pur est limité aux plateaux du Ntem-Ivindo.

Le domaine du climat équatorial de transition à dominance australe couvre la moitié sud-ouest du territoire à l'exception de la région de l'Estuaire et des Monts de Cristal mais y compris les vallées abritées du Moyen-Ogooué, celle de la Ngounié et de l'Offoué supérieur et le bassin de l'Ogooué au sud de Franceville.

Le climat équatorial de transition à nuance australe intéresse le complément des deux espaces précédents.

A l'intérieur de ces trois grands ensembles climatiques, l'influence maritime, de très forte à faible, s'exerce sur des paysages variés : plateaux et reliefs d'altitude, versants "au vent" et "sous le vent", plaine littorale, composent des variantes où intervient parfois la végétation (savanes batékées, de Mouila, de Tchibanga).

Tableau.1... Valeurs moyennes des variables climatiques régionales

T = température moyenne annuelle

a = amplitude thermique maximale suivant les valeurs mensuelles

Max 1, Max 2 : Mois en ordre d'abondance

un mois "sec" reçoit moins de 2% de P/an

Zone	Sècheresse: australe (mois)	Température		Pluviométrie P			Bassins versants
		T (d°)	a (d°)	P/an (mm)	Max 1	Max 2	
I	4 à 5	25	5	2.000	Nov.	Fév.	Plaine littorale de Mayumba.
II	4	26	4 à 4,5	1.500	Nov.	Mars	Douli, Mouvenga, grande Moukalaba Rembo Nkomi.
				2.000	Nov.	Mars.Av	
III	3 à 4	26	3,5 à 4	2.000	Oct.Nov	Mars.Av	Ngounié, Offoué et Ogooué supé- rieurs.
				2.250			
				1.500	Oct.Nov	Mars.Av	
IV	3	24 à 25	3	2.000			Leyou, Lebiyou, Lekoni.
				1.750	Oct.Nov	Mars.Av	
V	3	26	3	2.250	Oct.Nov	Avril	Komo, Noya.
VI	2 à 3	24	3	1.750	Oct.	Avril	Okano supérieur, Mvoug, Mounianze
VI	2	24	2 à 3	1.850	Octobre	Mai	Ivindo supérieur Ntem.
				1.650			

Tableau .2. la pluviométrie interannuelle et sa variation spatio-temporelle (période 53 - 74).

STATION	années	moyenne (mm)	écart type (mm)	C _v	Minimum (mm)	année
COCOBEACH	22	3335	490	0,15	2456	1974
LIBREVILLE AERO.	22	2941	424	0,14	2224	1972
MOUILA	22	2165	395	0,18	1468	1958
DJAMBALA	22	2110	294	0,14	1677	1958
MAYUMBA	22	1849	673	0,36	746	1958
FRANCEVILLE	18	1815	277	0,15	1192	1956
BITAM	22	1721	232	0,13	1174	1961
SOUANKE	22	1690	213	0,13	1355	1953
MITZIC	22	1630	335	0,21	782	1969
MEKAMBO	22	1570	317	0,20	783	1965

.../...

TCHIBANGA	22	1405	282	0,20	700	1958
POINTE-NOIRE	22	1223	460	0,38	299	1958

1.2. PAYSAGES - SOLS - RESEAUX HYDROGRAPHIQUES -

Les principales unités présentant une probable homogénéité du point de vue de la dynamique de l'eau ont été cartographiées à l'aide des planches spécialisées, notamment Pédologie.

La première définition est fournie par la carte des formations végétales réduites à trois éléments. Le principal, la forêt, intègre les jachères dont l'influence sur les modalités de l'écoulement rejoint très vite celui de l'environnement forestier équatorial humide.

La perméabilité, estimée d'après la nature du substratum et son évolution, fournit la deuxième définition cartographique. La géomorphologie prête son vocabulaire, précisant le paramètre topographique du drainage en général, tant interne qu'externe.

L'omniprésence du couvert forestier sur la plus grande partie du pays malgré une évolution dans sa composition floristique, participe activement à l'uniformisation des régimes hydriques : il ralentit le ruissellement superficiel en période de crue d'une part, augmente les réserves en eau des sols d'autre part. Inversement, dans les quelques savanes du Gabon, la dynamique de l'eau connaît ses situations extrêmes, fortement liées au complexe physique du bassin versant : sables et grès des plateaux batékés, pélites du Francevillien.

La contribution des sols à la régularisation de l'écoulement, négligeable sur les marnes et argilites de la plaine littorale, devient exemplaire sur les sables et grès batékés : une nappe puissante et généralisée, alimentée à travers un sol peu favorable aux reprises évapotranspiratoires, nourrit abondamment des sources de type "dépression". Les vastes affleurements (50 %) du vieux socle granito gneissique présentent eux aussi ce même type de source, mais les qualités hydrodynamiques des épais couches d'altérites apparaissent moins favorables. Ces qualités, variables, peuvent être mises en regard avec le degré de rajeunissement respectif de ces vieilles surfaces originellement pénéplanées et largement cuirassées. La morphologie des surfaces séniles de l'Ivindo-Ntem n'assure plus l'exportation des fractions fines du transport solide au-delà de petits bassins à flats marécageux. À ce stade, l'isotropie de l'épais manteau d'altérites apparaît compromise.

Le rajeunissement tectonique, imposé au socle à partir de ses limites occidentales, privilègue l'exportation des éléments fins et le démantèlement partiel des cuirasses; l'infiltration plus aisée est suivie d'une restitution également favorisée par une meilleure attraction piézométrique. Les fractures du socle augmentent par ailleurs les réserves souterraines (bassin de l'Ikoy) qui, par contre, diminuent avec l'épaisseur du sol sur les versants trop pentus (Monts de Cristal). Cependant, les schistes des monts de Ndjolé et Bamba ne paraissent guère plus favorables à l'économie de réserves importantes que certaines formations sédimentaires à niveaux de marnes, argilites, schistes ou pélites (étages FIbcd, FIIBC, FIIde du Francevillien, NO1 de la Noya, PIA, SCIBA de la Nyanga, séries côtières de Cocobeach, Mvone, l'Agoula). Meilleure, la capacité d'infiltration des sols sur les jaspes et les importantes formations grès-argileuses (étages FIA, FIIC du Francevillien, NO2 de la Noya, PIB de la Nyanga) semble se situer néanmoins à une valeur très sensiblement inférieure à celle des altérites du socle granito-gneissique voisin. Les grès de Ndombo et de Gamba paraissent, eux, plus favorables, alors que la circulation hydrique dans les séries calcaires et dolomitiques de Madiela et de la Nyanga ira de faible à très élevée (karst, fissures).

Les phénomènes remarquables de dégradation : intéressent l'embouchure de l'Ogooué (Région des Lacs), et l'Ivindo supérieur (forêt inondées). D'après la documentation cartographique, la morphologie de certains réseaux hydrographiques superficiels sur plaine schisto-calcaire du sud-ouest évoque les modèles d'écoulements semi-endoréiques à réservoirs.

1.3. CONCLUSIONS

Variations climatiques et diversité des paysages se conjuguent donc pour engendrer nombre de régimes originaux soit par le niveau des valeurs caractéristiques (modules, crues, étiages annuels), soit par la **répartition** moyenne de l'écoulement au cours de l'année. Ainsi devrait-on probablement définir au moins une douzaine de "régions hydrologiques", pour rendre compte des différences rencontrées sur les seuls bassins versants du socle d'importance moyenne. Mais l'état des observations, inexistantes dans le cas de la pluviométrie sur bassin, rend prématurée pour l'instant une définition géographique trop stricte des régions hydrologiques "homogènes".

II. LE REGIME DES ECOULEMENTS ANNUELS

Pour une échelle de superficie et un climat donnés, le déficit d'écoulement interannuel, faiblement variable avec les autres facteurs phytogéographiques, apparaît le meilleur argument de définition des régimes hydrologiques à l'intérieur des trois domaines climatiques reconnus plus haut (I.2.)

II.1. Variation climatique du déficit hydrique moyen d'une pelouse standard.

L'aptitude climatique à satisfaire le besoin optimum mensuel (EFP) d'une pelouse disposant de 100 mm de réserve hydrique facilement utilisable (R.F.U) diminue de la zone équatoriale pure au domaine de transition à dominance australe. Amors que les besoins en eau sont de 70 à 85 mm/mois, l'aridité de la saison sèche de l'hiver austral permet de moins en moins leur satisfaction.

STATION:	DEFICIT HYDRIQUE (mm) RFU = 100 mm											
	Jr	F	Ms	Al	Mi	Jn	Jt	At	S	O	D	année
BITAM (599 m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FVILLE (426m)	0	0	0	0	0	0	10	69	0	0	0	79
TCHIGA (79 m)	0	0	0	0	0	0	37	78	76	0	0	191

L'ordre de grandeur calculé et le sens de la variation "climatique" du déficit d'écoulement est donc de moins 200 mm, du nord-est au sud-ouest.

II.2. Les écoulements annuels observés tableau...3.

L'écoulement annuel est mesuré par année hydrologique (septembre à août), avec une précision meilleure que 5%. Les moyennes interannuelles retenues par station intéressent au moins dix ans consécutifs de la période postérieure à août 1953 : d'après un contrôle, portant sur l'intervalle septembre 1953-août 1973, l'amplitude de variation relative des "moyennes mobiles de 10 ans consécutifs" autour de la moyenne sur 20 ans est alors inférieure à 10% pour les bassins les plus touchés par l'irrégularité de la pluviométrie. (Ivindo, Ntem, Nyanga).

Tableau. 3. Module interannuels aux stations hydrométriques
 la référence est l'année hydrologique
 L = lacunes sur la série chronologique utilisée
 4580* = moyenne à Lambarené sur la période 53 - 74.

RIVIERE	STATION	BASSIN (Km2)	OBSERVATIONS	MOYENNE (m3/s)	ECART type (m3/s)	MINIMUM (m3/s)	ANNÉE
gooué	Franceville	8.670	1953 21	256	38	179	57/58
	Lastourville	47.700	1957 L 12	1280	(199)	928	57/58
	Booué	203.000	1954 L 18	2730	422	2070	58/59
	Ndjolé	158.000	1965 10	3070	(345)	2460	73/74
	Lambarené	203.000	1929 L 42	4670	700	3410	58/59
				4580*			
Ivindo	Belinga	27.000	1961 L 12	397	(101)	201	73/74
	Makokou	35.000	1954 L 19	615	137	397	58/59
Ntem	Ebomane	3.400	1961 L 13	53,9	(9,3)	41,9	72/73
	Ngoazik	18.100	1953 18	290	53,5	180	58/59
Mvoung	Ovan	8.900	1961 14	152	(22,2)	115	73/74
Mbei	Andok-Eoula	1.700	1959 L 12	63,4	(5,4)	55,2	66/67
Mpassa	Franceville	6.400	1960 12	248	(26,0)	219	66/67
Lebiyou	Ndjakonamoye	2.300	1961 L 12	60,8	(9,9)	42,5	73/74
Louetsie	Bongolo	2.700	1966 11	106	(11,4)	92,1	71/72
Ngounié	Lebamba	7.200	1962 11	241	(28,6)	190	71/72
	Fougamou	22.000	1953 21	725	120	535	57/58
	Salanie	32.500	1960 14	1100	(158)	850	63/64
Nyanga	Donguila	5.800	1954 21	217	29,2	151	57/58
(Oct. Sept)	Tchibanga	12.400	1953 L 20	334	65,1	201	57/58

Tableau.4.. Estimation provisoire des valeurs du déficit d'écoulement

(mm) au Gabon pour un bassin de 1000 Km² en fonction de la contribution du sol et de la végétation à la régularisation de l'écoulement.

Climat	CONTRIBUTION DU SOL					Forêt
	savane
(saison sèche australe)	médiocre	faible	moyenne	bonne	très bonne	non différenciée
	plateaux	séniles				
Equatorial pur (2 mois)	Ivindo 1.150	Ntem 1.100				1.100
Equatorial, transition à nuance australe (2 à 3 mois)	Francevillien marnes 1.100	Ptx Mvoug (900)	M. Cristal Chaillu 1.000	grès Ndombo 950	(800) sables batékés	1.000
Equatorial, transition à dominance australe (3 à 4 mois)		Ikoundou 950	Chaillu mayombe 900		(750) sables batékés	900

L'accroissement du module interannuel M, observé sur les bassins versants forestiers du socle, apparaît en moyenne proportionnel à la puissance C,94 de la superficie.

$$M = A S^{0.94}$$

A = coefficient régional

S = 1000 à 5000 Km²

La même loi fournira provisoirement une estimation convenable des modules dans le cas de bassins appartenant à des unités géologiques différentes de la précédente, à l'exception des plaines schisto-calcaires.

La prépondérance du climat est ici plus sérieusement mise en cause que dans le domaine de l'apport moyen : la morphologie à réservoirs du réseau hydrographique sur schisto calcaire fait peser lourdement le poids de l'évapotranspiration en années très déficitaires. Dans la région batékée la variation ($C_v = 0,08$) prend un caractère encore plus spécifique avec un effet opposé.

A l'échelle des grands bassins, l'irrégularité ($C_v = 0,15$) de l'Ogoué à Lambarené est comparable à celle de la Sanaga à Edéa ($C_v = 0,14$) observée sur 26 ans, pour 131.000 Km².

Le coefficient d'écoulement moyen d'un bassin de 1000 Km², fonction décroissante de D/P, s'établit à une valeur proche de 30% au nord-est et sans doute dans la plaine abritée de la Nyanga. Le maximum, 60%, est enregistrée dans la région batékée et probablement sur les versants très rajeunis et arrosés du socle.

III. LA MODULATION DE L'ÉCOULEMENT.

III. La répartition mensuelle.

Au détriment des descriptions stationnelles mais pour privilégier la comparaison inter-régionale de la modulation des écoulements, ceux-ci, après réduction à leur moyenne locale pour un bassin standard de 1000 Km², sont répartis planeche II. suivant les coefficients mensuels observés sur le bassin représentatif de 2 à 3000 Km² de superficie. Le bassin de la Nzémé, exigü et composite (1/3 Ndombo, 2/3 marnes), illustre seul l'écoulement en plaine littorale.

L'échantillonnage est étendu par le recours (Ikoy, Douli, Moukalaba) aux différences stationnelles ou à l'aide (Ndjoumou inférieure, Lébiri) des stations non représentatives à deux composantes dont l'une de régime batékée. La précision sur les faibles valeurs mensuelles devient hypothétique et l'esquisse présentée décrit plutôt l'aptitude au ruissellement.

Les débits ont été exprimés en mm par mois de 30 jours pour faciliter la comparaison avec la pluviométrie et leur rapport à la moyenne annuelle illustre les coefficients mensuels de débits.

Du nord-est au sud-ouest, le gradient climatique rapproche les maxima dans le temps et en importance alors que les plus basses eaux sont en hiver austral dès les plateaux de l'Okano-Mvoug.

La contribution physique des bassins à la régularité de l'écoulement apparaît très diversifiée et l'on opposera les savanes sur Francevillien de la Ndjoumou inférieure (coefficients mensuels de 2 à près de 0) à ses voisines batékées (coefficient mensuels de 1,07 à 0,9). Dans le sud de la Nyanga, la morphologie de la plaine karstique à réservoirs colmatés ajoute probablement au "gommage" du premier maximum au bénéfice du second. Sur le socle précambrien la participation du sol, négligeable sur les plateaux de l'extrême nord-est s'affirme avec le rajeunissement.

À l'intérieur du découpage mensuel, l'irrégularité régionale est en rapport avec ce qui a été dit pour l'écoulement annuel. Le maximum de régularité est obtenu entre les deux pointes de crue, en janvier - février, où la variation vaut seulement 0,11 0,12 0,16 0,24 respectivement pour la Louetsié, la Mbei, la Lébiyou, le Ntem. Durant les mois de transition précédant une saison des pluies l'irrégularité est au moins double et atteint même 0,80 sur le Ntem en mars. Pour la région batékée les valeurs 0,10 et 0,14 sont des extrêmes.

III.2. Les maxima annuels.

C'est seulement dans le domaine climatique à dominance australe que les chances d'obtenir la crue annuelle sur la deuxième saison des pluies égales et dépassent la probabilité d'un maximum en octobre novembre. Le rapport des chances est seulement de 3/10 sur le Ntem, de 4/10 sur la Mvoug, de 1/10 sur la Mbei, de 3/10 sur la Lébiyou, 5/10 sur la Louetsié, 8/10 sur la Ndjoumou.

Le coefficient régional d'atténuation des crues médianes avec la superficie voisine 0,86, (S = 1000 à 5.000 Km²) en réseau non dégradé de bassin forestier de forme moyenne.

La puissance de la crue médiane pour un bassin de 1000 Km² varie de un à quatre suivant l'unité régionale considérée. Dans l'ordre croissant et notant la variation entre parenthèses :

50 à 55 m³/s Leconi (0,12?) et savanes batékées

55 à 65 m³/s Ntem (0,30) plateaux cristallins du nord-est,
plaine schisto-calcaire ?

95 à 105 m ³ /s	Lebiyou (0,13) versant nord-oriental du Chaillu,
110? m ³ /s	Lebiri (0,20?) Francevillien, dont la moitié en grès de base (F1a), de la région forestière d'Okondja
120 à 140 m ³ /s	Louetsié (0,13) versant sud occidental du Chaillu
170 à 190 m ³ /s	Mbei (0,10) versant des monts de Cristal et pénéplaine de Medouneu pour partie.
190 à 210 m ³ /s	Ndjoumou inférieure (0,30) savanes mixtes sur Francevillien des séries gréseuses fines, pélitiques, ampélitiques.
220 m ³ /s?	Schisto-gréseux de l'Ikoundou (0,40?)

Pour les surfaces de petite dimension, les caractéristiques propres de chaque bassin seront déterminantes et le débit de pointe est lié à l'épisode pluvieux exceptionnel local d'une certaine durée correspondant au temps d'évacuation de la crue par le bassin. Des articles spécialisés ont traité de ce problème en zone forestière. Les valeurs ci-dessus n'indiquent alors qu'un classement relatif de l'ardeur des crues régionales. Des mesures effectuées sur les versants des Monts de Cristal laissent prévoir pour la crue annuelle d'un bassin de 10 Km² une pointe instantanée de 100 m³/s. En plaine et terrain imperméable la pointe serait dix fois plus faible. La forme et la capacité hydraulique du réseau hydrographique et des thalwegs élémentaires interviennent de façon décisive.

III.3. Les minima annuels.

Seul le domaine équatorial pur des surfaces séniles du nord-est répartit également les étiages absolus entre les hivers austral et boréal. Dès les plateaux de l'Okano-Mvoug, l'étiage austral est la règle : 10/10 pour la Mvoug et 9/10 pour l'Ivindo à Makokou.

Dans la région batékée l'étiage régional varie à peu près, comme le module, selon la puissance 0,94 de la superficie. Pour la majeure partie du territoire gabonais, l'atténuation est sans doute plus forte (0,87?) pour traduire le bilan évapotranspiratoire des thalwegs plus nombreux.

Les comparaisons mettent en évidence l'importance de la contribution du sol au détriment de celle du climat : la région de Franceville connaît à la fois les étiages les plus élevés, sur les sables batékés, et, parmi les plus faibles, ceux des savanes sur pélites du Francevillien. Pour un bassin moyen de 1000 Km², en indiquant le coefficient de variation s'il y a lieu, l'étiage absolu médian vaut

30 à 35 m ³ /s	Leconi (0,10?) : savanes batékées
20 m ³ /s	(0,12?) : grès de Ndombo
15 à 20 m ³ /s?	Ikoy (0,15 ?) versant nord occidental du Chaillu
13 à 15 m ³ /s	Mbei (0,19) Louetsié (0,16) : Monts de Cristal, versant sud occidental du Chaillu
10 à 11 m ³ /s	Lebiyou (0,30) : versant nord-oriental du Chaillu
7 à 8 m ³ /s	Mvoug (0,36) : plateaux de l'Okano-Mvoug
	Lekori? Jaspés, grès du Francevillien inférieur (F ^{1a}) sous forêt d'Okondja?
5 m ³ /s?	Moukalaba ganzi : schisto-gréseux de l'Ikoundou
4 à 5 m ³ /s	Ntem (0,27) : plateaux séniles de l'Ivindo-Ntem
2 à 3 m ³ /s?	savanes sur schisto-calcaires de la Nyanga (réseaux superficiel et souterrain).
1 à 2 m ³ /s?	grès fins, pélites, ampélites francevilliennes sous forêt de la cuvette de Boué.

IV LES GRANDS FLEUVES GABONAIS (FIGURES I et II)

Au-delà de la dizaine de milliers de Km² les bassins ont perdu beaucoup de leur homogénéité et l'introduction d'un milieu physique "moyen" estompe les personnalités régionales. Les observations, dont Fig I celles de Lambarené, conduisent à retenir, entre les fréquences décennales, la distribution statistique gaussienne comme représentation simple des principales variables hydrologiques annuelles : apport, maximum, minimum. Moyenne arithmétique et coefficient de variation des séries observées définissent simplement les lois de répartition (Fig II). L'intérêt d'une représentation très légèrement dissymétrique est néanmoins prévisible pour les quantiles plus rares des débits extrêmes annuels, au nord-est et au sud-ouest du territoire.

Pour le bassin de l'Ivindo à Makokou (35 800 Km²), le climat, équatorial pur jusqu'à la confluence avec la Djoua, devient à nuance australe à l'aval. Le milieu physique appartient principalement aux plateaux séniles de l'Ivindo. Le bilan hydrologique moyen peu favorable entraîne une irrégularité assez élevée ($C_v = 0,22$). La modulation mensuelle fait ressortir le peu de contribution des sols à la régularisation de l'écoulement. La dégradation hydrographique, quant à elle, modère et lisse harmonieusement un hydrogramme à deux maxima : le premier, celui de novembre, est régulièrement supérieur au second de près de 40% en moyenne, mais il reste faible par rapport à l'importance du bassin. La nuance australe impose déjà sa loi dans la distribution d'étiages, en août, très modestes et irréguliers malgré la brièveté de la saison sèche.

Sur le bassin versant de l'Ogoué à Franceville (8 670 Km²), l'influence climatique est à dominance australe. Deux unités physiques se partagent principalement le bassin : 20% appartiennent aux formations batékées, 77% au socle du Chaillu. Le bilan hydrologique moyen, particulièrement favorable sur les sables batékés (déficit 750 mm), entraîne une bonne régularité de l'apport interannuel. La modulation mensuelle de l'écoulement remarquablement régulière, souligne la part de la crue de mars à mai au détriment de celle de novembre et l'importance de la contribution du sol à la régularisation des débits. L'hydrogramme maximum annuel est situé sept fois sur dix entre mars et mai; il compose la crue du sous-bassin du "Chaillu" avec un débit de base émanant des plateaux batékés. Celui-ci joue un rôle décisif dans le soutien d'étiages qu'il régularise et alimente pour près de 50%, au mois de septembre. Les débits sont alors comparables aux minima du bassin quatre fois plus vaste de l'Ivindo à Makokou.

Sur le bassin de la Ngounié à Fougamou (22 000 Km²), l'effet du gradient climatique moyen, accusé par les influences orographiques, oppose la plaine schisto-calcaire de Ndendé à pluviométrie faible et irrégulière, aux versants rajeunis et très arrosés du Chaillu où la dominance australe est moins établie. Les données physiques contribuent à renforcer l'originalité de ces deux unités. Le bilan hydrologique très avantageux sur la majeure partie du bassin est cependant marqué par l'irrégularité australe, orchestrée depuis la plaine de Ndendé. La modulation mensuelle donne la prépondérance aux apports de décembre, le deuxième maximum, en avril, étant un peu inférieur. Le maximum journalier annuel, sept fois sur dix en novembre-décembre, est très lié aux caractéristiques du versant du Chaillu. Il en est de même, en septembre, des étiages absolus pour lesquels une contribution substantielle de la plaine schisto-calcaire est hypothétique.

Pour l'Ogooué à Lambarené, à l'exutoire d'un bassin versant de 203 000 Km² composé de surfaces anciennes à relief modéré en majorité sous forêt, la régularité de la modulation mensuelle de type équatorial se voit affermi par l'extension en latitude du bassin et la contribution active de certaines unités régionales. Le plateau de l'Ivindo exporte les premières ondes de crue dès septembre. La durée du maximum de novembre est étendue sur décembre par la participation plus tardive des fractions australes du bassin qui assurent ensuite le soutien des basses eaux de petite saison sèche et du maximum secondaire d'avril-mai. Ce sont encore des bassins à longue saison sèche australe mais disposant de réserves souterraines (pays batéké, versants du Chaillu) qui fournirent le quota le plus important des débits d'étiage début septembre. Une fois sur trois environ, le maximum annuel appartient à la période avril-mai.

Dans la vallée de la Nyanga au sud de Tchibanga s'opposent, comme pour la Ngounié, un versant forestier arrosé et une savane abritée sur plaine schisto-calcaire de grande extension moins favorisée par l'abondance et la régularité des précipitations. Entre la frontière congolaise et Tchibanga, la Nyanga a perdu beaucoup de sa régularité et de sa puissance spécifique; alors que la superficie est plus que doublée, le module augmente de 30% seulement et le coefficient de variation passe de 0,13 à 0,19. De novembre à mai, la modulation mensuelle fait apparaître une période de hautes eaux à peine affectée par la petite saison sèche. Six fois sur dix le maximum annuel est en mars,

avril ou mai. Les étiages sont fin septembre. Les extrêmes restent liés au régime abondant du cours supérieur de la Nyanga qui prend sa source sur les versants du Chaillu.

V CONCLUSIONS.

"Equatoriales" par leur situation géographique, les rivières gabonaises se sont appliquées, tout au long de cet exposé, à démentir la réputation "d'égalité" d'humeur prêtée, souvent à tort, aux cours d'eau de cette partie du globe. En effet, parfois approché, le modèle climatique équatorial ne se trouve nulle part pleinement réalisé au Gabon : le régime des précipitations comporte partout des variations saisonnières prononcées avec un embryon de saison sèche ou une double rémission annuelle de la pluviométrie, s'inscrivant alors dans la modulation des écoulements malgré le manteau forestier. Les rivières issues des formations sédimentaires batékées, à régularisation pluriannuelle, constitueront à cet égard une exception régionale remarquable qui a attiré l'attention des ingénieurs d'aménagement (usine hydroélectrique de Petit Poubara).

Symbole utilisé :

le coefficient de variation (noté C_v) est le rapport de l'écart-type d'un échantillon de nombres à la moyenne de ces nombres.

BIBLIOGRAPHIE.

Anonyme. Annuaire hydrologiques de la République Gabonaise. ORSTOM
Libreville.

Caroff, Y et Rydalevsky, G Zones climatiques du Gabon
Asecna n° 34, Dakar 1970.

Henry, J.C. Note sur l'hydrométéorologie et les eaux de surface. UNESCO
SCHYD 76. 177. Paris 1976

Lerique, J. Etude hydrologique de bassins-versants dans la région de Mala.
ORSTOM Service hydrologique Paris 1965

Lerique, J , Tourné, M. Etude pluviométrique du bassin-versant de la Nzémé,
ORSTOM Libreville 1972.

Martin, D. planche Pédologie, in Atlas du Gabon

Perrusset, A.C. le climat du Gabon. 1978. Communication personnelle

Riou, C. Etude de l'évaporation en Afrique Centrale.

Contribution à la connaissance des climats. Thèse de doctorat-es-sciences, ORSTOM, Paris 1972.

Rodier, J.A. Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo
ORSTOM 1964

Rodier, J.A. Estimation des débits de crue décennales pour les petits bassins forestiers en Afrique tropicale. Etude préliminaire.- Cahiers ORSTOM, série hydrologie Vol XIII n° 4 1976.

Saint-Vil, J. Les climats du Gabon

Annales de l'Université Nationale du Gabon, série Lettres et Sciences Sociales n° 1. Décembre 1977.

Tableau. 5. Fleuves et Rivières du Gabon.
Facteurs Physiques de L'écoulement
Définition des Unités Cartographiques (n° 0 à 27).

PAYSAGE	ROCHE MERE
<u>mangrove, marécages, papyrus, forêt inondée,</u>	
<u>steppes et savanes à galeries forestières.</u>	
1. Collines ondulées à pentes moyennes.	grès et sables batékés.
2. Collines ondulées, pentes moyennes à fortes.	id.
3. Plateaux et collines généralement convexes à pentes variables avec le matériau.	grès, pélites, ampélites, jaspes du Francevillien.
4. Collines érodées des bords de l'Ogooué.	micacées et gneiss.
5. Plaine karstique de Ndendé.	schisto calcaire de la Nyanga.
6. Plaine de la Nyanga.	id.
7. Plateaux (Bam Bam) et collines sableuses, cordons littoraux.	série des cirques et Madiela.
<u>Forêt.</u>	
8. Petits plateaux et collines convexes à larges flats.	socle.
9. Collines convexes à flats étroits, zones aplanies.	id.
10. Collines convexes étroites, fortes pentes.	id.
11. Massifs d'itabirite, hautes collines à fortes pentes.	id.
12. Hautes collines et vallées encaissées.	id.
13. Collines en demi orange de Ndjolé.	schistes.
14. Collines à très fortes pentes, crêtes montagneuses et pitons du Mayombe et du Chaillu.	socle.
15. Collines convexes à fortes pentes du Chaillu et du Mayombe.	id.
16. Hauts plateaux et collines disséquées.	id.
17. Plateaux (savanes) collines convexes subaplanies du Chaillu.	id.
18. Piedmont oriental de l'Ikoundou.	schisto calcaire de la Nyanga.
19. Plaine de la Nyanga.	id.
20. Plateaux et collines sur grès et argilites.	série de la Bouenza.
21. Plateaux, gréseux (savanes) et chainons.	schisto-gréseux de l'Ikoundou.
22. Plateaux, collines généralement convexes à pentes variables avec le matériau.	jaspes, grès du Francevillien.
23. Collines en demi orange sur pélites et ampélites.	Francevillien.
24. Plateaux, chainons de collines sableuses.	série de Ndombo et Madiela.
25. Surface ondulée à très ondulée sur matériaux argileux.	marnes, argilites de Mvone, de Cocbeach.
26. Surface aplanie sur matériaux sableux à sablo-argileux.	sédimentaire côtier.
27. Surface ondulée sur matériaux argileux à argilo-sableux.	sédimentaire côtier.

Tableau...6. Fleuves et rivières du Gabon

Moyenne des Maximum, module, minimum annuels.

Rivières	Stations	Max (m ³ /s)	Mod (m ³ /s)	Min (m ³ /s)
Ntem	Ebomane	190	54	12
	Ngoazik. (bac de.)	800	290	61
Nyanga	Donguila	640	220	58
	Tchibanga	880	330	72
Ngounié	Lebamba	680	240	58
	Fougamou	1800	720	160
	Salanié	2400	1100	420
Ogooué	Franceville	520	260	120
	Bastourville	2700	1300	650
	Booué	5700	2700	980
	Ndjolé	6400	3100	1200
	Lambarené	9400	4700	1600
M'passa	Franceville	640	250	150
Lebiyou	Ndjakonamoye	200	61	21
Mvoung	Ovan	390	150	44
Louetsié	Bongolo	270	110	29
Ivindo	Belinga	1100	400	100
	Makokou	(1600)	(610)	(120)
Komo	Andok Foula	260	63	23

Fig. I L'Ogooué à Lambaréné. Distribution fréquentielle expérimentale en diagramme gaussien des maxima (\cdot), des étiages absolus ($+$), des modules (x) annuels et droites normales d'ajustement.

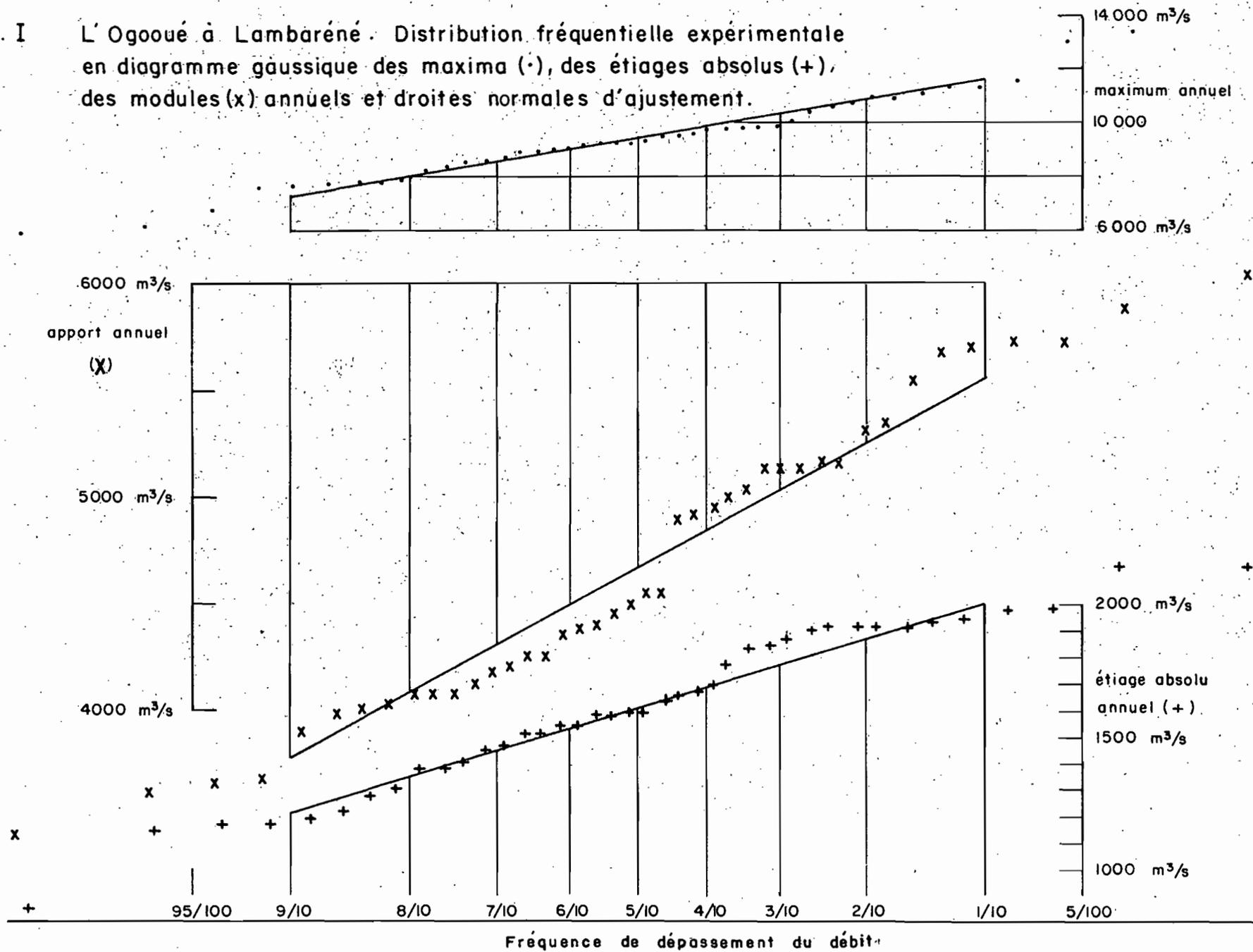


Fig. II Les grands fleuves gabonais
Débits moyens et écart type de variation.

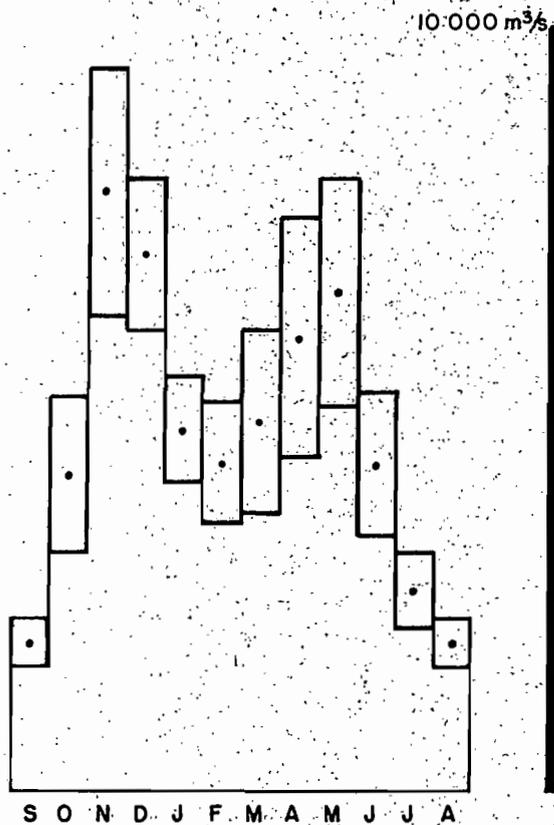
• moyenne mensuelle

□ écart type de variation

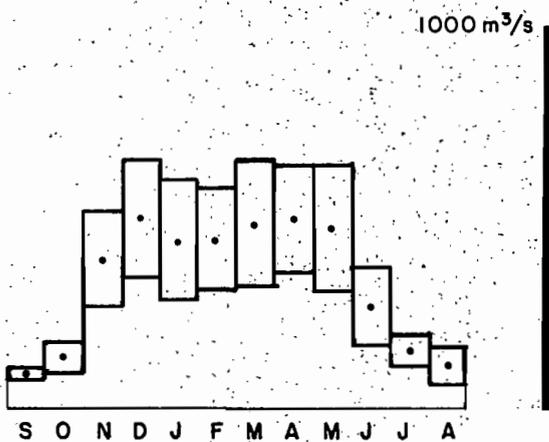
m (9/10) module dépassé neuf années sur dix.

c (1/10) crue dépassée une année sur dix.

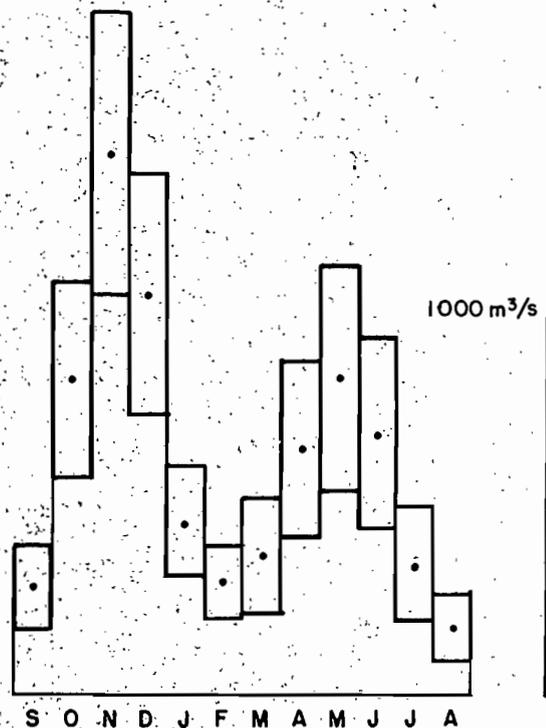
é (9/10) étiage dépassé neuf années sur dix.



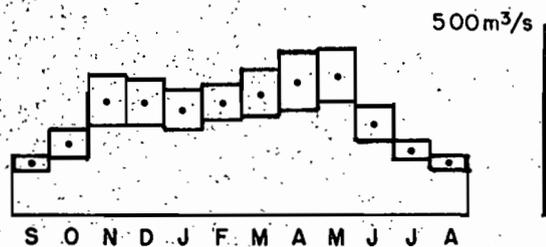
L'Ogooué à Lambaréné 205 500 km²
 module moyen 4670 m³/s Cv=0.15 m (9/10) = 3770 m³/s
 crue moyenne 9440 m³/s Cv=0.19 c (1/10) = 11600 m³/s
 étiage moyen 1610 m³/s Cv=0.19 é (9/10) = 1220 m³/s



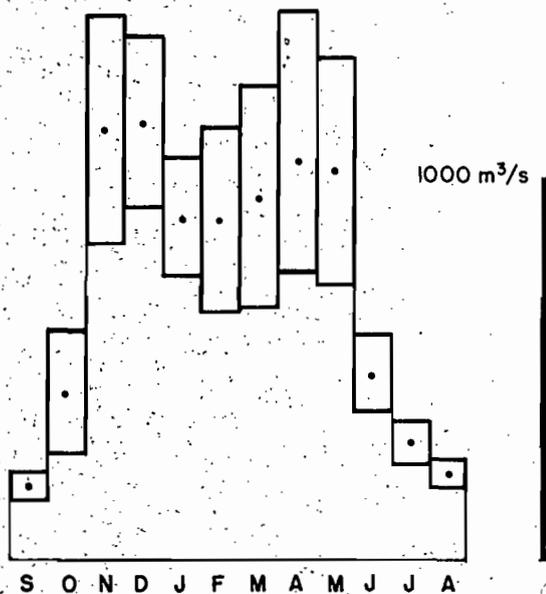
La Nyanga à Tchibanga 12400 km²
 module moyen 334 m³/s Cv=0.19 m (9/10) = 253 m³/s
 crue moyenne 885 m³/s Cv=0.22 c (1/10) = 1130 m³/s
 étiage moyen 72 m³/s Cv=0.21 é (9/10) = 53 m³/s



L'Ivindo à Makokou 35 800 km²
 module moyen 615 m³/s Cv=0.22 m (9/10) = 442 m³/s
 crue moyenne 1630 m³/s Cv=0.20 c (1/10) = 2050 m³/s
 étiage moyen 122 m³/s Cv=0.56 é (9/10) = 35 m³/s



L'Ogooué à Franceville 8670 km²
 module moyen 256 m³/s Cv=0.15 m (9/10) = 207 m³/s
 crue moyenne 520 m³/s Cv=0.15 c (1/10) = 620 m³/s
 étiage moyen 122 m³/s Cv=0.15 é (9/10) = 99 m³/s



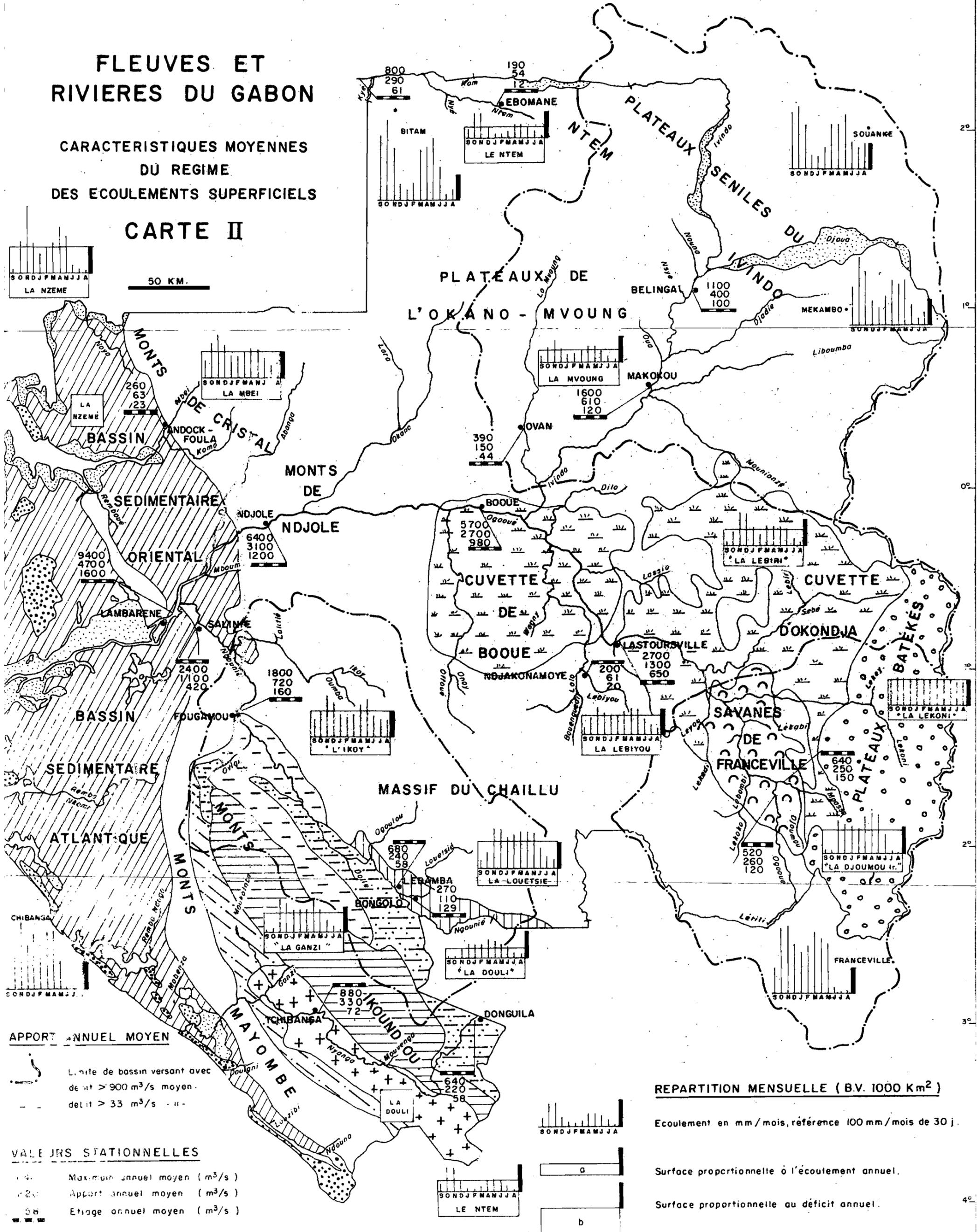
La Ngounié à Fougamou 22 000 km²
 module moyen 725 m³/s Cv=0.17 m (9/10) = 567 m³/s
 crue moyenne 1800 m³/s Cv=0.23 c (1/10) = 2330 m³/s
 étiage moyen 157 m³/s Cv=0.17 é (9/10) = 123 m³/s

FLEUVES ET RIVIERES DU GABON

CARACTERISTIQUES MOYENNES
DU REGIME
DES ECOULEMENTS SUPERFICIELS

CARTE II

50 KM.



Le Ntem. D'après observations
"La Douli" D'après interprétation

SERHYDRO
CENTRE DE GROS-BOUQUET
B. P. 13001 LIBREVILLE