MINISTÈRE DE LA FRANCE
D'OUTRE-MER

Mission Logone Tchad

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DE LA HAUTE-BÉNOUÉ

par

M. Yves BRESSON
Ingenieur au Service des Etudes d'Outre-Mer
d'Electricité de France

M. André BOUCHARDEAU
Chargé de Recherches à l'Office de la Recherche
Scientifique Outre-Mer

M. Jean RODIER
Ingénieur en Chef au Service des Etudes d'Outre-Mer
d'E.D.F. Chargé de la direction des Etudes hydrologiques de l'O.R.S.O.M.

Mise à jour : DÉCEMBRE 1953

MINISTERE DE LA FRANCE
D'OUTRE-MER

Mission Logone-Tchad

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE

DE LA

H A U T E - B E N O U E

-----oOo-----

par

M. Yves BRESSON
Ingénieur au Service
des Etudes d'Outre-Mer
d'Electricité de France

M. André BOUCHARDEAU
Chargé de Recherches à
l'Office de la Recherche
Scientifique Outre-Mer

M. Jean RODIER
Ingénieur en Chef au Service
des Etudes d'Outre-Mer d'E.D.F.
Chargé de la direction des Etudes
hydrologiques de l'O.R.S.O.M.

Mise à jour Décembre 1953

Cette monographie a été mise au point dans le cadre des études entreprises par la Mission Logone-Tchad en vue de l'amélioration des conditions de navigation sur la HAUTE-BENOUE.

-:-:-:-:-

B E N O U E

CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES PRINCIPALES

-=-

Station principale de GAROUA (bassin versant : 64.000 km2)

Hauteur de précipitations moyenne annuelle : 1.089 mm.
Régime : mixte : tropical pur avec tendances subdésertiques.

Débit moyen annuel : 323 m3/sec.
V : volume annuel débité : $10,2 \times 10^9$ m3 environ

Débit C.E. ..... 0,6 m3/sec.
Débit de basses eaux, D.C 9 ..... 5,0 "
Débit de crue ..... 1.620 "
Débit de crue maximum observé .... 2.800 "
Débit de crue centenaire estimé .. 3.300 "

Vm : volume débité en année très sèche : $8,8 \times 10^9$ m3 environ
VM : volume débité en année humide : $13,6 \times 10^9$ m3 environ

Irrégularité interannuelle :

$\frac{VM}{V} = 1,27$ $\frac{Vm}{V} = 0,82$ $\frac{VM}{Vm} = 1,56$

Coefficient de ruissellement moyen : 15 %
Déficit d'écoulement moyen : 905 mm.

Stations secondaires

	BENOUE		MAYO-KEBI à FAMOU	FARO à SAFEI
	OUAK	RIAO		
Bassin versant km2	200	31.000	30.000	25.360
Hauteur précipit. moy. an. en mm.	1.450	1.222	948	1.100
Débit moy. annuel en m3/sec.	6	227	86	300
Débit caractérist. d'étiage m3/s.	0,12	0,15	0,08	3,8
Débit de crue max. observé en m3/s.	160	1.492	562	1.608
Régime	Tropical + trop. de transition	Tropical pur	Tropical nord	Tropical + trop. de transition

S O M M A I R E

Chapitre I - LES FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

A) Traits principaux de géographie physique

a) situation
b) Structure et relief
c) Aperçu géologique
d) La couverture végétale
e) Le réseau hydrographique

B) Le climat

a) Equipement climatologique du bassin
b) Généralités
c) Les températures
d) L'humidité relative
e) L'évaporation
f) La pluviométrie

1- Précipitations totales annuelles
2- Les variations saisonnières
3- Comment s'effectuent les précipitations
4- Précipitations exceptionnelles
5- L'irrégularité interannuelle

Chapitre II - LES DEBITS

I) Equipement du bassin; observations limnimétriques

a) Bassin de la HAUTE-BENOUE
b) Bassin du MAYO-KEBI
c) Bassin de la moyenne BENOUE
d) Bassin du FARO

II) Stations de jaugeages; étalonnage des échelles

a) Station de OUAK
b) " de RIAO
c) " de GAROUA
d) " de FAMOU

e) Station de SAFEI
f) Exécution des jaugeages
g) Vérifications

III) Le régime des débits dans l'ensemble du bassin versant

IV) Le régime de la HAUTE-BENOUE à l'amont de RIAO

V) Le régime du MAYO-KEBI

a) Régime des affluents
b) Capture du LOGONE
c) MAYO-KEBI à FAMOU

VI) Le régime de la BENOUE à GAROUA

a) Caractères du régime
b) Différences entre débits composants à RIAO et FAMOU et débits résultants à GAROUA
c) Irrégularité interannuelle

VII) Régime du FARO à SAFEI

VIII) Bilans d'écoulement

IX) Les étiages

a) Considérations générales
b) La prévision des débits d'étiage à GAROUA

X) Les crues

a) Crues simples
b) Ondes de crues complexes
c) Débits de crue observés dans le bassin
d) Crues à GAROUA

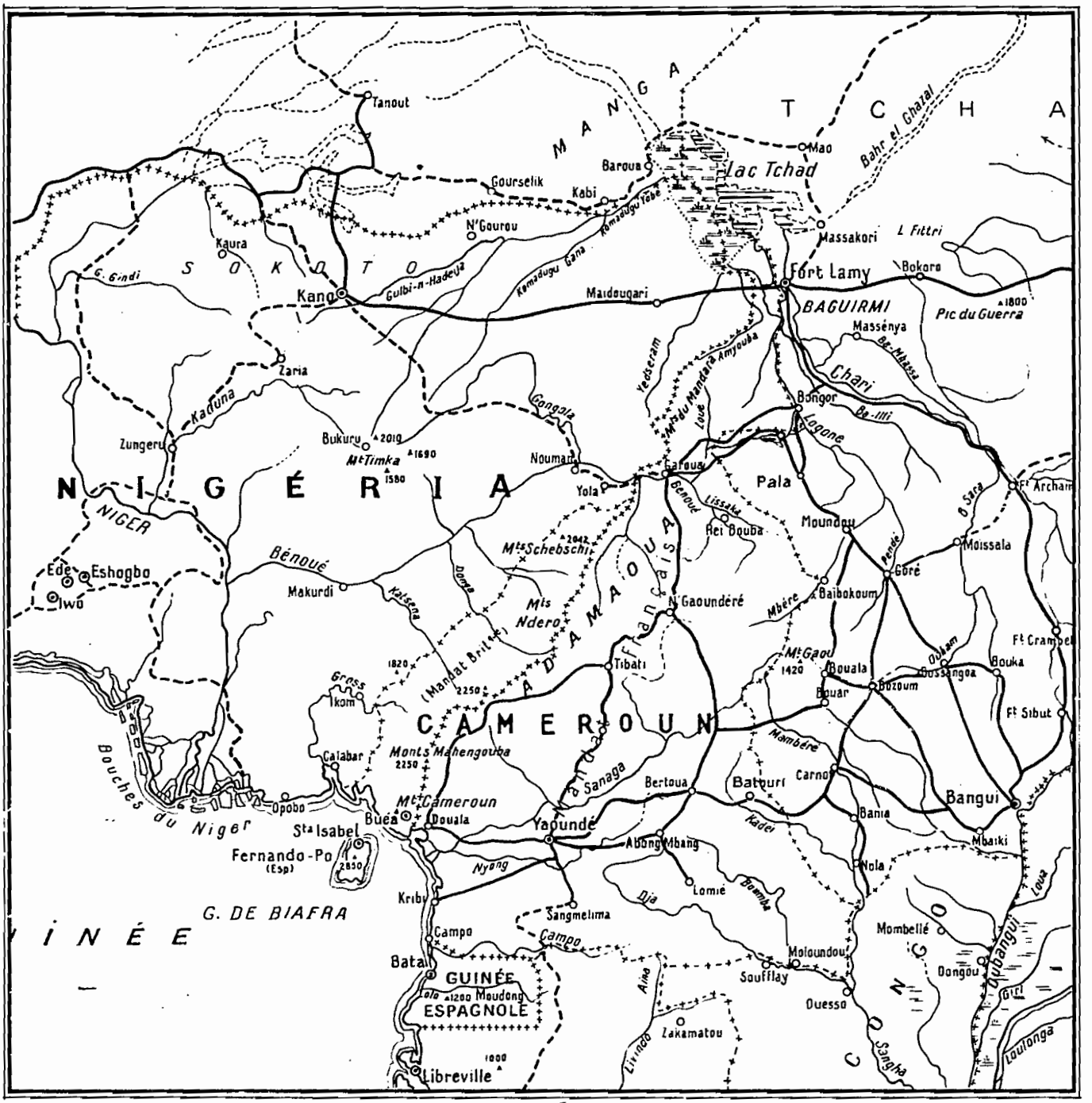
Chapitre III - AMENAGEMENT NATUREL DES LITS

I) La capture du LOGONE
II) Le profil en long du MAYO-KEBI
III) Le profil en long de la BENOUE
IV) Les transports solides

Chapitre IV - CONCLUSION : UTILISATION DES EAUX

A) Navigation
B) Agriculture

PLAN DE SITUATION



Echelle : 1/10.000.000

CARTE Nº 1

CAM 3994	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 16 - 5 - 53	DES: Fouilloux	VISA:	TUBE Nº:	B O

La BENOUE, principal affluent du NIGER, prend sa source dans le Massif de l'ADAMAOUA, au centre du CAMEROUN. La partie de son cours située en territoire sous tutelle française compte 330 km. de longueur et se limite à la frontière du NIGERIA, marquée par la confluence, en rive gauche, d'un important affluent, le FARO. Au-delà, la BENOUE chemine en NIGERIA sur 800 km. dans une direction sensiblement Est-Ouest avant de se jeter dans le NIGER, 380 km. environ à l'amont de son delta.

Nous nous proposons d'étudier dans cette monographie les caractéristiques hydrologiques du cours de la BENOUE situé en territoire français. En toute rigueur, il aurait fallu étudier les débits à la frontière nigérienne, à l'aval du confluent du FARO. Mais cela nous a été impossible par suite des difficultés de déplacement dans cette région sans routes. D'autre part, la période des observations limnimétriques à GAROUA, 80 km. à l'amont du FARO, est beaucoup plus longue que pour toutes les autres stations. En conséquence, nous baserons notre étude sur cette station. Nous fournirons des données séparées concernant le régime hydrologique du FARO.

-:-:-:-:-:-

C H A P I T R E I

LES FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

A) LES TRAITS PRINCIPAUX DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE -

a) Situation (carte n°1)

Le bassin étudié s'inscrit entre les 13ème et 16ème degrés de longitude Est et les 7ème et 11ème degrés de latitude Nord. Il se situe ainsi dans la zone tropicale Nord.

Nous remarquerons que cette surface réceptrice est séparée du Golfe de Guinée par le Massif de l'ADAMAOUA au Sud et par les Monts du Cameroun Britannique à l'Ouest.

b) Structure et relief (carte n°

Nous avons, dans ce qui suit, divisé le bassin versant en grandes régions qui correspondent à des données géologiques coïncidant, lorsque nous employons le terme "Pays", avec des données ethniques (voir carte ci-contre).

L'ensemble du bassin est très accidenté. Nous distinguerons les zones ci-après, classées d'après le relief, en allant du Sud au Nord :

1°- Au Sud, le massif de l'ADAMAOUA, dont l'altitude varie entre 1.000 et 1.500 m., se termine sur son flanc Nord par la "Falaise", retombée abrupte sur le "Pays des NAMCHIS" à l'Ouest et sur le 'Pays de BOUBANDJIDA" à l'Est.

2°- Les parties Sud du Pays des NAMCHIS et du Pays de BOUBANDJIDA constituent une aire de vallonnements dont l'altitude oscille entre 200 et 800 m. Elles forment une bande Est-Ouest qui couvre la partie méridionale du bassin.

3°- Plus au Nord, une deuxième bande Est-Ouest de vallonnements, située entre 200 et 400 m. d'altitude, comprend, de l'Est à l'Ouest, le Plateau LAKA, les parties Nord du Pays des NAMCHIS et du Pays de BOUBANDJIDA, le Pays FALI. Cette région, mis à part le Massif des TESKE BORI, dans le Pays FALI, est beaucoup plus plate et plus basse que la bande Sud.

4°- A l'Ouest du Pays des NAMCHIS, les Monts ALLANTIKA relief abrupt, inhabituel en Afrique, servent de frontière entre les zones britanniques et françaises. Ils culminent vraisemblablement vers 2.000 m.

5°- La pointe Nord-Ouest du bassin est constituée par les Monts du MANDARA, qui prolongent les Monts ALLANTIKA sur la rive droite de la BENOUE et dont l'altitude s'élève jusqu'à 1.000 m.

6°- A l'extrêmité Est, la 'Gouttière Tchadienne", constituée ici par des abords de la vallée du LOGONE.

7°- Enfin, il nous reste à énumérer des unités locales, incluses dans les zones ci-dessus. Ce sont :

- Au centre du Pays des NAMCHIS, le Massif de POLI, comparable aux ALLANTIKA par son altitude et la raideur de ses pentes.

- des pointements ou massifs locaux de granito-gneiss qui émaillent le Pays de BOUBANDJIDA, le Plateau LAKA et le Pays FALI. Ils présentent l'allure d'"uiselberg". Par exemple, Massif de LAGDO, Montagne de FIANGA, Massif des PESKE BORI.

- Des tables, ou plateaux gréseux, qui bordent la vallée de la BENOUE par endroits. Les plus importants sont ceux de la région de GAROUA (HOSSERE DOULI sur la rive gauche; altitude 460 m, TINGUELIN, sur la rive droite; altitude 500-700 m)

c) Aperçu géologique (carte n° 3)

D'une manière générale, le bassin français de la BENOUE correspond à la pénéplaine précambrienne formée de vieux granites et de schistes cristallins, ces derniers en lits verticaux et orientés en général Sud-Ouest Nord-Est. Suivant les régions, cette pénéplaine est partiellement masquée par diverses formations.

- L'ADAMAOUA est recouvert par places d'épanchements de vieux basaltes et de vieilles croûtes latéritiques.

- Le Pays des NAMCHIS est probablement séparé de l'ADAMAOUA par des failles. On y trouve :

- au Sud de POLI, vieux schistes cristallins, schistes cristallins plus récents et jeunes granites.

- au Nord de POLI, pénéplaine masquée par les "grès de GAROUA" fortement cimentés (Crétacé supérieur présumé). Ceux-ci reposent, soit directement sur la pénéplaine, soit sur le Crétacé moyen à bois silicifiés de LAMODAN que l'on présume être argileux.

- Le Pays de BOUBANDJIDA est également une région de pénéplaine avec jeunes granites, plus ou moins recouverte par le Crétacé moyen de la formation de LAME ou de LAMODAN (vallée de la BENOUE au Sud de LAGDO). Dans le Nord du Pays de BOUBANDJIDA, on remarque la formation de MANGBEI qui appartient sans doute au primaire.

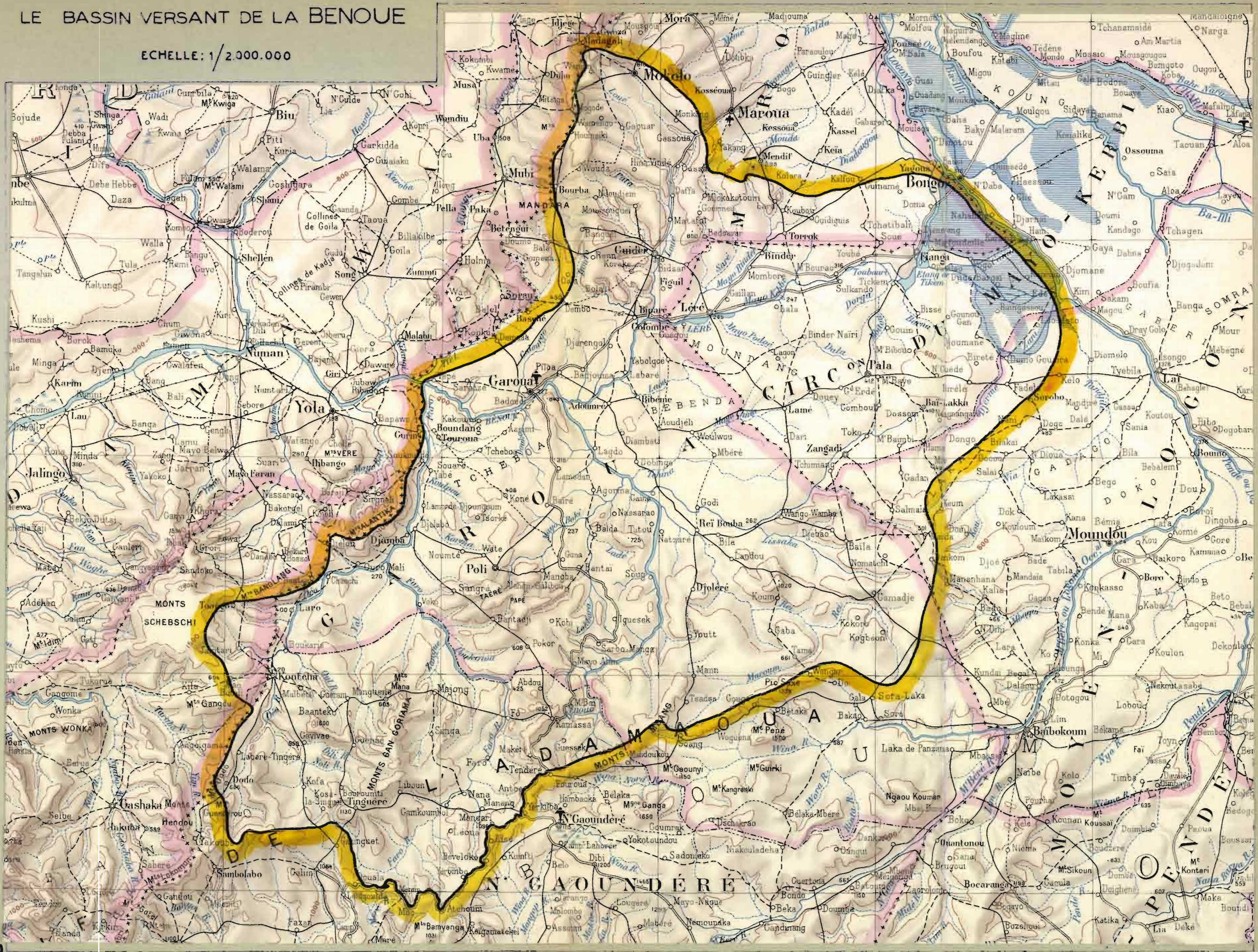
- Le Pays FALI comprend, à partir de GUIDER et au Sud, la pénéplaine avec de nombreux massifs de jeunes granites (PESKE BORI, HOSSERE RIBAO, HOSSERE LOMBEL) qui culminent jusqu'à 1.000 m. Cette surface supporte des synclinaux de Crétacé inférieur (FIGUIL-SARAWEL - LERE - MAYO-TAFAL et AMAKOUSOU). Cette formation comprend des grès et des marnes avec quelques schistes. Des lentilles calcaires donnent lieu à une industrie locale de chaux.

- Au Nord, les MANDARA et les CAPSIKI, de structure mal connue. Il semble qu'il s'agisse principalement de massifs granitiques et de massifs volcaniques d'âge récent donnant des reliefs accusés, très pittoresques; les nombreux pitons volcaniques rappellent ceux de la plaine du PUY.

CARTE N° 2

LE BASSIN VERSANT DE LA BENOUE

ECHELLE: 1/2.000.000



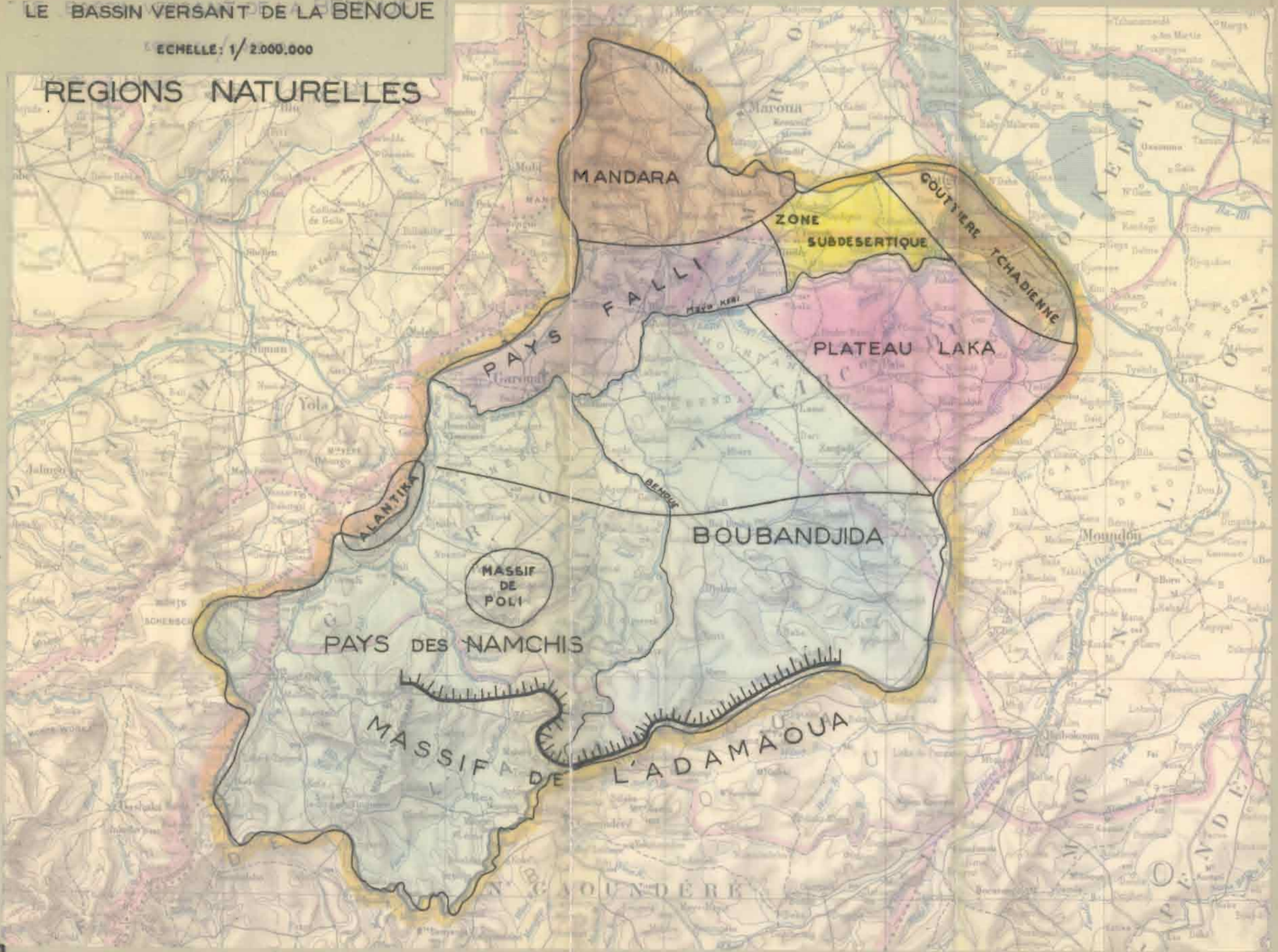
CAM 3176

CARTE N°3

LE BASSIN VERSANT DE LA BENOUE

ECHELLE: 1/2.000.000

REGIONS NATURELLES



CAM-3177

10-3-82 BR

- Le Plateau LAKA correspond essentiellement à la pénéplaine de schistes cristallins et de vieux granites, couverte par places par le Crétacé moyen de la formation de LAME et par les grès de GAROUA (Sud de PALA). Cette formation de LAME comprend de bas en haut :

1°) des graviers, cailloutis et sables
2°) des calcaires marins en lentilles
3°) des argiles, grès et sables.

- Enfin, la "Gouttière Tchadienne" est constituée par les sables de KELO, d'origine fluviatile, reposant sur les grès de GAROUA à l'Ouest (Plateau LAKA) et au Sud sur les schistes cristallins de la Pénéplaine.

Les roches ci-dessus énumérées, si elles affleurent quelquefois sous des formes saines, se présentent le plus souvent au prospecteur sous l'aspect de leurs altérations ou des sols auxquels elles ont donné lieu. Ce sont ces mêmes formes qui intéressent au premier chef l'hydrologue car elles déterminent l'infiltration et l'écoulement, ainsi que la végétation.

Les granites et les schistes cristallins se présentent sous la forme de puissants massifs ou de lignes de collines altérés en grosses boules et en sables feldspathiques pour les granites ou en sables et argiles pour les schistes cristallins. Néanmoins, le rocher sain apparaît fréquemment dans les reliefs.

Les grandes aires de vallonnements de la pénéplaine apparaissent sous forme de sables, d'affleurements rocheux ou d'argiles. Ces dernières sont un élément déterminant de l'aspect du pays, suivant les saisons : grandes fissures de retrait en saison sèche et poussière abondante poursuivant les véhicules et les troupeaux. En saison des pluies, l'argile se sature de plus en plus au fur et à mesure de l'avancement de la saison. Dans les bas-fonds, limon argileux contenant des débris organiques, le poto-poto constitue la grande difficulté de circulation durant les pluies, en provoquant de nombreux embourbements. On trouve les mêmes phénomènes dans les vastes zones d'inondation des mayos (rivières) recouvertes d'argile ou de limons.

Les lits des mayos sont presque exclusivement constitués par un beau sable jaune clair de granulométrie

très uniforme. Toutefois, les abords immédiats des grands massifs (POLI, ADAMAOUA, MANDARA) donnent lieu à des lits de gros galets.

Le Crétacé gréseux se présente sous forme de puissantes tables de grès ou de conglomérats, subhorizontales (région de GAROUA) rappelant par leur morphologie les grès soudaniens, quoique de composition et d'âge différents.

Au point de vue hydrologique, nous retiendrons de ce qui précède la rareté des roches perméables, formant magasin.

En effet, la masse des grès, les schistes cristallins, les argiles, les altérations des grès, schistes et marnes des synclinaux du Pays FALI sont imperméables.

Les seules roches magasins sont constituées par les sables de KELO, malgré leur teneur en argile, par la formation de LAME, par les joints des grès (quelques sources dans la région de GAROUA) et des granites altérés en boules. Pour cette dernière formation, remarquons qu'elle est assez localisée et que l'altération ne s'y poursuit pas forcément dans toute la masse. Pour notre part, dans l'observation de la chaine de LAGDO, nous n'avons jamais remarqué de sources en saison sèche. Par contre, on notera des phénomènes de rétention notables dans les alluvions des principaux cours d'eau : lit sablonneux très large et très profond (20 à 60 m. de profondeur).

Notons enfin l'absence presque totale de latérite (zones culminantes de l'ADAMAOUA seulement). Or, des observations effectuées dans l'ADAMAOUA et en Guinée ont montré que les formations latéritiques donnaient lieu à des débits d'étiage relativement soutenus grâce à une certaine rétention.

Une rétention momentanée se produit au début de la saison des pluies, partie dans les fissures des granites, partie dans celles des argiles.

Dans l'ensemble, les possibilités de rétention sont donc assez faibles. Nous devrons prévoir des étiages faibles sur l'ensemble du bassin et des crues violentes dans les zones à relief accentué.

d) La couverture végétale :

Examinant le bassin en allant du Sud au Nord, nous trouvons sur les hauteurs de l'ADAMAOUA, la prairie des Hauts-Plateaux, sillonnés par un réseau de galeries forestières étroites, suivant les thalwegs. Cette région donne asile à de beaux troupeaux de boeufs, de chèvres et de moutons. On y élève quelques chevaux.

Les pentes Nord de l'ADAMAOUA et les parties Sud des Pays de BOUBANDJIDA et des NAMCHIS sont parsemées d'îlots de savane forestière, répartis çà et là dans la savane. Les galeries forestières sont assez importantes, avec quelques lianes et des bambous. Dans la région du FARO (entre le Massif de POLI et les ALLANTIKA) on trouve de grosses masses boisées. La très faible densité des populations et, par suite, des cultures dans cette zone explique que la couverture végétale soit restée relativement épaisse.

Plus au Nord, la savane boisée disparaît. La couverture végétale n'est plus constituée que par le maquis plus ou moins clairsemé de la savane. Au Nord du MAYO-KEBI enfin, apparaît une brousse présentant certaines tendances subdésertiques : dattiers, dans la région de BIBEMI et au Nord, doums (palmiers nains) dans la région de LERE, épineux.

Dès les premières pluies, l'ensemble du pays se couvre de grandes herbes qui rendent la marche malaisée en dehors des pistes de brousse. Les environs des mayos et des lacs se peuplent de roseaux et de plantes aquatiques. Au début de la saison sèche, les Africains brûlent les herbes pour les besoins de la chasse et de l'agriculture. Les feux ainsi allumés dégradent considérablement la végétation arbustive.

D'une manière générale, la couverture végétale peu importante, surtout au Nord du MAYO-KEBI, laisse prévoir un déficit d'écoulement relativement faible.

e) Le réseau hydrographique (cartes n° 2 et 4)

La BENOUE

Prenant sa source dans les prairies latéritiques des Hauts-Plateaux de l'ADAMAOUA, elle dévale rapidement la Falaise dans un lit à peu près rectiligne, encaissé de 300 m., entre des pentes de gneiss à 40° et aboutit dans la zone vallonnée du BOUBANDJIDA.

La pente diminue alors très rapidement. Les galets disparaissent du lit pour faire place à du gravier puis à du sable. Pendant 150 km., la BENOUE coule ainsi vers le Nord en formant un certain nombre de rapides sur les seuils rocheux (OUAK, BOUKOUMA, etc...). Peu d'affluents importants.

Puis, la BENOUE prend la direction Sud-Est Nord-Ouest; la pente devient très faible (0,25m/km) et pendant 80 km. elle traverse une plaine correspondant à la cuvette du réservoir éventuel de LAGDO où elle reçoit la presque totalité de ses affluents.

Elle draine :

- le BOUBANDJIDA sur sa rive droite par le MAYO-REI, le MAYO-TCHINA et leurs affluents;

- le Pays des NAMCHIS sur sa rive gauche par le MAYO-BOKI et ses affluents.

Elle traverse ensuite, grâce à une surimposition, la chaine granitique de LAGDO dans un défilé grandiose de 120 m. de large. A la sortie de ce défilé, elle entre dans une vaste plaine alluviale, bordée sur la rive gauche par les tables de grès de l'HOSSERE DOULI et elle reçoit, en rive droite, l'un de ses deux grands affluents, le MAYO-KEBI.

Enfin, à 10 km. à l'amont de GAROUA, se heurtant au massif gréseux du TINGUELIN, elle prend une direction générale Est-Ouest qu'elle conservera pendant les 100 km. qui lui restent à parcourir en territoire sous tutelle française. Cette dernière partie s'effectue principalement entre des rives gréseuses. La pente devient très faible, de l'ordre de 10 cm/km. Tout près de la frontière, elle reçoit son deuxième gros affluent, le FARO.

CARTE N° 4

LE BASSIN VERSANT DE LA BÉNOUÉ

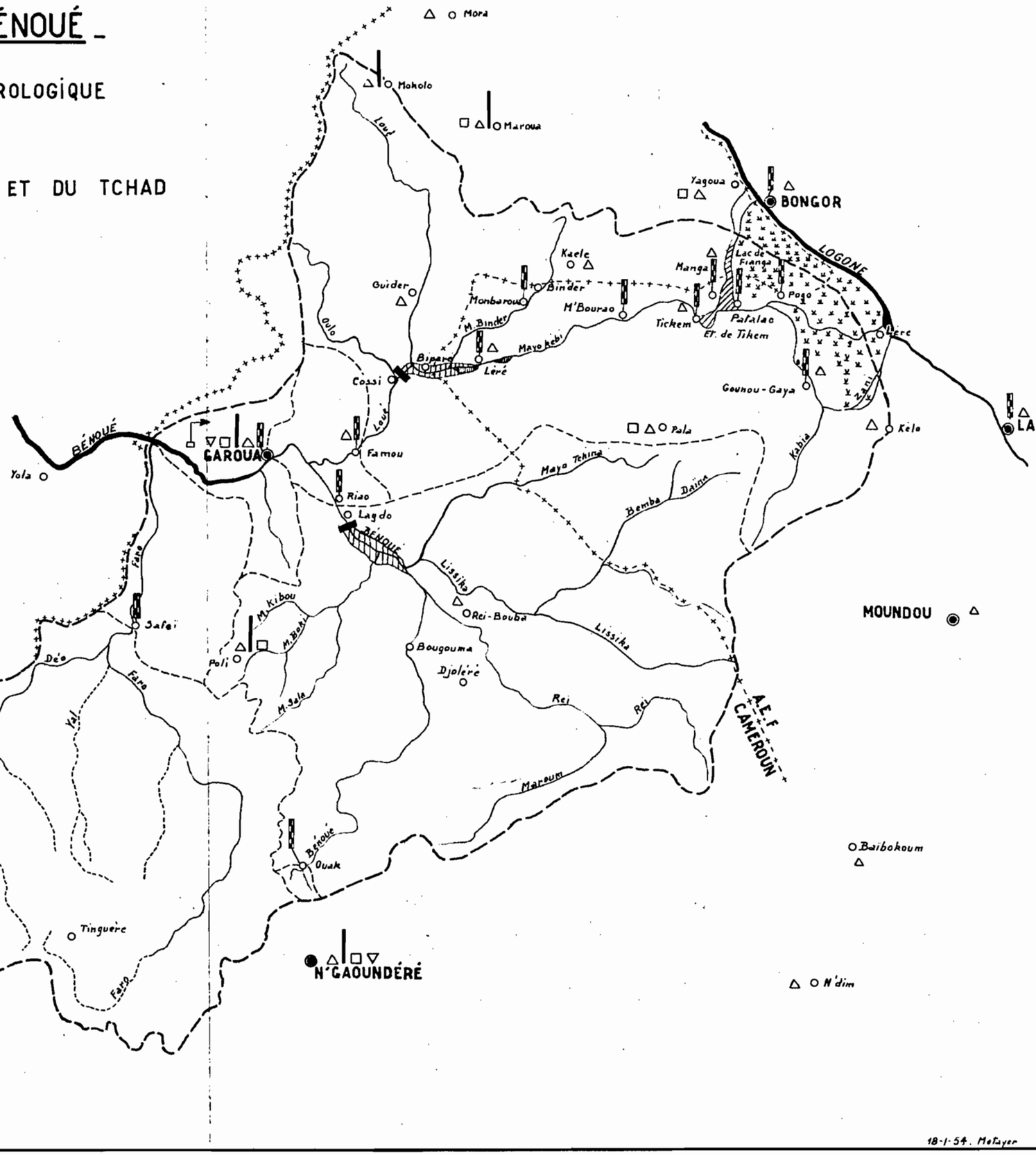
RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE
ÉQUIPEMENTS CLIMATOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE

ECHELLE : 1/2.000.000

COMMISSION SCIENTIFIQUE DU LOGONE ET DU TCHAD

JUIN 1952

▽ *Evaporemètre*
△ *Pluviomètre*
□ *Psychromètre*
Echelle limnimétrique
Thermomètre
Limnigraphe



CAM 3178

18-1-54. Mefayer

Le MAYO-KEBI

Affluent principal de la rive droite, il draine les parties Est et Nord du bassin. Le MAYO-KEBI présente un réseau hydrographique assez particulier. Les singularités observées sont dues probablement au fait que cette rivière correspondrait sur une grande partie de son cours à l'ancien lit du LOGONE.

Il est assez difficile de localiser la source du MAYO-KEBI. En fait, il prend naissance dans la Gouttière Tchadienne, au voisinage du LOGONE. Parmi les petits affluents qui prennent leur source dans cette région, le plus long est, sans aucun conteste, la KABIA. Mais, en période de crue, la presque totalité des apports provient, non pas du bassin supérieur de la KABIA, mais des apports du LOGONE (dont la majeure partie passe d'ailleurs par la KABIA inférieure).

Par ailleurs, si l'on prenait comme critère la largeur du lit, on pourrait dire que le MAYO-KEBI prend sa source dans le Lac de FIANGA, lequel reçoit lui-même une faible partie des pertes du LOGONE. Nous voyons donc que ce cours d'eau est alimenté dans son cours supérieur, à la fois par les petits affluents du plateau LAKA et par les pertes du LOGONE.

Le lit du MAYO-KEBI est caractérisé par une succession de larges biefs, comportant de nombreux lacs, étangs et marécages et de zones resserrées prenant par endroit le caractère de véritables gorges, par exemple les Chutes GAUTHIOT. Mais, depuis le Lac de TIKEM, la vallée correspond à celle d'un grand fleuve avec une grande largeur et une grande épaisseur d'alluvions (60 m. à l'aval du Lac de LERE). Le lit apparent n'est très large que dans le dernier tiers aval. Plus à l'amont, tout se passe comme si l'ancien lit apparent avait été colmaté et recouvert par la végétation, sauf le lit apparent actuel assez étroit.

Les affluents du MAYO-KEBI l'abordent presque tous sous un angle de 90°. Chaque crue individuelle donne lieu à un flot qui se partage à l'arrivée dans le lit du MAYO-KEBI. Une partie du débit remonte la rivière et l'autre descend vers l'aval. Ce fait singulier se retrouve , même sur les petits affluents situés le plus à l'amont, en particulier sur un miniscule tributaire de la rive gauche qui envoie résolument ses eaux vers l'amont, au milieu des herbes qui marquent l'extrêmité Nord du Lac de FIANGA.

La plupart des affluents charrient du sable en quantité importante. Il se forme aux confluents des bourrelets alluvionnaires de part et d'autre qui contribuent à la formation des divers lacs. C'est en particulier le cas du Lac de LERE, des petits étangs à l'aval du Lac de TIKEM et peut-être des Lacs de TIKEM et de FIANGA.

Le cours supérieur du MAYO-KEBI se termine au seuil rocheux de M'BOURAO. On y rencontre, de l'amont à l'aval, le Lac de FIANGA, le Lac de TIKEM et un certain nombre d'étangs à l'aval de ce dernier lac. Entre ces lacs, le MAYO-KEBI traverse de larges vallées marécageuses couvertes de roseaux, de nénuphars et de nymphéas par un étroit couloir sinueux à fond de sable où la vitesse du courant peut dépasser 1 m/sec. en hautes eaux, les marécages sur les deux rives étant inondés.

Le seul affluent notable dans cette zone est constitué par la KABIA. A l'aval du Lac de TIKEM, le MAYO-KEBI reçoit sur sa rive gauche une série de petits affluents qui drainent le plateau LAKA.

Le MAYO-KEBI, conservant la direction Est-Ouest, descend brutalement de 45 m. aux Chutes GAUTHIOT, à l'aval desquelles il prend son niveau de base au-dessous de la cuvette Tchadienne. Il présente alors une série de gorges et débouche dans l'Etang TRENE et le Lac de LERE. C'est dans cette zone qu'il reçoit sur sa rive droite ses affluents les plus importants que l'on peut désigner sous le nom des "Trois Mayos" : le MAYO-BINDER, le MAYO-LOUTI, et le MAYO-OULO. Ces affluents viennent soit de la région de KAELE, pour le MAYO-BINDER, soit de la zone montagneuse du MANDARA, pour les MAYOS LOUTI et OULO. Ils ont un régime beaucoup plus torrentiel que les petits affluents du bassin supérieur et ils donnent lieu à des transports solides très importants. Leur forte pente, de 2 à 3 m/km., l'irrégularité de leur débit et la rapidité des crues les font ressembler aux oueds du Sud de l'Afrique du Nord. Il semble que ce sont les alluvions apportées par ces trois mayos qui ont constitué le bouchon du Lac de LERE. Ce lac se prolonge vers l'aval par un marécage de 18 km. de longueur qui recouvre les alluvions formant le bouchon.

Après le confluent du MAYO-OULO, le MAYO-KEBI se dirige vers le Sud et dévale avec une pente accrue, 0,50 m/km., les verrous de schistes cristallins de COSSI, GOBTIKERE et LABARE. On note dans cette région, où la

vallée est généralement assez étroite, un certain nombre d'épanouissements couverts de marécages. Il semble qu'on se trouve là en présence d'anciennes gorges plus ou moins remblayées.

A la sortie de cette vallée étroite, le MAYO-KEBI rejoint enfin la BENOUE par un cours Nord-Est Sud-Ouest bordé par des "nadérés" ou vastes zones d'inondation du lit majeur recouvertes de limons ou de sable fin selon qu'on se place à l'intérieur ou à l'extérieur des méandres. Il reçoit dans cette partie de son cours quelques petits affluents sans grand intérêt.

Le FARO

Il est constitué par la réunion du FARO et du DEO.

Le FARO prend sa source au voisinage de TINGUERE, à 1.200 m. d'altitude environ.

Contrairement à la HAUTE-BENOUE qui quitte le plateau de l'ADAMAOUA presque dès sa source et dont tout le bassin est un bassin de plaines, le FARO présente un bassin supérieur très étendu, à une haute altitude : il ne quitte, en effet, le plateau de l'ADAMAOUA qu'après un parcours de 200km.

L'hydrographie de ce fleuve est assez mal connue. La région est d'accès difficile et peu souvent parcourue. Le FARO commence à courir vers le Sud-Est, puis il s'oriente vers le Nord-Est, descend le plateau de l'ADAMAOUA par un bief à forte pente. Au bas de la plaine, ayant atteint la cote 400, il s'oriente vers le Nord-Ouest jusqu'au confluent avec le DEO. Le DEO prend sa source dans la région montagneuse qui borde le NIGERIA. Une partie importante du bassin est au-dessus de la cote 600. Il rejoint le FARO peu de temps après être sorti de la zone montagneuse.

Le confluent du DEO et du FARO est situé 70 km. au Nord de la falaise qui borde l'extrêmité Nord de l'ADAMAOUA, au pied des Monts ALLANTIKA. Le FARO prend alors la direction du Nord et coule pendant 70 km., dans une large vallée Nord-Sud, limitée à gauche par les pentes abruptes des Monts ALLANTIKA et à droite par les contreforts Nord du Massif de POLI.

Tout le long de ce parcours sa largeur reste grande, 800 à 1.200 m. La pente est relativement forte, 1 à 1,50 m/km. Les transports solides : sables et gravillons, sont importants.

A l'aval de cette section, sur les 40 derniers kilomètres avant le confluent, la vallée s'élargit, le lit toujours large et peu profond se divise en trois bras; les bords de la vallée deviennent gréseux ou formés de conglomérat, surtout à partir de BOUNDANG. Il rejoint la BENOUE par un petit delta au milieu de très nombreux bancs de sable.

B) LE CLIMAT -

a) Equipement climatologique du bassin (carte n° 4)

Nous avons tenu compte, pour l'étude des précipitations des relevés à 22 postes pluviométriques, tant en A.E.F. qu'au CAMEROUN. La plupart de ces postes sont situés à l'intérieur du bassin, quelques-uns sont répartis à la périphérie. Nous en donnons la liste ci-dessous :

GAROUA	BONGOR
MAROUA	PALA
MOKOLO	KELO
GUIDDER	LAI
KAELE	MOUNDOU
LERE	BAIBOKOUM
TIKEM	REI-BOUBA
FIANGA	POLI
YAGOUA	N'GAOUNDERE

La partie Sud du bassin est très mal desservie. Néanmoins, nous avons pu tracer les isohyètes grâce à des pluviomètres voisins du bassin et aux formes du relief.

Les postes météorologiques sont beaucoup plus rares. L'étude des températures n'a été faite que sur les relevés de six thermomètres à maxima et à minima, bien répartis sur un méridien à l'Ouest du bassin. L'absence de thermomètres à l'Est ne nous a pas permis d'étudier les variations suivant la longitude.

Mêmes remarques pour l'humidité relative.

En ce qui concerne l'évaporation, les deux seuls évaporomètres Piche de GAROUA et N'GAOUNDERE permettent simplement une comparaison en fonction de l'altitude.

b) Généralités

Le bassin de la BENOUE est soumis à un climat soudanien. Ce climat est caractérisé par une saison sèche et chaude s'étendant en moyenne de Novembre à Avril et une saison humide et moins chaude de Mai à Octobre, au cours de laquelle se produisent les précipitations.

Le bassin étudié, comme toutes les régions tropicales de l'Afrique Noire, se trouve sous l'influence de deux courants distincts :

- la masse d'air chaud et sec du SAHARA en provenance du Nord-Est (harmattan);
- la mousson du Golfe de Guinée, humide et aux faibles écarts de température en provenance du Sud-Ouest.

Cette dernière masse d'air se présente dans l'espace comme un coin limité par le sol, d'une part, et en altitude par l'air chaud de l'harmattan. La limite Nord du "coin" s'appelle le front intertropical (F.I.T.). L'alternance des saisons tropicales peut s'expliquer en première analyse par les fluctuations annuelles du F.I.T.

En effet, celui-ci effectue chaque année une avancée vers le Nord, provoquant la saison des pluies annuelle, caractéristique du climat tropical.

Les régions situées au Nord du F.I.T. jouissent d'un temps sec et chaud voilé seulement par la brume sèche ou le vent de sable.

Les régions situées dans une bande de 150 à 200 km. au Sud du F.I.T. sont couvertes. Mais les cumulus formés ne sont pas importants et ne donnent pas lieu à de grosses pluies (faible épaisseur de la couche d'air humide au sol). Le passage sur une région donnée de cette frange est marqué par des "tornades sèches",

Les régions situées plus au Sud sont soumises aux précipitations. Les cumulo-nimbus formés dans les couches humides s'élevant en croissant dans les couches supérieures sèches et emportés ainsi par l'harmattan donnent lieu à des orages violents en provenance de l'Est.

La limite Nord de cette "zone des grains" atteint le Sud du bassin de la BENOUE au mois d'Avril, progresse jusqu'au Lac TCHAD (Août) puis rétrograde vers le Sud à partir du mois d'Octobre.

Nous voyons donc que la latitude joue un rôle déterminant sur la longueur de la saison des pluies.

En fait, le phénomène est plus complexe dans le bassin de la BENOUE par suite de la présence d'un relief vigoureux qui complique ce phénomène, simple en apparence.

L'ADAMAOUA, les monts du Cameroun Britannique et les MANDARA séparent plus ou moins ce bassin des courants pluvieux, faisant fonction d'écran pour les plaines ou pénéplaines situées plus à l'Est. Par contre, les parties élevées du relief sont relativement bien arrosées (MANDARA, ALLANTIKA). En particulier, le vent au sol à GAROUA est en saison humide de secteur Ouest modéré (en dehors des orages) ce qui s'explique par la canalisation dans la trouée de la BENOUE (entre MANDARA et Cameroun Britannique) des courants humides. La région de KAELE, très abritée, est la partie la moins arrosée de tout le bassin.

Par suite de ces effets d'écran et de l'éloignement de la mer, les précipitations annuelles sont nettement plus faibles que celles observées en A.O.F. sous les mêmes latitudes.

c) Les températures (Graphiques n° 1,2 - tableau en annexe).

Nous disposons des relevés des stations suivantes MAROUA, MOKOLO, GAROUA, POLI, N'GAOUNDERE. Nous raisonnerons sur l'année normale, c'est-à-dire sur des moyennes portant sur 15 à 20 ans. Nous considérerons les chiffres des moyennes mensuelles des maxima et des minima quotidiens. Il ne faut pas oublier que les chiffres relatifs à une année donnée peuvent s'en écarter dans de notables proportions.

TEMPERATURES MOYENNES

Année normale

Stations	Max. Avril	Max. Oct-Nov	Min. Déc-Jan	Min. Août	Moyenne générale
MAROUA	33,9	28,8	26,6	26,0	28,87
GAROUA	32,5	27,7	26,1	26,2	28,06
MOKOLO	30,6	26,1	24,0	23,7	26,05
POLI	29,9	25,6	22,2	24,9	25,50
N'GAOUNDERE	23,9	21,9	21,1	21,0	22,06

D'une manière générale, en ce qui concerne l'évolution dans le temps des moyennes des températures maxima quotidiennes (diurnes), nous constatons :

- un maximum de saison sèche en Mars ou Avril (entre 30 et 40°);
- un minimum de saison des pluies en Août (entre 25 et 31°);
- une transition de Septembre à Mars entre ce minimum et ce maximum qui s'effectue par une remontée jusqu'à un petit maximum de Novembre (30 à 36°), suivi d'un petit minimum de Décembre ou Janvier. Ensuite, montée régulière.

Pour les moyennes des températures minima quotidiennes (nocturnes), elles suivent qualitativement les

mêmes variations. Le maximum de saison sèche est bien marqué (18 à 26°), mais le minimum de saison des pluies est très atténué ou inexistant, par contre le minimum de Décembre-Janvier est beaucoup plus accentué (12 à 20°). Les nuits sont les plus froides de l'année, rendant ces deux mois très agréables à vivre. C'est la période des grands écarts de température entre la nuit et le jour (14 à 21°), écarts qui diminuent pendant la saison sèche jusqu'à 8°. Cette courte période correspond à l'hiver de nos régions tempérées.

Ces faits d'ordre général sont modifiés dans le détail par les facteurs géographiques, principalement la latitude, l'altitude et parfois l'exposition. Nous allons examiner maintenant ces modifications.

Influence de l'altitude :

Elle est assez malaisée à isoler de l'influence de la latitude étant donné le faible nombre de stations :

- GAROUA (tm : 28°) à 180 m.
- MAROUA (tm :28°9) à 440 m.
- MOKOLO (tm : 26°) à 700 m. en plein massif du MANDARA
- POLI (tm :25°5) à 500 m.
- N'GAOUNDERE (tm : 22°) à 1.100 m.

Nous verrons plus loin que la température moyenne augmente avec la latitude. La comparaison de MAROUA et MOKOLO, situées à faible distance et sous la même latitude, est particulièrement intéressante.

On constate que l'écart entre les moyennes annuelles est de 2°85. Il est encore plus élevé pour les températures diurnes : 4°54.

L'altitude :

- diminue les températures moyennes
- atténue l'écart entre le maximum diurne (saison sèche) et le minimum diurne (saison des pluies)
- atténue les écarts entre températures diurnes et températures nocturnes en saison sèche

La comparaison des autres stations confirme ces tendances.

Influence de la latitude :

La latitude agit d'une manière générale en sens inverse de l'altitude. Les comparaisons de GAROUA et MAROUA sont ici déterminantes.

- latitude GAROUA : 9° 19' Nord -- température moy. 28°
- latitude MAROUA : 10° 36' Nord - température moy. 28°9

Toutes les températures sont plus fortes à MAROUA. Les maxima et minima y sont plus accentués qu'à GAROUA. Au cours de l'année, les écarts entre température diurnes et nocturnes sont bien plus importants à MAROUA où les nuits restent presque aussi fraiches qu'à GAROUA alors que les températures diurnes sont nettement plus élevées.

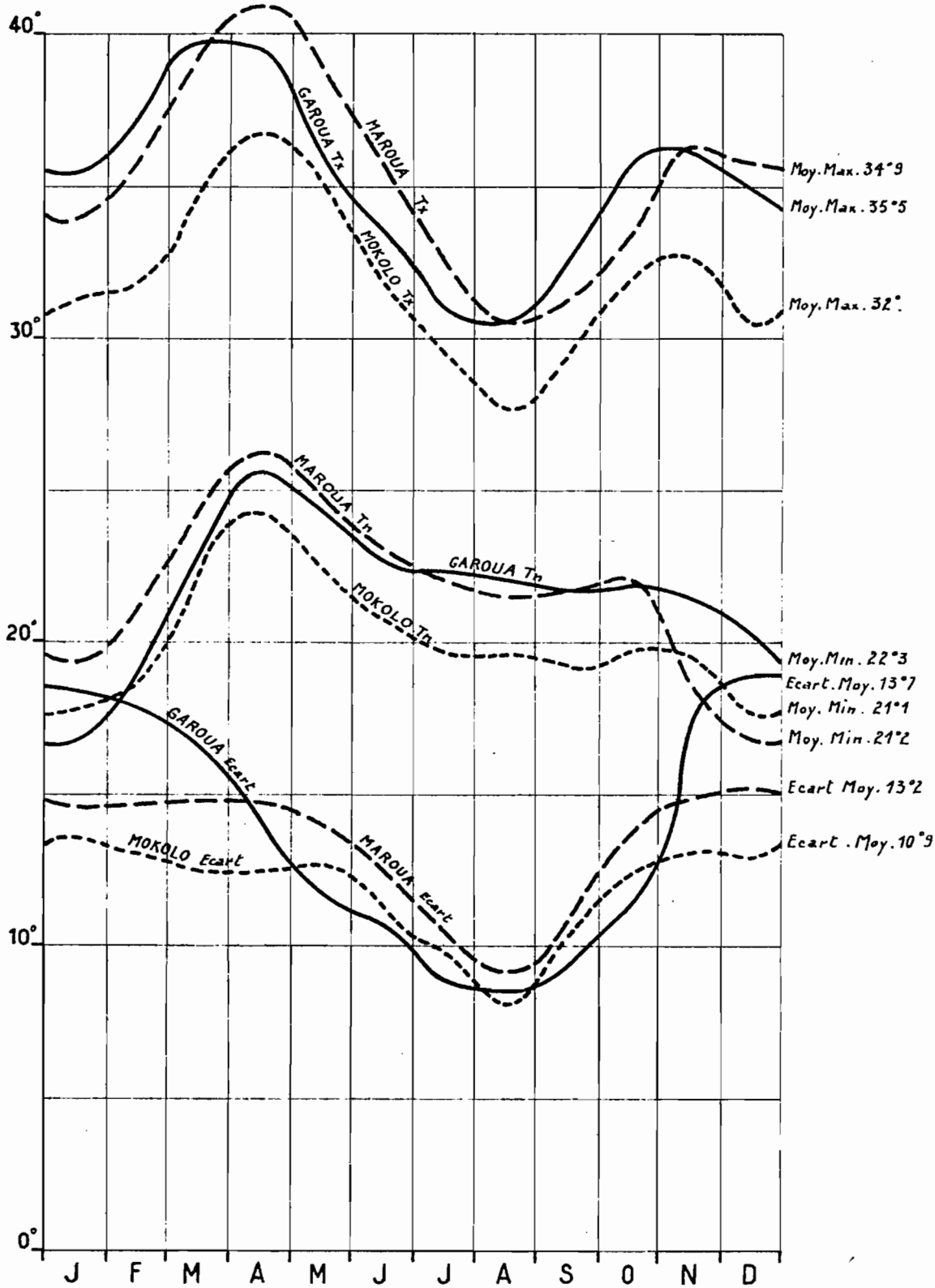
En conclusion, nous assistons ici à une évolution Nord-Sud du climat, qui passe du type tropical de transition au Sud au type tropical Nord à MAROUA. La transition entre le climat tropical de montagne de l'ADAMAOUA et le climat tropical de plaine de l'ensemble du bassin est brutale, l'effet de l'altitude se cumulant avec celui de la latitude. Elle est très sensible au voyageur qui descend la "falaise" en automobile pour aboutir dans la plaine de GAROUA.

Si nous comparons le bassin versant de la BENOUE à ceux situés sous une latitude comparable en A.O.F. Il semble que, par suite des écrans montagneux qui l'isolent des influences océaniques, on se trouve en présence de températures bien plus fortes. C'est ainsi que GAROUA, situé à 9°19 de latitude Nord subit des températures en tous points comparables à celles de BAMAKO à 12°39' de latitude Nord. Nous pouvons réellement parler ici de climat soudanien. Ceci est un facteur peu favorable à l'abondance, par son incidence sur le déficit d'évaporation.

GR.1

TEMPÉRATURES DE L'ANNÉE NORMALE

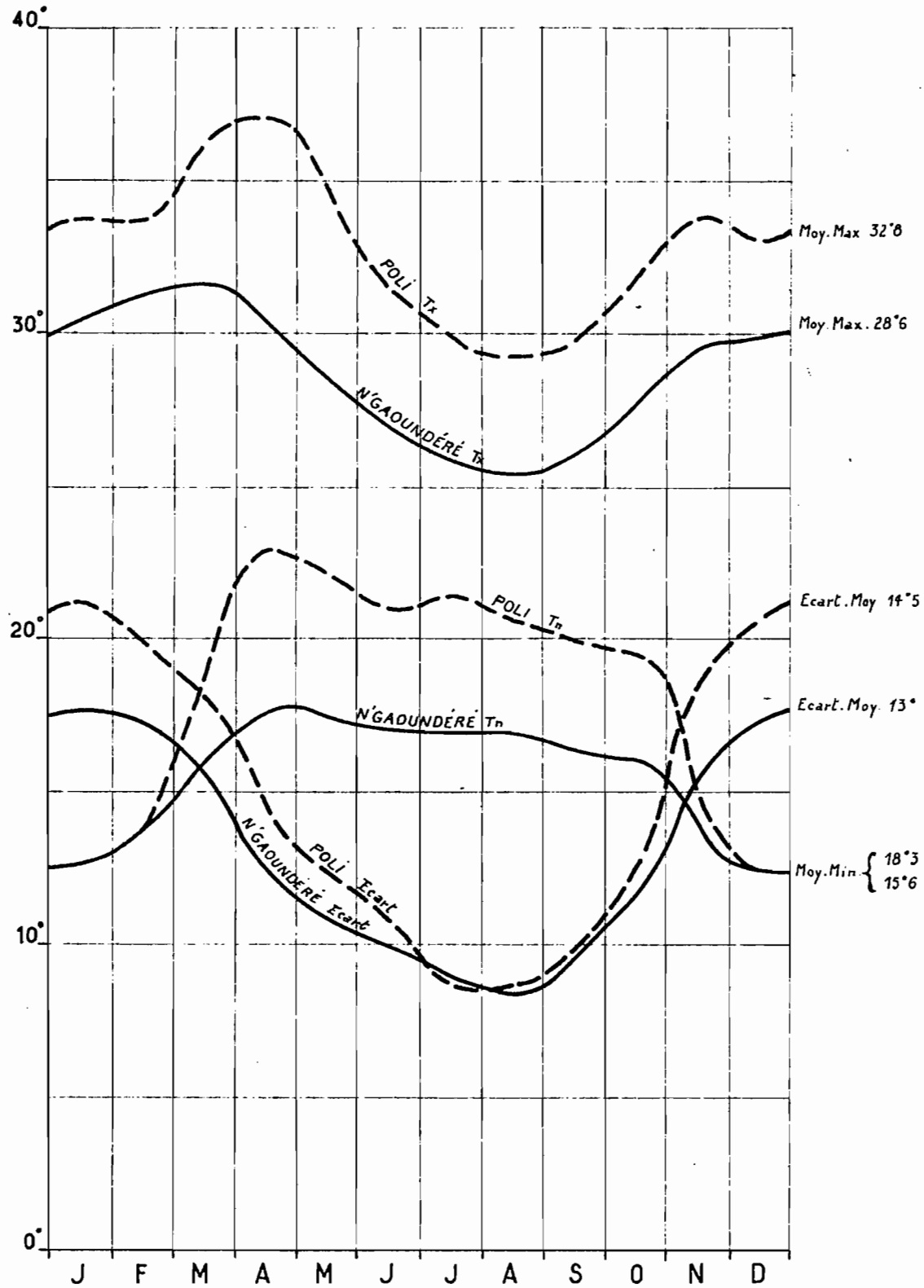
GAROUA MAROUA MOKOLO



CAM 4370	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 16-10-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

TEMPÉRATURES DE L'ANNÉE NORMALE

POLI N'GAOUNDÉRÉ



CAM 4369	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER				
ED:	LE: 16-10-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A O

d) Humidité relative (graphique n° 3)

Nous possédons les moyennes (année normale) des mesures d'humidité relative à 12 h. et à 6 h. (minimum et maximum) aux stations suivantes : MAROUA, GAROUA, POLI, N'GAOUNDERE.

VALEURS CARACTERISTIQUES

	MAROUA	GAROUA	POLI	NGAOUNDERE
Maximum annuel de H % moy. à 12 h.	71 %	73 %	69 %	71 %
Maximum annuel de H % moy. à 6 h.	92	93	94	97
Minimum annuel de H % moy. à 12 h.	18	24	13	21
Minimum annuel de H % moy. à 6 h.	26	49	50	57
Ecart entre valeurs moy. annuelles à 6 h. et à 12 h.	20,1	26,8	34,8	34,9
Moyenne des moy. mensuelles de H % à 12 h.	36,3	48,3	42,4	47,6
Moyenne des moy. mensuelles de H % à 6 h.	56,4	75,1	77,2	82,5
Ecart maximum entre valeurs moy. mensuelles à 6 h. et à 12 h.	36	43	56	50
Ecart entre max. et min. à 6 h. ..	66	44	44	40

Nous voyons, d'une manière générale, que l'humidité augmente avec l'altitude et en sens inverse de la latitude. Les vents humides du Sud-Ouest sont arrêtés partiellement par la barrière de l'ADAMAOUA. Ce massif et celui de POLI sont relativement humides, même en saison sèche.

La frange Nord accuse des humidités de saison sèche faibles variant entre 19 et 30 %. Les fortes teneurs de saison des pluies, 92 %, y durent peu. Les écarts entre 6 h. et 12 h. y sont peu marqués; par contre, les écarts entre saison des pluies et saison sèche y sont les plus

accusés (66 points entre valeurs maxima à MAROUA contre 40 environ partout ailleurs).

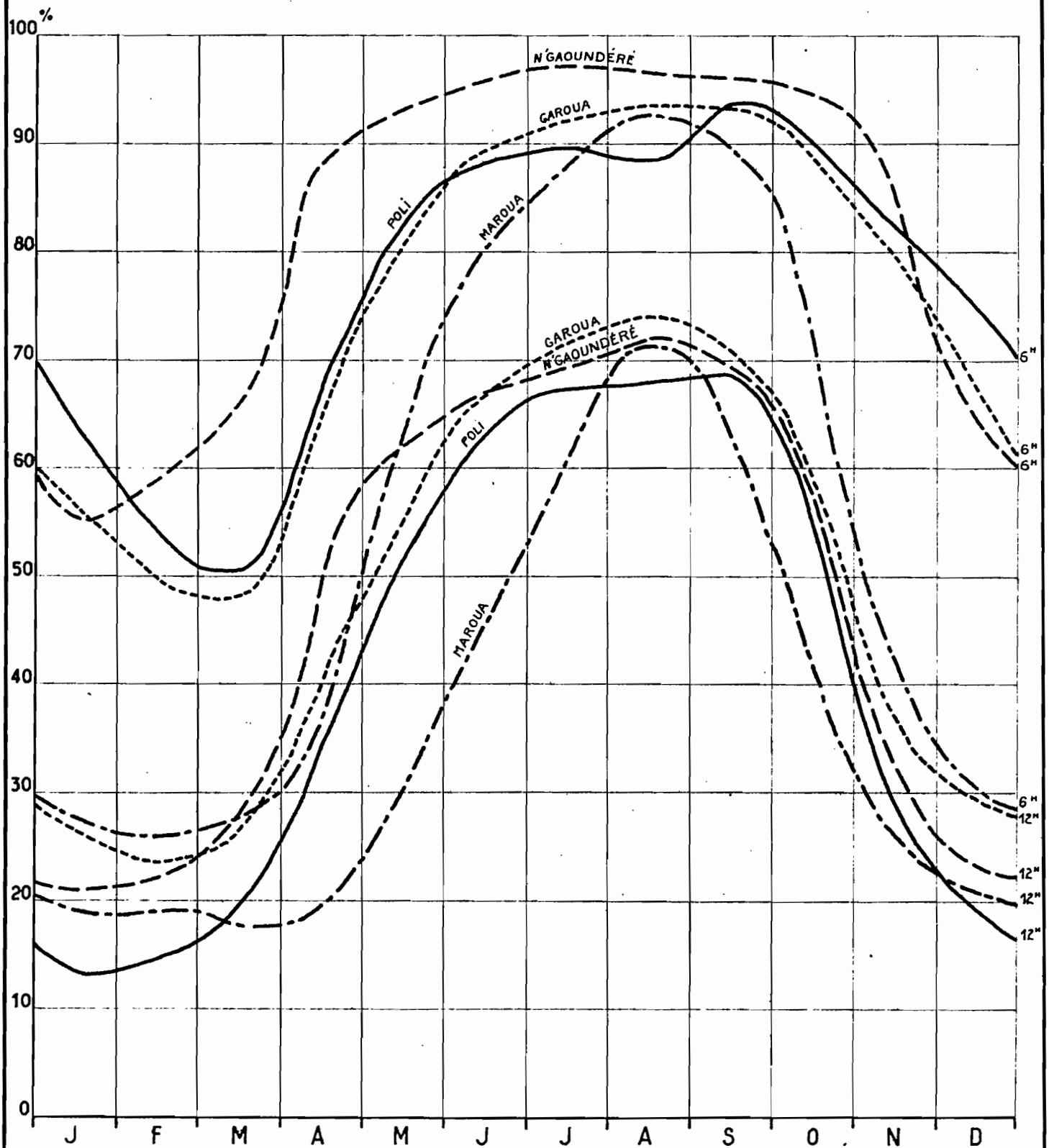
Noter la sécheresse de l'atmosphère en altitude, en saison sèche (13 % à 12 h. à POLI pour Janvier). Il semble que dans le massif de POLI, comme dans l'ADAMAOUA, les faibles températures nocturnes de la saison sèche donnent lieu fréquemment à des condensations matinales. Ces condensations sont très probablement insuffisantes pour provoquer le ruissellement, mais l'évaporation de la rosée en résultant protège de l'action du soleil l'eau ruisselant dans les petites rivières pendant une grande partie de la matinée. Par suite de cette circonstance, l'action de l'évaporation sur le débit d'étiage est moins intense dans cette région. On s'explique ainsi, d'une part, que des cours d'eau, dont le bassin versant est très petit, gardent un écoulement permanent et, d'autre part, on comprend les variations diurnes de débit sur ces petits cours d'eau dont l'alimentation par les nappes souterraines est constante, alors que les pertes par évaporation ne commencent à être effectives que vers la fin de la matinée.

Le cas de GAROUA nous semble un peu particulier. La fosse de la BENOUE, réserve d'eau, encaissée entre des tables de grès formant accumulateurs de chaleur, est soumise à une évaporation nocturne notable. Cette hypothèse, confirmée par l'inconfort des nuits dans cette région, explique les fortes teneurs de l'humidité relative nocturne en toutes saisons.

GR 3

HYGROMÉTRIE

GAROUA – POLI – MAROUA – N'GAOUNDÉRÉ



CAM 4213	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE – SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 15-10-53	DES:	VISA:	TUBE N°:	A O

e) Evaporation :

Les hauteurs d'eau évaporées chaque mois à l'appareil Piche sont données dans le tableau ci-dessous pour les stations de N'GAOUNDERE et GAROUA.

EVAPORATION MENSUELLE en mm.

N ' G A O U N D E R E												
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Totaux
300	271,3	280,9	121,4	89,2	61,6	60,2	67	60,4	110	216	282,5	1921,1
G A R O U A												
253,7	287,1	365,9	292,5	203,5	118,3	96	71,2	70,7	105,3	201,8	205,8	2271,8

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- Evaporation plus forte à GAROUA qu'à N'GAOUNDERE pour les totaux annuels (2.271,8 contre 1.921,1 mm.);

- Les maxima ont lieu en saison sèche, bien entendu.

Il est possible, à partir de ces données, de prévoir l'évaporation qui se produirait à la surface d'un réservoir.

Des études récentes effectuées dans la région de BAMAKO ont montré que l'application d'une formule donnée par M. COUTAGNE :

$$e = 0,25 (1 + 0,4 V) (F - f)$$

donnait des résultats assez voisins des relevés d'observations directes, tout au moins pour la région soudanienne.

Le climat de GAROUA est assez voisin de celui de BAMAKO ce qui évite toute extrapolation hasardeuse. On constate que les variations mensuelles sont à peu près parallèles à celles de l'évaporation Piche. La lame d'eau

annuelle évaporée à GAROUA serait de 1.750 mm. ce qui fait apparaître un coefficient de 0,77 entre évaporation à la surface d'un réservoir et évaporation Piche. Ce coefficient est assez fort, mais un tel chiffre est assez courant pour des climats relativement humides comme celui de GAROUA.

Pour BAMAKO, la lame d'eau annuelle évaporée était de 2.000 mm.

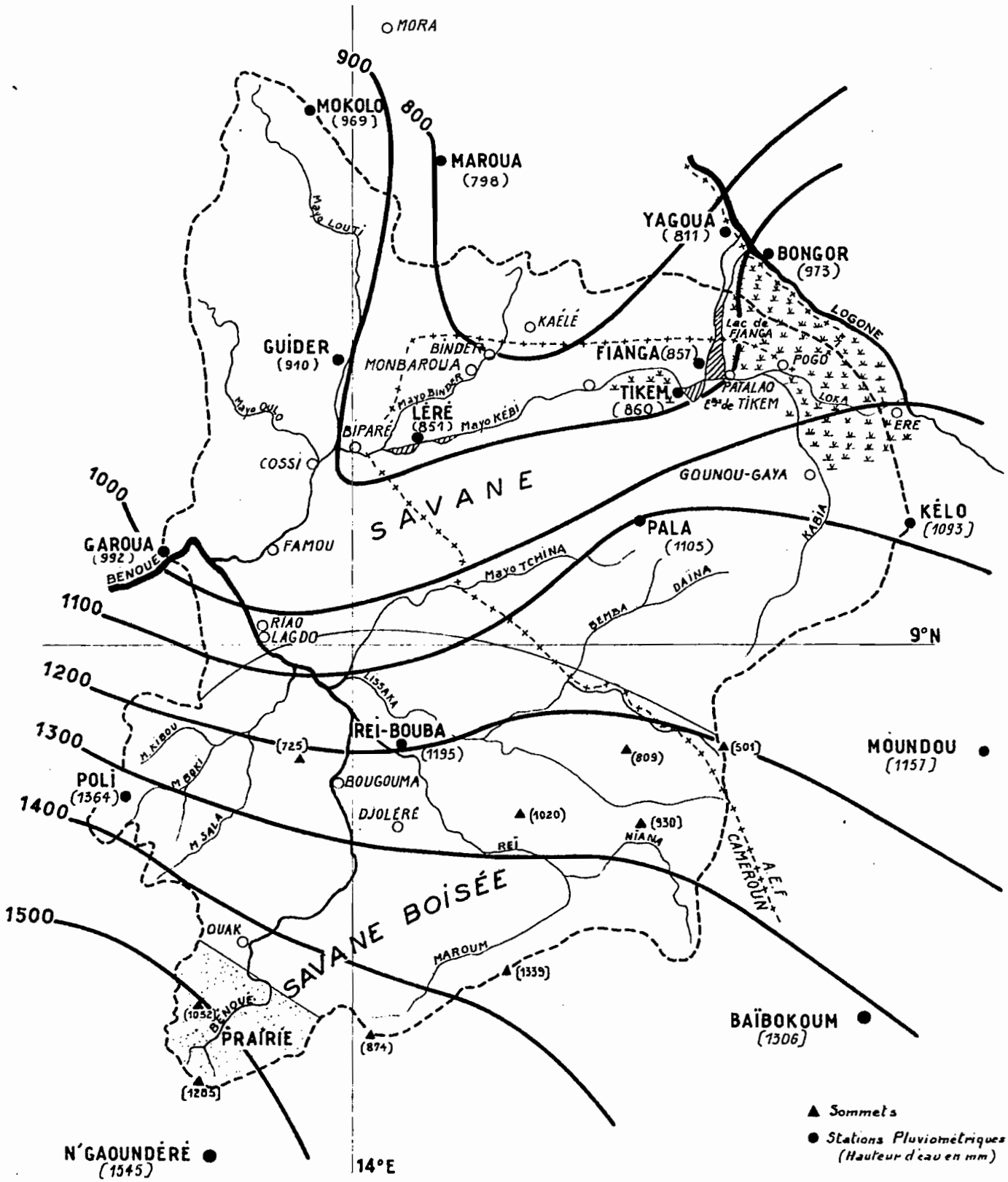
Malheureusement, ce chiffre de 1.750 mm. doit être utilisé avec la plus grande prudence car GAROUA correspond à un point singulier. L'humidité relative y est nettement plus forte que dans la région avoisinante. On devra donc considérer que la valeur calculée est une limite inférieure.

BASSIN VERSANT DE LA BÉNOUÉ à GAROUA

CARTE N: 5

CARTE ISOHYETIQUE

ÉCHELLE : 1/2.000.000



CAM 4207	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 14-10-53	DES:	VISA:	TUBE N°:	A 0

f) La pluviométrie (carte n° 5 - Graphiques n° 1, 2 3 et 4 en annexe).

1°- Précipitations totales annuelles

L'étude des relevés pluviométriques a permis d'établir un réseau d'isohyètes figuré sur la carte n° 5 On peut déduire de l'examen de cette carte les conclusions suivantes :

- la hauteur d'eau annuelle va en décroissant du Sud au Nord, variant de 1.500 à 750 mm. La hauteur d'eau moyenne sur le bassin à GAROUA est de 1.089 mm., correspondant à un climat soudanais.

- les isohyètes épousent bien les formes des reliefs. Au Sud, le gradient pluvial concorde avec les courbes de niveau de l'ADAMAOUA et du Massif de POLI. Au Nord, même remarque pour le Massif du MANDARA.

- les isohyètes d'intensités les plus faibles (800 et 900 mm) marquent une avancée très nette vers le Sud, dans la région de KAELE, pour remonter légèrement vers le Nord du côté du TCHAD. Ce fait correspond probablement à l'effet d'écran particulièrement efficace du Massif du MANDARA.

Les remarques précédemment faites sur la faiblesse probable de l'abondance (écrans montagneux, influences continentales) se trouvent justifiées. En effet, prenant GAROUA comme référence, avec 992 mm. à 9°19' de latitude Nord, nous trouvons sensiblement cette même abondance à BAMAKO à 12°39' Nord et 1.286 mm. à BONGOUNI à 11°25' Nord, ceci pour des altitudes comparables.

2°- Les variations saisonnières

Sur le graphique n° 4 figurent les précipitations moyennes mensuelles interannuelles pour l'ensemble du bassin. Ce graphique donne une impression d'ensemble des variations saisonnières. L'établissement des moyennes interannuelles dénature, dans une certaine mesure, les variations réelles. En fait, au cours de l'année, les précipitations varient comme suit :

Pendant la majeure partie de la saison sèche, décembre, janvier, février et mars, il ne tombe pas une goutte d'eau en année moyenne, ce qui est la caractéris-

tique du climat tropical. Toutefois, une fois tous les quinze ans environ, il pleut en janvier ou en février. Ces précipitations sont généralement très peu importantes depuis le début des observations; elles n'ont pas dépassé 30 mm. pour la totalité du mois depuis plus de 20 ans. Elles sont un peu plus fréquentes sur la partie Sud du bassin versant. A noter que les précipitations se produisant en décembre sont encore plus rares qu'en janvier ou février.

Le mois de mars ne donne lieu généralement à aucune précipitation. On relève tous les quatre ou cinq ans des petites pluies analogues à celles de janvier ou de février. Ces pluies de janvier, février et mars correspondent à ce que l'on appelle en A.O.F. la "pluie des mangues".

En avril et mai se produit un phénomène particulier à ces régions du Cameroun et de l'A.E.F., c'est en particulier le cas pour le bassin du LOGONE SUPERIEUR : on observe une première série de précipitations commençant en avril, atteignant le maximum d'intensité en mai ou début juin et suivie généralement par une accalmie fin juin ou début juillet. C'est ce que l'on appelle quelquefois la "petite saison des pluies". Ce phénomène semble un peu inattendu compte-tenu de la faible pluviométrie annuelle et du régime des eaux qui s'apparente au régime tropical pur. Cette première saison des pluies montre qu'en fait nous sommes en présence d'un climat tropical de transition dans lequel les précipitations sont fortement atténuées par des influences continentales. Bien entendu, cette première saison des pluies est d'autant plus marquée que l'on descend davantage vers le Sud.

Il semble que ces premières tornades présentent un caractère d'orages plus marqué que les précipitations de la véritable saison des pluies. Cependant, aucune étude systématique n'a été faite sur ce point particulier.

A partir de juillet, la véritable saison des pluies commence, la pluviosité augmentant très rapidement. Il s'agit là d'une véritable avancée du Front Intertropical vers le Nord. Le maximum est atteint généralement en Août; la pluviométrie de ce mois est de l'ordre de 200 à 250 mm. en moyenne. Septembre est légèrement inférieur. Octobre est très faible (recul du F.I.T. vers le Sud).

Les précipitations en novembre sont insignifiantes ou nulles. Elles sont nulles, quelles que soient les années pendant la seconde quinzaine.

Nous avons déjà vu que la pluviométrie de décembre était nulle, à de très rares exceptions près.

Nous verrons que cette rapide transition entre le maximum des précipitations et la sécheresse absolue est suivie fidèlement par les débits avec un peu de retard.

Les diverses stations donnent des graphiques analogues (voir en annexe). Toutefois, le graphique de N'GAOUNDERE présente les caractères marqués du régime tropical de transition avec un seul mois absolument sec, février, un début de saison des pluies bien marqué en avril et en mai et des précipitations notables en décembre. La saison des pluies s'étire, présentant souvent un minimum bien marqué en juin. En ce qui concerne la hauteur d'eau totale sur le bassin, on retrouve l'influence de l'altitude sur les précipitations. On note, par ailleurs, que le maximum est en juillet et non en août. On voit que le régime des pluies pour cette région commence à se rapprocher du régime équatorial.

Dans le Nord du bassin, au contraire, la saison sèche s'allonge et la petite saison des pluies disparaît.

3°- Comment s'effectuent les précipitations : les tornades

La quasi-totalité de l'eau tombe au cours de "tornades" (1) courtes et violentes. Une tornade se présente d'abord par un front de cumulo-nimbus animé d'une grande vitesse en provenance de l'Est. Peu après, de grandes rafales de vent commencent à souffler d'une manière soudaine avec violence. Il arrive fréquemment que des arbres soient abattus, des toitures de cases emportées. Quelques minutes après la première rafale, la pluie tombe, fouettant les obstacles presqu'à l'horizontale. La durée d'une tornade varie de 1 à 3 heures. Il nous a semblé qu'elles étaient plus longues dans la partie Est du bassin que dans la région de GAROUA. La pluie s'atténue après cessation des rafales et peut durer encore une demi-heure environ.

---

(1) Le terme de "tornade" est impropre. Il s'agit plutôt d'orages. Mais nous nous en tiendrons à l'usage local.

Sur l'ADAMAOUA et le Massif de POLI, les longues pluies peu intenses en l'absence de véritables tornades sont plus fréquentes qu'ailleurs.

Les tornades n'affectent, dans le cas le plus général, qu'une surface limitée, de l'ordre de quelques centaines de kilomètres carrés. Nous verrons plus loin l'influence heureuse de cette faible extension sur les crues.

4°- Précipitations exceptionnelles

Nous possédons les relevés journaliers des postes pluviométriques du bassin de la BENOUE pour les années les plus récentes. On peut diviser ces stations, au point de vue du régime pluviométrique, en trois classes :

a) les stations du Nord-Cameroun
b) les stations des abords de l'ADAMAOUA
c) une série de stations intermédiaires, telles que GAROUA ou PALA par exemple.

Les courbes de fréquence cumulées des précipitations de 24 heures pour les différentes stations du Nord-Cameroun sont très voisines les unes des autres, ce qui montre que leurs régimes pluviométriques sont très voisins. Nous pouvons donc leur appliquer la méthode des stations-années et bloquer toutes les observations comme s'il s'agissait d'une seule station. Nous notons cependant qu'à MAROUA il y a deux stations distantes de quelques kilomètres pour lesquelles les précipitations ne sont pas indépendantes. C'est pourquoi nous ne prendrons qu'une seule des deux stations de MAROUA. On peut alors tracer la courbe de fréquence globale cumulée correspondant à 25 ans. Soit p le nombre de précipitations de 24 h. dépassant une valeur donnée au cours d'une année, les valeurs de p doivent être déterminées en utilisant la courbe :

$$p = 67,5 + 46,3 \times \log. \frac{1}{f}$$

Il semble toutefois que pour les fréquences rares, la courbe réelle s'écarte un peu de la droite correspondant, en coordonnée semi-logarithmique, à la formule. En effet, pour les précipitations de fréquence décennale, on trouve par la formule 114 mm. environ, alors qu'il semble que cette valeur doit être prise aux environs de 100 mm. par 24 heures.

Ces chiffres sont tout-à-fait comparables aux précipitations décennales de 24 heures données par M. WELTER pour l'A.O.F. Notons, toutefois, qu'il s'agit, pour ces derniers chiffres, d'un maximum observé en dix ans. Une partie notable des chiffres donnés par M. WELTER doit correspondre à des précipitations de fréquence inférieure à 1/10°.

On a tracé une courbe analogue pour les précipitations des stations du Sud du bassin : POLI, N'GAOUNDERE et REI-BOUBA. Les précipitations décennales seraient de 90 mm. environ, soit un peu plus faibles. Les courbes sont très très analogues pour les deux régions. Cependant, les précipitations entre 0 et 40 mm. semblent plus nombreuses pour la région Sud du bassin.

Bien entendu, ces résultats correspondent uniquement à des précipitations de 24 heures. En fait, d'après les études fragmentaires qui ont été faites sur les précipitations instantanées, il semble que la majeure partie des précipitations de 100 mm. correspondent à deux précipitations successives à peu près équivalentes, par exemple 60 et 40 mm. ou à une tornade de 40 mm. suivie de plusieurs heures de crachin. Il arrive cependant que la presque totalité de la pluie soit bloquée en une seule tornade extrêmement violente, comme l'ont montré les observations faites en 1950 à FORT-LAMY où il a été constaté une tornade de 135 mm. en deux heures. Il est difficile d'évaluer la fréquence de tels phénomènes. En tout état de cause, elle semble très inférieure à une fréquence décennale. Mais on ne doit pas oublier de telles éventualités dans l'étude des crues de petits bassins versants.

5°- L'irrégularité interannuelle

Le tableau ci-après donne une idée de l'irrégularité des précipitations annuelles pour les cinq dernières années.

On trouve les coefficients d'irrégularité suivants (rapport de la hauteur annuelle la plus forte à la hauteur la plus faible). Les longueurs des périodes d'observations ont été portées entre parenthèses.

GAROUA	: 2 (20 ans)	POLI	: 1,8 (15 ans)
MAROUA	: 2 (20 ans)	N'GAOUNDERE	: 1,8 (20 ans)

HAUTEURS ANNUELLES AUX DIVERSES STATIONS

	1948	1949	1950	1951	1952	Normale
N'GAOUNDERE	1878,6	1366,5	1292,8	1600	1467	1542
POLI	1465,6	921,3	1425,4	1637	1279	1364
REI-BOUBA	1675,6	1038,3	1265,6	1206	873	1195
PALA	1391	955	1135	998	1052	1105
FIANGA		797	734,5	1050	846	857
LERE	1039,7	855,8	1079,5	695	653	851
GAROUA STAT.	1098,4	910,6	537,2(?)	1008	963	992
KAELE	927,8	877,9	802,6	997,2	1032	905
MAROUA	753,6	644,2	850,5	1016,2	826	798
GUIDER	869,5	754,6	828,5	923	1157	910
MOKOLO	854,1	1259,5	958		946	969
BONGOR		722,5	845,4	1020	820	972

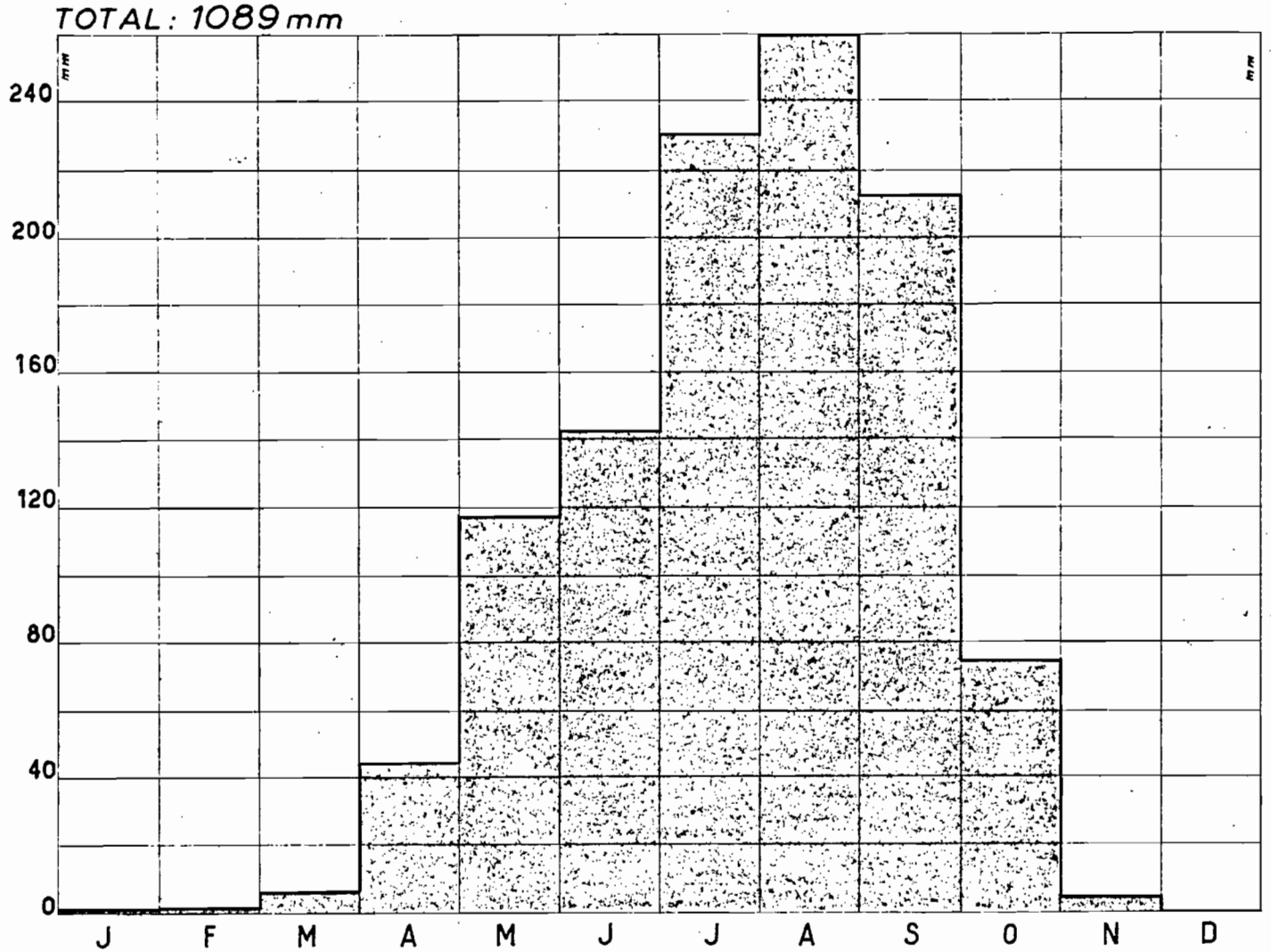
Nous constatons donc une faible irrégularité pour l'ensemble du bassin. L'étude des bassins versants tropicaux voisins conduit à des conclusions analogues.

GR 4

PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

Sur le bassin versant de la BÉNOUÉ à GAROUA

ANNÉE NORMALE



CAM4356

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 13-10-53

DES:

VISA:

TUBE N°:

A O

C H A P I T R E II

LES DEBITS

I) EQUIPEMENT DU BASSIN, OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES - (carte n° 4)

On trouvera ci-dessous, la liste des échelles, actuelles ou anciennes, installées par la mission pour la plupart et dont les relevés ont servi à cette étude.

Nous avons dû donner à ce chapitre sans grand intérêt technique un assez grand développement afin de conserver des renseignements précieux pour tout ingénieur reprenant l'étude des observations anciennes.

a) Bassin de la HAUTE-BENOUE (limité à RIAO)

- Echelle de OUAK, sur la BENOUE, 13 km. à l'aval de la "Falaise".
  - Posée le 29/1/51 par la Mission Logone-Tchad.
  - Lue depuis le 30/1/51 par le moniteur africain de l'école. Lectures arrêtées le 1er Novembre 1951. Lectures très sérieuses.
  - Altitude approximative du zéro : 680 m.
  - Cette échelle a été remplacée depuis par l'échelle de N'DOM.

- Echelle de N'DOM
  - Posée le 4/12/52 par la Section Hydrologique du Cameroun.
  - Lue depuis sa mise en service par le moniteur africain de N'DOM.

- Altitude approximative du zéro : 660 m.

De part sa situation au pont de N'DOM, qu'emprunte depuis peu la nouvelle route de la "F laise", cette station présente des conditions d'accès et de contrôle des plus favorables.

- Echelle de RIAO, 60 km. à l'amont de GAROUA

  - Posée par la Mission Logone-Tchad le 14/4/50 en deux tronçons. Tronçon d'étiage emporté au cours de la crue de 1950, rétabli le 13/11/50. Echelle remplacée le 14/8/51 par quatre tronçons, le nouveau zéro étant abaissé de 23 cm. par rapport à l'ancien.
  - Altitude approximative du zéro : 186 m.
  - Tous les éléments ont été emportés le 23 Septembre 1952
  - Lue du 1/5/50 au 13/10/50, puis du 13/11/50 jusqu'au 22 Septembre 1952.
  - Rétablie en Janvier 1953.

Le zéro de la nouvelle échelle est à 70 cm. au-dessous de la précédente échelle. Les lectures ont été très sérieuses pendant les deux premières années; elles sont nettement moins sûres depuis 1952.

- Echelle du MAYO-SALA sur le pont de la route N'GAOUNDERE-GAROUA.

  - Posée en 1945 par les Travaux Publics (Arrondissement de GAROUA). Aujourd'hui disparue.
  - Lue de Septembre à Novembre 1945 et de Janvier à Septembre 1946. Ces relevés ne fournissent que de simples indications de fluctuations de niveau.

b) Bassin du MAYO-KEBI

Pour l'étude de la capture du LOGONE (voir chapitre III), signalons simplement les échelles de GOUNOUGAYA, PATALAO et FIANGA sur la KABIA et de POGO sur la LOKA, posées par la Mission Logone-Tchad.

- Echelle de FOULI-HAOUSSA sur le lac de LERE.

  - Posée le 30/6/50 par la Mission Logone-Tchad, en deux tronçons.
  - Lue du 2/7/50 au 30/11/50 et à partir du 11/7/51, par le secrétaire africain du chef-lieu de district. Lectures sérieuses.
  - Altitude du zéro : 231 m.

- Echelle de M'BOURAO, sur le MAYO-KEBI

  - Posée par la Mission Logone-Tchad.
  - Lue de Juillet 1948 à Mars 1949, d'Août 1949 à Février 1950 et d'Août à Octobre 1950. Lectures douteuses.
  - Altitude approximative du zéro : 318 m.

- Echelle de FAMOU, sur le MAYO-KEBI

  - Posée en Avril 1950 en deux tronçons par la Mission Logone-Tchad. Tronçon d'étiage emporté par la crue de 1950. Cette échelle a été remplacée le 12/2/51 par quatre tronçons étagés, le nouveau zéro étant abaissé de 9 cm. par rapport à l'ancien.
  - Lue du 1er Mai au 3 Octobre 1950 et à partir du 19 Février 1951. Lectures assez bonnes.
  - Altitude approximative du zéro : 192 m.

Elle a été remplacée le 18 Février 1953 par l'échelle de MALOUM, située à 15 km. en aval. Cette échelle présente de meilleures conditions d'accès, la section est meilleure au point de vue hydraulique.

Un observateur a été détaché spécialement pour en assurer les lectures.

- Echelle de MONBAROUA, sur le MAYO-BINDER

  - Installée par la Mission Logone-Tchad.
  - Lectures épisodiques en vue d'études particulières de crues en 1950 et 1953.

- Echelle de GOLOMBE, sur le MAYO-OULO

  - Posée le 27 Juin 1951 par la Mission Logone-Tchad.
  - Lectures épisodiques pour études de crues.
  - Remplacée en 1952.

Plusieurs échelles ont été posées sur le MAYO-LOUTI et le MAYO-OULO. Elles n'ont jamais été lues.

c) Bassin de la MOYENNE BENOUE

- Echelle de GAROUA, sur la BENOUE.

Plusieurs systèmes d'échelle furent utilisés dans le passé, tant par les Travaux Publics que par la Société KING ltd qui mesure les niveaux de crue pour le compte de l'UNITED AFRICA C°, compagnie de transports fluviaux sur la BENOUE. Une enquête nous a permis d'établir les points suivants :

1°- Avant 1936, il existait une seule échelle accolée au wharf sur lequel s'effectuait alors la manutention du frêt. Le zéro était situé à 4,30 m. au-dessous de la tête du wharf, soit à une altitude de 178,285 (3,80 m. au-dessus de l'échelle 1948). Les Travaux Publics conservèrent ce système jusqu'au 10/10/45.

2°- A partir de 1936, et jusqu'à 1946 inclus, la KING adopta un zéro situé à 3,66 m. sous le zéro de la première (0,14 m. au-dessus du niveau de l'échelle de 1948).

3°- Du 31/10/45 au 30/4/48, les Travaux Publics lisent les niveaux :

a) sur une échelle haute, échelle n° 1 dont le zéro est à 178,585, soit 0,30 m. au-dessus de l'échelle de 1930;

b) sur une échelle basse dont le zéro est à 3,98 m. au-dessus du zéro de l'échelle précédente.

4°- Enfin, lors de la construction du nouveau quai, les Travaux Publics firent bétonner une nouvelle échelle qui fut adoptée par tous et qui entra en service le 1er Mai 1948. Le zéro de cette échelle est situé à 174,485. La Mission Logone-Tchad assura elle-même les lectures à partir du 24 Mai 1950. Les éléments d'échelle ajoutés depuis sont calés sur le même zéro.

Enfin, il nous faut signaler l'entrée en service à GAROUA d'un limnigraphe enregistreur à flotteur à partir du 1er Août 1951. Ce limnigraphe fut installé par les Travaux Publics de GAROUA sur les plans de la Mission Logone-Tchad.

Combinant toutes ces sources de renseignements, nous possédons, d'une part des lectures éparses des mois

de crue à partir de 1930 et, d'autre part, des lectures complètes à partir de 1946 inclus.

Lectures assez sérieuses en général, surtout celles de hautes eaux.

d) Bassin du FARO

- Echelle de SAFEI, sur le FARO

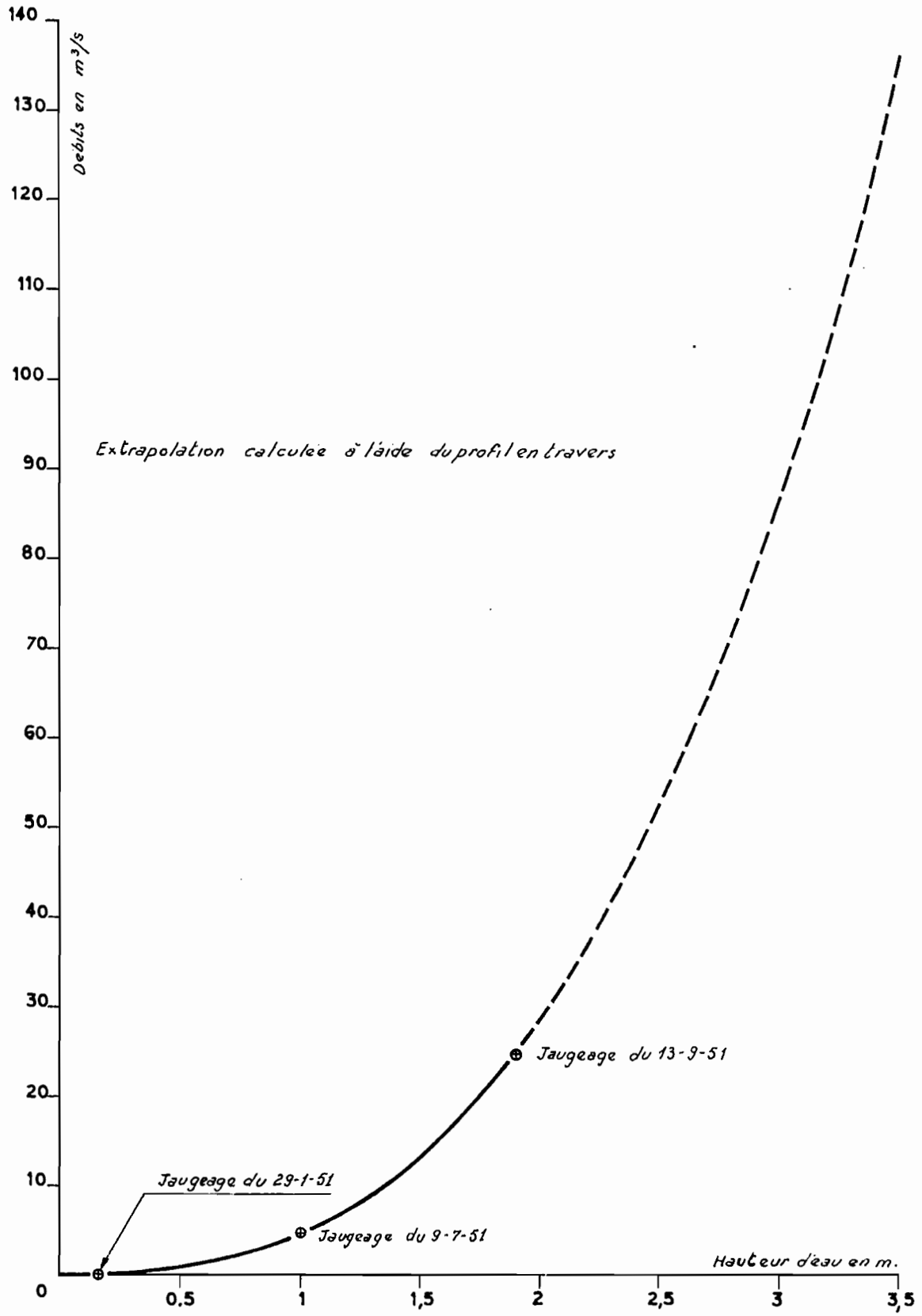
  - Posée le 3 Mai 1950 par la Mission Logone-Tchad, en deux tronçons. Tronçon d'étiage emporté par la crue de 1950. Echelle restaurée en trois tronçons le 23/1/51.
  - Lectures de 1950 inexistantes par suite de la carence du lecteur.
    Lectures en 1951 du 24 Janvier au 1/12/51. Reprises en Avril 1952, puis à partir du 1er Septembre 1952.

Lectures difficiles : sur tout le cours du FARO, il n'existe que deux observateurs capables de lire une échelle :l'un n'est pas volontaire pour faire ce travail, l'autre n'est pas consciencieux.

Notons qu'une ancienne échelle posée par les Travaux Publics à TCHAMBA, 5 km. à l'aval de SAFEI, a été lue du 24 Juin au 16 Novembre 1947. Elle a été emportée par le courant.

GR 5

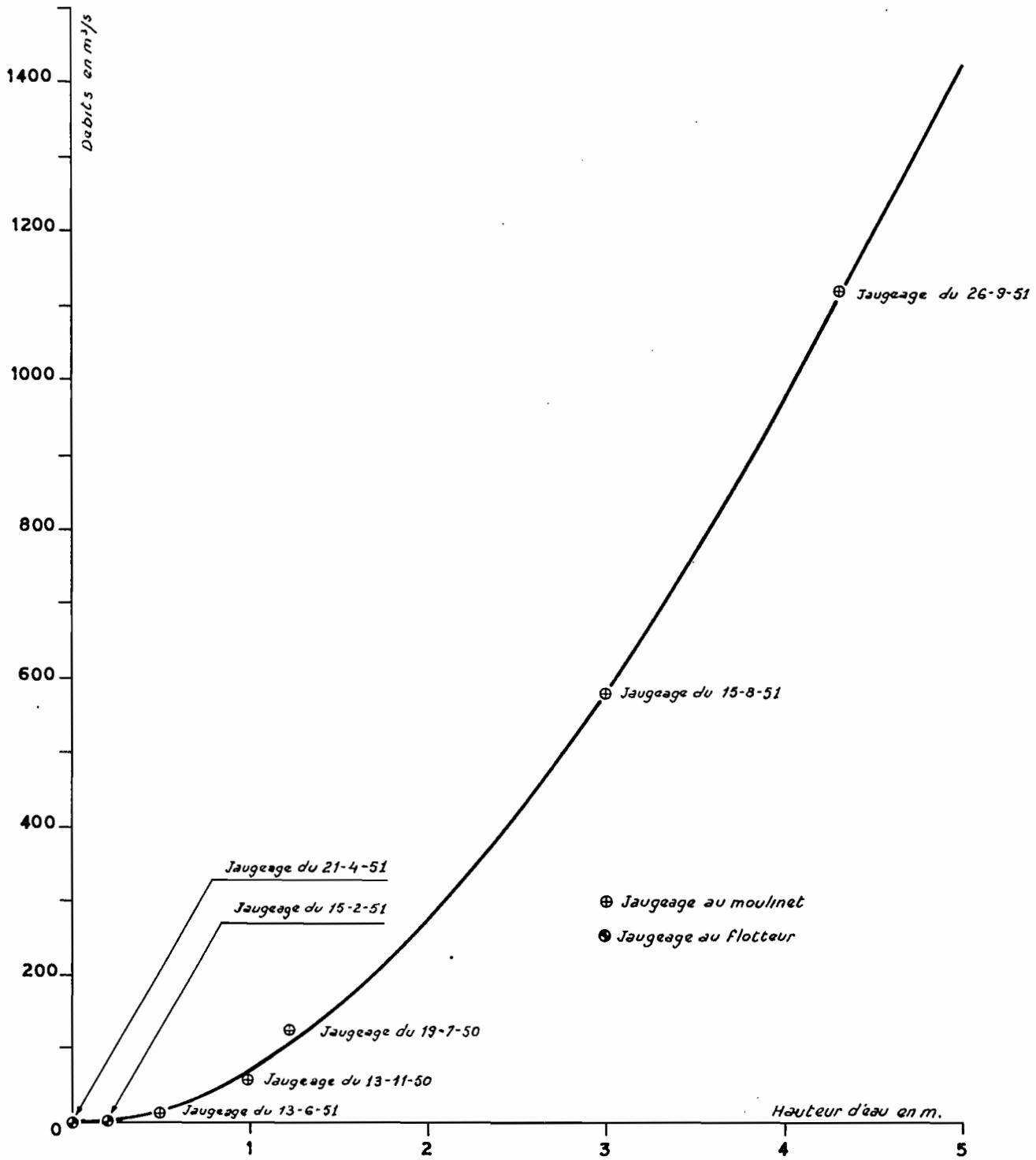
BENOUE A OUAK



CAM 3148	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED1	LE: 7-3-52	DES: B R	VISA:	TUBE N°:	B 0

GR 6

BENOUE A RIAO



CAM 3146	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER				
	ED:	LE: 6-3-52	DES: BR	VISA:	TUBE N°: B O

II) STATIONS DE JAUGEAGE; ETALONNAGE DES ECHELLES -

Au cours des années 1950 et 1951, la Mission Logone-Tchad a pu étalonner les échelles de OUAK, RIAO, GAROUA, FAMOU et SAFEI par des jaugeages complets au moulinet. Cette série de jaugeages a été complétée par ceux effectués en 1952 et 1953 par le Service Hydrologique de l'Institut de Recherches Camerounais.

a) Station de OUAK (graphique n° 5)

Bassin versant : 1.800 km2 - Pente locale : 2 m/km.

La BENOUE coule dans un lit de gneiss, assez encaissé, coupé de rapides. Alternance de seuils rocheux et de mouilles sableuses. Cote la plus haute pour laquelle existe un jaugeage : 1,90 m. (24,8 m3/sec). On a pu extrapoler au-delà jusqu'à 3,70 m. (160 m3/sec.) grâce à un profil en travers complet de la section.

Ce bassin, de faible étendue et entièrement situé sur les pentes de l'ADAMAOUA, nous permettra d'étudier le régime de ce massif.

La station de N'DOM est en cours d'étalonnage.

b) Station de RIAO (graphique n° 6)

Bassin versant : 31.000 km2 - Pente locale : 28 cm/km.

Lit de sable divagant pendant l'étiage. Berges argilo-sableuses. La station se place un peu à l'aval d'un méandre donnant une rive droite verticale et soumise à l'érosion latérale et une rive gauche très basse, donnant lieu à un champ d'inondation de 300 à 400 m. en grande crue. Largeur du lit apparent : 215 m.

Cette station nous permettra d'étudier le régime de la BENOUE sans le MAYO-KEBI. Elle se situe, d'autre part, immédiatement à l'aval du site de barrage de LAGDO, dont l'étude se poursuit en vue de la régularisation du débit (voir chapitre IV).

c) Station de GAROUA (station principale) (graphique n° 7)

Bassin versant : 64.000 km2 - Pente locale : 10 cm/km.

Lit de sable plus stable qu'à RIAO en basses eaux. Ce fait est dû à l'existence d'un seuil gréseux dont nous parlerons plus loin. Se place également un peu à l'aval d'un méandre. Les deux rives argilo-sableuses du lit apparent sont raides. Du côté droit, il s'agit en réalité d'un bourrelet séparant le lit apparent (largeur 170 m.) du lit d'inondation qui atteint en cet endroit 2 km. Pas d'érosion latérale.

La recherche de la loi définissant les rapports entre hauteurs et débits est très délicate. En effet :

1°- Cette loi n'est pas univoque : non seulement on doit tenir compte de courbes différentes pour la crue et la décrue, mais encore il y a lieu d'utiliser des courbes distinctes pour les diverses vitesses de montée ou de descente des eaux.

2°- Le lit varie dans les sections de jaugeage de hautes et de basses eaux, légèrement heureusement pour les hautes eaux et les eaux moyennes, fortement pour les basses eaux jusqu'à fin 1951.

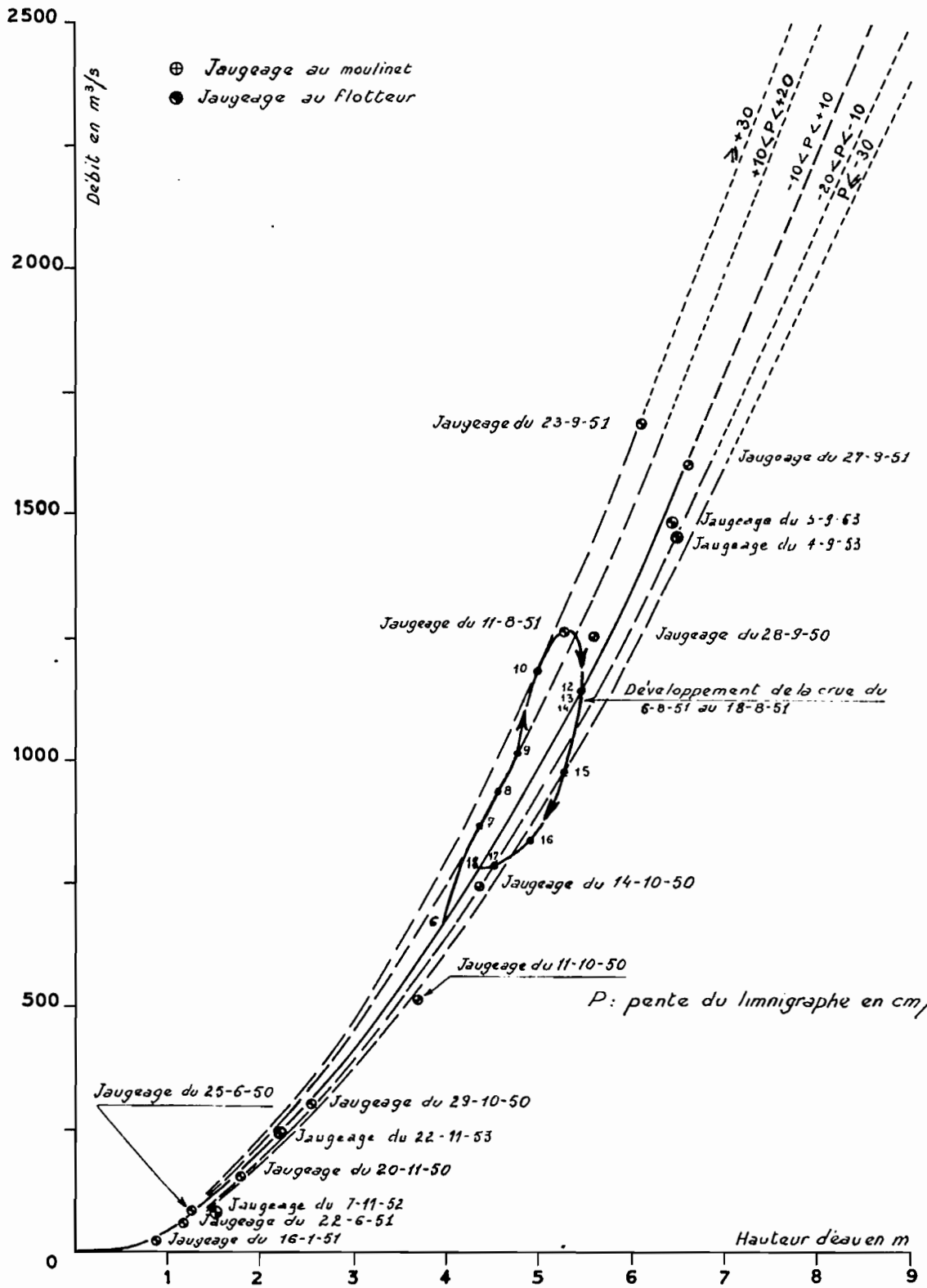
L'étalonnage qu'exigerait environ 50 points de mesures pour être définitif a été très long et il n'est encore qu'à l'état provisoire.

a) Variations du lit :

Il n'a pas été tenu compte de ces variations pour les hautes eaux et les eaux moyennes; il s'agit de légers déplacements de bancs de sable. Les variations, bien connues d'ailleurs grâce aux profils de jaugeage, conduisent à une dispersion dans les résultats, dispersion admissible.

Même dans les années antérieures à 1950, les variations ont dû rester faibles : dans la section de jaugeage et au droit de l'échelle. En effet, les pilotes de l'U.A.C. fixent leur arrivée ou leur départ au début ou à la fin de la crue à partir de profondeurs limitées,

BENOUE A GAROUA



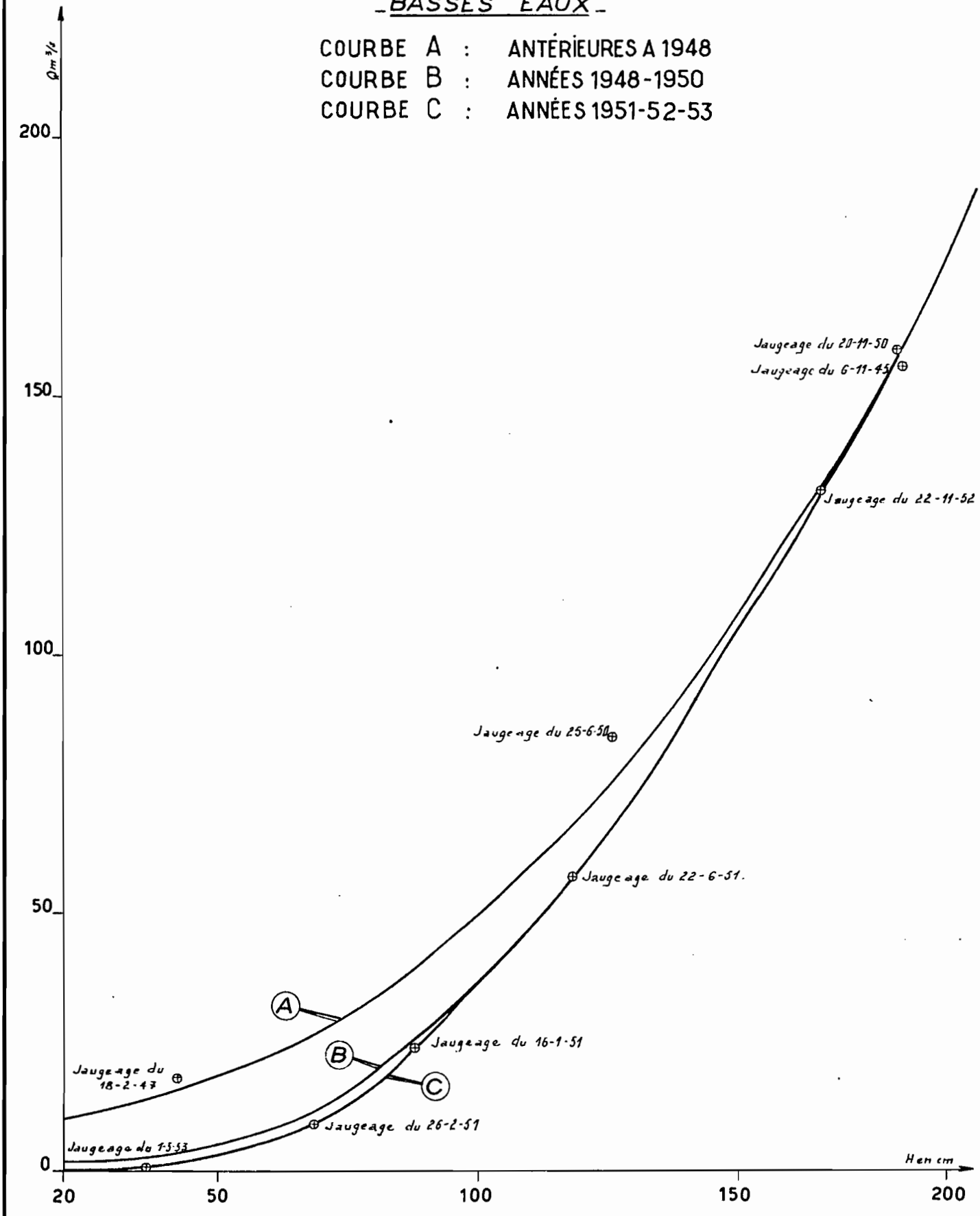
CAM3149	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 8 - 2 - 52	DES: GB	VISA:	TUBE N°:	B O

BÉNOUÉ A GAROUA

GR.8

BASSES EAUX

COURBE A : ANTÉRIEURES A 1948
COURBE B : ANNÉES 1948-1950
COURBE C : ANNÉES 1951-52-53



CAM 4517	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 7-12-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

déterminées uniquement à partir de cotes à l'échelle qui n'ont pas varié depuis 30 ans au moins, ce qui exclut toute variation importante du lit au droit de l'échelle. Le lit au droit de la section de jaugeage ne doit pas varier davantage grâce à la présence d'un affleurement gréseux.

En basses eaux les variations du lit sont beaucoup plus gênantes; l'écoulement a été longtemps perturbé par la construction d'un radier démoli tous les ans à la crue, reconstruit en basses eaux, toujours au même emplacement, mais avec des dispositions différentes. Il est à noter que les différences entre les dispositions du radier étaient pratiquement sans influence pour les hautes eaux et les eaux moyennes. Depuis 1951, la construction d'un radier définitif en béton a conduit à des conditions d'écoulement stable. On devra donc, pour les basses eaux, utiliser plusieurs courbes jusqu'en 1951 (graphique n° 8) :

- courbe A valable de 1945 à 1947
- courbe B valable de 1948 à 1950
- courbe C valable de 1951 à 1953

b) Influence de la vitesse de crue ou de décrue sur la loi hauteur-débit à GAROUA

Le développement ci-après n'est valable que pour les hautes eaux, au-delà de 250 m3/sec. En-dessous, on utilise une courbe unique moyennant les réserves faites plus haut.

La très faible pente locale combinée avec la rapidité de la montée des eaux : fréquemment plus de 0,50 m. par 24 heures, conduit à des pentes superficielles nettement différentes pour une même hauteur à l'échelle suivant l'instant de la crue qui correspond à cette hauteur (crue maximum ou décrue). Il en résulte qu'une même cote à l'échelle peut correspondre à des débits assez différents.

Ce phénomène est bien connu sur le SENEGAL inférieur où il se produit exactement pour les mêmes raisons. Il nous a été révélé avant tout dépouillement de jaugeage par des inclinaisons différentes du câble porteur du saumon ou pour des cotes voisines. Pour un expérimentateur non averti, il en résulte immédiatement une très grande dispersion des points expérimentaux.

Nous avons été ainsi conduits à remplacer la courbe de tarage classique par un réseau de courbes d'étalonnage qui pourrait être gradué en pentes superficielles. Mais, dans la pratique, en Afrique, il est très difficile de connaître cette pente superficielle instantanée. Il faudrait pour cela voir deux échelles reliées par un nivellement de précision et lues simultanément avec la même précision. Nous avons, pour simplifier, gradué notre réseau en pentes de la courbe limnimétrique.

Pour mieux mettre en évidence le phénomène, nous avons tracé sur le réseau d'étalonnage (graphique n° 17) la propagation de la crue au 18 Août 1951 (voir tableau ci-contre).

Nous voyons que le maximum du débit, 1.255 m3/sec., correspond à une lecture d'échelle de 5,32 et précède le maximum de hauteur de trois jours. Celui-ci (5,46 m.) correspond à un débit de 1.144 m3/sec.

L'utilisation du réseau de courbes d'étalonnage est délicate. En effet, les hauteurs d'eau varient très rapidement à l'échelle de GAROUA, parfois plusieurs décimètres en 24 heures. Dans ces conditions, il est difficile d'estimer la pente de la courbe limnimétrique en l'absence de limnigraphe et, par suite le choix de la courbe d'étalonnage est un peu arbitraire. Sauf pour l'année 1951, on doit s'attendre, de ce fait, à des erreurs de 6 à 7 % sur les débits. Il semble d'ailleurs que, sur les moyennes annuelles, ces erreurs doivent se compenser.

Le tableau ci-contre donne les résultats des 19 jaugeages à GAROUA. Ces jaugeages ont été effectués soit avec des flotteurs, soit au moulinet et par quatre opérateurs différents, avec des moulinets différents (pour les jaugeages récents). Dans ces conditions, toute erreur systématique est exclue. Ces jaugeages sont assez bien répartis, mais pour établir un réseau de courbes précis, il en faudrait environ deux fois plus.

Nous avons porté pour chaque jaugeage complet, effectué au moulinet :

- la vitesse moyenne superficielle (V moy. s) (moyenne pondérée des mesures de vitesses superficielles);

CRUE DE LA BENOUE A GAROUA

du 6 au 18 Août 1951

Date	Hauteur m.	Pente (1) en cm/j.	Débit m3/s.
6 Août 1951	3,96	0	670
7 " "	4,36	20	860
8 " "	4,56	20	875
9 " "	4,80	16	1.000
10 " "	5,06	30	1.204
11 " "	5,32	26	1.255
12 " "	5,44	0	1.136
13 " "	5,42	0	1.128
14 " "	5,46	0	1.144
15 " "	5,28	- 30	974
16 " "	4,90	- 44	830
17 " "	4,52	- 22	780
18 " "	4,38	0	790

(1) Les pentes en cm/jour correspondent au point midi de la courbe du limnigraphe.

JAUGEAGES DE LA BENOUE A GAROUA

Mode d'exécution	Date	Lecture échelle cm.	Lit apparent Vmoy.s m/s.	Vmax.s m/s.	U m/s.	S m2	$k_1 = \frac{U}{Vms}$	$k_2 = \frac{U}{Vmaxs}$	Q_1	Q total lit apparent + lit inondation	Lit apparent Ray.Hy. m.	Pente 1/10.000
Flotteur	6/11/45	182	0,655	0,81	0,59	264	0,9 (1)	0,73(1)	0	156	1,37	
Flotteur	18/ 2/47	42	0,60	0,64	0,48	32	0,80(1)	0,75(1)	0	18	0,70	
Moulinet	25/ 6/50	126	0,278	0,590	0,245	342	0,88	0,415	0	84	2,07	0,134
Flotteur	28/ 9/50	556	1,316	1,72	1,235	968	0,94(1)	0,72(1)	56	1.251	5,22	0,11
Flotteur	14/10/50	437	0,887	1,28	0,834	871	0,94(1)	0,64(1)	16,9	743	4,65	0,61
Flotteur	19/10/50	370	0,719	1,06	0,685	755	0,94(1)	0,64(1)	0	516	4,12	0,47
Moulinet	29/10/50	255	0,55	0,95	0,52	580	0,94	0,55	0	301	3,31	0,37
Moulinet	20/11/50	181	0,408	0,71	0,32	428	0,91	0,525	0	159	2,52	0,274
Moulinet	16/ 1/51	88	Section différente						0	24		

(1) Ce coefficient ne résulte pas d'une mesure, mais il a été adopté pour le calcul du débit.

JAUGEAGES DE LA BENOUE A GAROUA (suite)

Mode d'exécution	Date	Lecture échelle cm.	Lit apparent							Q total lit apparent + lit inondation	Lit apparent	
			Vmoy.s m/s	Vmax.s m/s.	U m/s.	S m2	$K_1 = \frac{U}{Vms}$	$k_2 = \frac{U}{Vmax.s}$	Q_i		Ray.Hy. m.	Pente 1/10.000
Moulinet	22/ 6/51	118	0,190	0,360	0,180	316	0,94	0,5	0	57	1,82	0,118
Moulinet	11/ 8/51	530	1,292	1,96	1,191	944	0,925	0,62	131	1.255	5,02	1,11
Moulinet	23/ 9/51	612	1,535	1,85	1,464	1024	0,955	0,87	181	1.681	5,64	1,44
Moulinet	27/ 9/51	663	1,309	1,675	1,231	1192	0,94	0,735	128	1.598	6	0,94
Moulinet	7/11/52	226	0,85	1,01	0,71	348	0,835	0,717	0	247	1,59	1,5
Moulinet	22/11/52	166	0,74	0,83	0,65	203	0,878	0,783	0	132	0,938	2,25
Moulinet	26/ 2/53	68	0,26	0,45	0,31	29			0	9	0,408	
Moulinet	1/ 5/53	36				4,14			0	0,855		
Moulinet	4/ 9/53	650	1,50	1,85	1,282	1027,5	0,853	0,691	110	1.430	5,67	1,10
Moulinet	5/ 9/53	640	1,45	1,83	1,328	1025	0,915	0,726	110	1.470	5,69	1,20

S : surface de la section mouillée
Qi : débit passant dans le lit d'inondation
V moy.s : vitesse moyenne superficielle
V max.s : vitesse max. superf.
U : vitesse moyenne dans la section

- la vitesse maximum superficielle (V max. s) voisine en général de la vitesse observée au milieu de la section;

- la vitesse moyenne dans la section U m/s.

Ces données nous ont permis de calculer les coefficients $K_1 = \frac{U}{Vms}$ et $K_2 = \frac{U}{Vmax.s}$ qui sont très précieux pour évaluer rapidement des débits de crue en l'absence de tout matériel : un simple flotteur et un chronomètre suffisent si l'on connaît la section mouillée.

Nous voyons que pour des débits qui ont varié de 57 à 1.681 m3/sec. les coefficients k1 ont varié de D,835 à 0,955. Ce coefficient k1 est donc resté d'une remarquable constance au cours de l'étalonnage. Les petits débits correspondent aux coefficients k1 les plus faibles. Il semble qu'on puisse prendre 0,94 pour les débits dépassant 1.000 m3/sec.

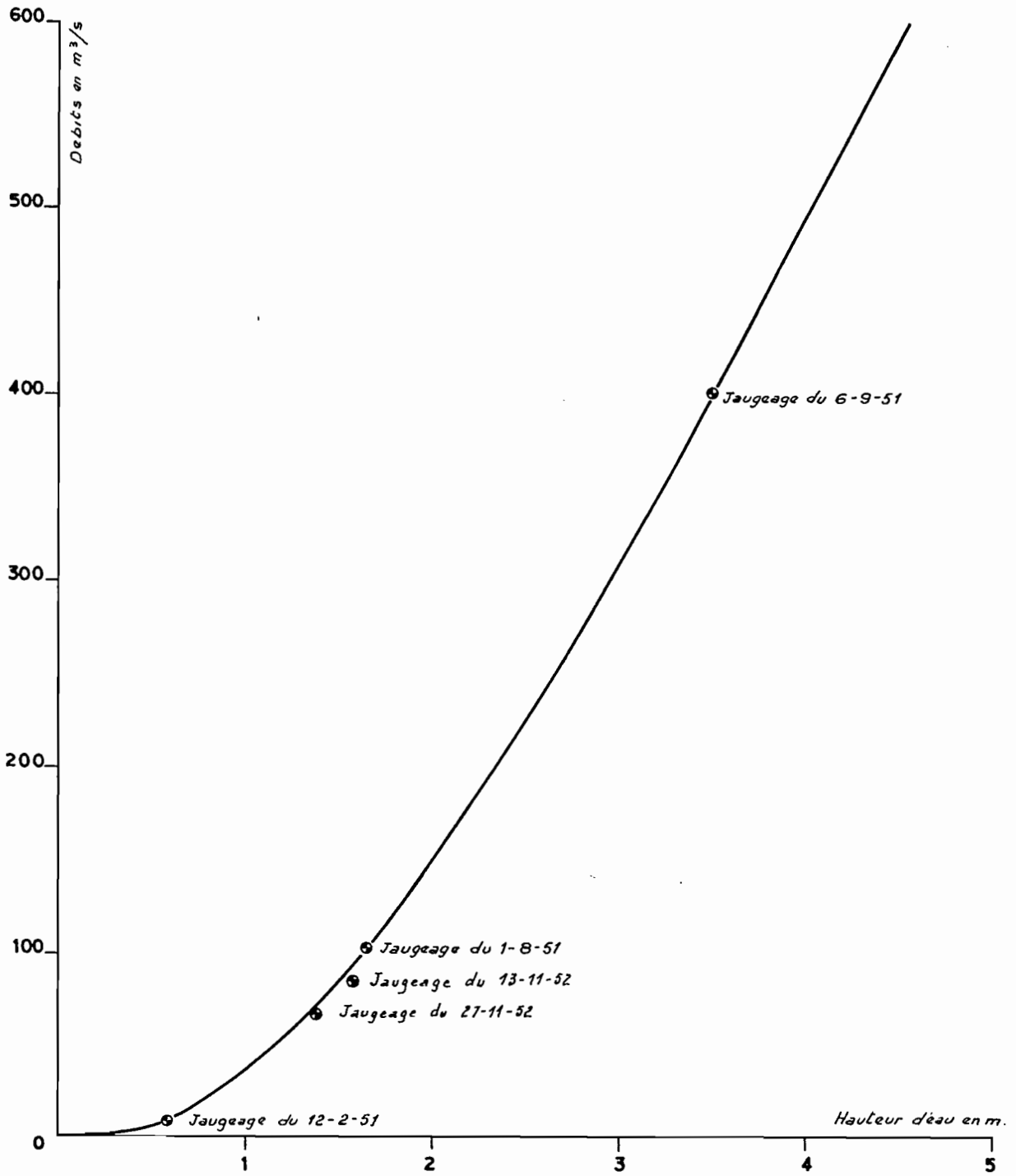
Le coefficient k2 qui correspond à des jaugeages encore plus expéditifs : un seul flotteur, lancé au point jugé de vitesse maximum à l'oeil, s'est montré plus fantasque. Il a varié de 0,415 à 0,735. Les débits passant dans le lit majeur ont été évalués séparément. Cette estimation est difficile, mais elle ne porte que sur un terme correctif.

Nous avons enfin porté les pentes superficielles correspondant à chaque jaugeage, calculées d'après la formule de STRICKLER, en se fixant comme donnée le jaugeage du 27/9/51 pour lequel la pente a été évaluée à 0,94/10.000 par comparaison avec celle du lit. Ces chiffres de pente, s'ils ne sont qu'approximatifs, donnent du moins une idée de l'amplitude des variations pour cette section.

La station principale de GAROUA servira de base pour l'étude de l'ensemble du bassin versant. Elle a, d'autre part, l'avantage d'être située sensiblement au terminus de la navigation (études de la régularisation en vue d'améliorer la navigabilité).

GR 9

MAYO-KEBI A FAMOU



CAM3151	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER				
	ED:	LE: 6-3-52	DES: BR	VISA:	TUBE N°: B O

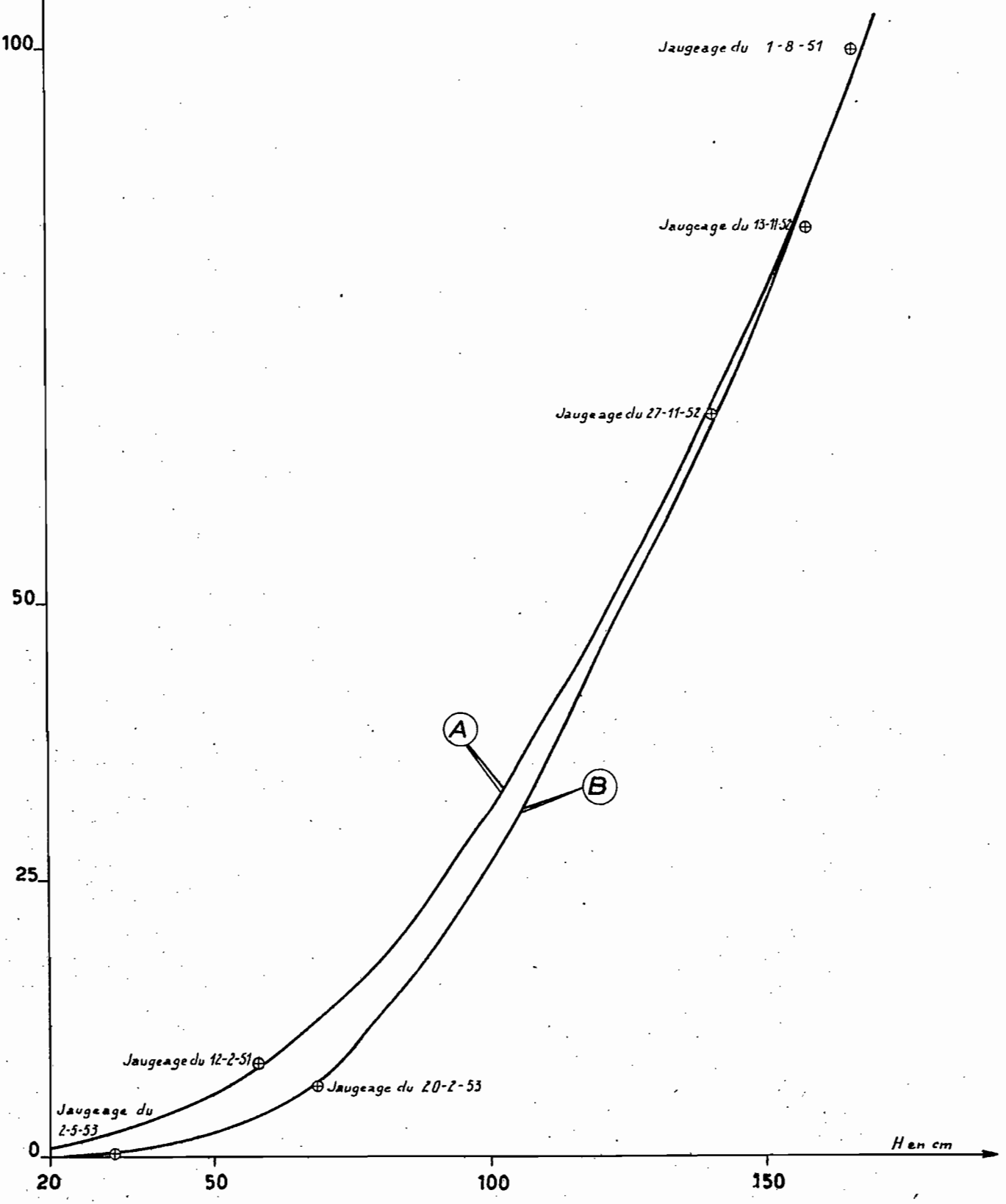
GR.10

MAYO-KÉBI A FAMOU

BASSES EAUX

COURBE A : ANNÉE 1951

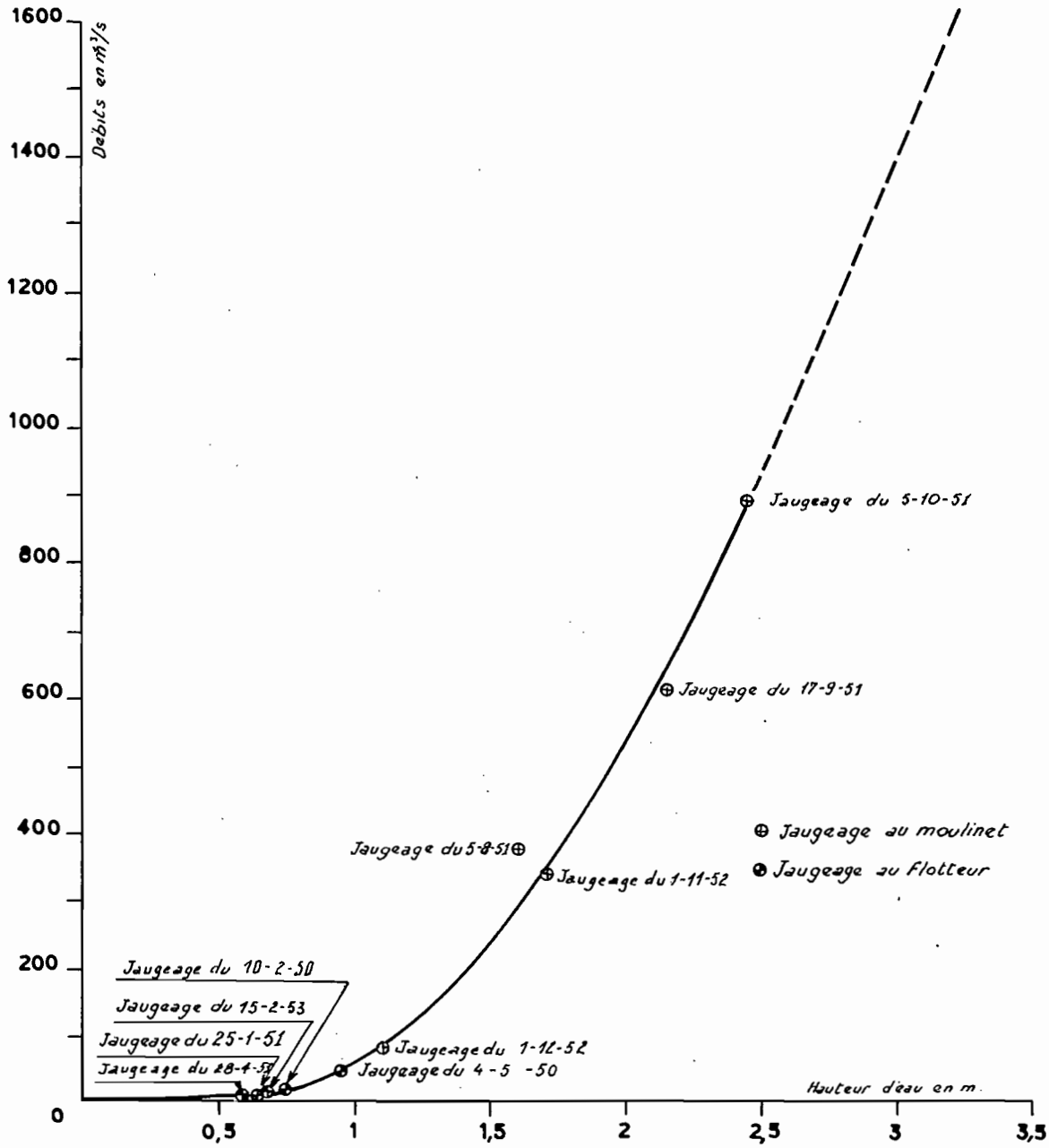
COURBE B : ANNÉE 1953



CAM 4516	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER				
	ED:	LE: 7-12-53	DES: Malaquais	VISA:	TUBE N°: A 0

GR . 11

FARO A SAFAIE



CAM3150	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER				
	ED:	LE: 6-3-52	DES: BR	VISA:	TUBE N°: B O

d) Station de FAMOU (graphiques n° 9 et 10)

Bassin versant : 30.000 km2 - Pente locale : 45 cm/km.

Rives argilo-sableuses donnant sur des nadérés ou champs d'inondation. Un groupe d' îles sableuses au milieu partage le lit en deux bras. Cette configuration rend les jaugeages plus aisés. Le lit apparent a une largeur de 180 m. Les jaugeages sont peu nombreux, mais bien répartis. Cette station nous permettra d'étudier le régime du MAYO-KEBI.

Cette station a été remplacée le 18 Février 1953 par celle de MALOUM. L'étalonnage de basses eaux a été effectué en même temps que la correspondance entre FAMOU et MALOUM. FAMOU n'étant pas encore abandonnée, on pourra achever la courbe d'étalonnage de MALOUM dès que les relevés de hautes eaux seront en notre possession.

e) Station de SAFEI (graphique n° 11)

Bassin versant : 25.360 km2 - Pente locale : 115 cm/km

Malgré la forte pente, le lit est très large, encombré d'îles et divagant; il compte 832 m. d'une berge à l'autre. Les jaugeages sont longs, un jour et demie, en dépit de la faible profondeur moyenne. Le niveau étant instable, avec des variations de l'ordre de 10 cm. par heure, il faut tracer la courbe de variations au cours de chaque jaugeage.

Les jaugeages sont assez nombreux; malheureusement en raison des difficultés d'accès de cette station de jaugeage, il n'a pas été possible de jauger plus de 900 m3/s. de sorte que les maxima de crue que nous donnerons sont assez incertains.

Par ailleurs, le lit du FARO n'est pas stable. Il se creuse ou se remblaie d'une année à l'autre, le tracé des divers bras de basses eaux varie également comme on a pu le constater en 1953. Il est donc nécessaire pour les débits inférieurs à 10 m3/sec. de changer tous les ans la courbe d'étalonnage grâce à une série de jaugeages de contrôle.

Il convient donc de montrer beaucoup de circonspection pour l'estimation des débits de basses eaux d'une

année pour laquelle on ne disposerait pas de jaugeage de contrôle.

Cette station permet de déterminer les caractéristiques du régime hydrologique du FARO.

f) Exécution des jaugeages :

Les jaugeages, dans ce bassin relativement vaste et dépourvu de bonnes voies de communication, se heurtèrent à de grosses difficultés, surtout en hautes eaux.

Le centre de la Mission Logone-Tchad, pour le secteur de la BENOUE, était installé, pendant les années 1950 et 1951 à GAROUA.

En saison sèche, on peut aller en camion de

GAROUA à OUAK ou N'DOM	:	270 km.
" à RIAO	:	60 km.
" à SAFEI	:	210 km.
" à FAMOU	:	60 km.

Ces déplacements s'effectuaient par des pistes très accidentées ou par des parcours en tous terrains.

Dès les premières pluies, la boue ("poto-poto") provoque de nombreux enlisements qui nécessitent l'emploi fréquent du treuil. D'autre part, les radiers de fortune installés sur les petits cours d'eau ou même sur le MAYO-KEBI sont emportés.

Dès lors, une grande partie des déplacements s'effectue :

- soit à pied avec l'aide de porteurs africains qui arrivent à traverser les "mayos" en crue tout en portant le matériel;

- soit en canot automobile, ce qui représente de laborieuses remontées du courant. Par exemple, il faut trois jours pour atteindre SAFEI par ce moyen.

Une fois à pied d'oeuvre, l'opération la plus délicate consiste à traverser un câble divisé par des marques en longueurs égales et à le tendre entre des points fixes. Ces points fixes sont constitués soit par des arbres

soit par des piquets enfoncés à la masse. Ils sont quelquefois en plein courant et maintenus par des manoeuvres durant tout le jaugeage. Des pirogues, réparties le long du câble évitent de le laisser immerger sur une trop grande partie (ruptures fréquentes).

A FAMOU et à SAFEI, des îles divisant le lit permettaient des jaugeages plus faciles parce que portant sur des sections partielles moins larges que le lit lui-même.

Ces opérations effectuées, il reste à prospecter la section sur une série de verticales avec le moulinet adapté à une perche ou un saumon. Cette partie essentielle du jaugeage était effectuée, en général, à bord du canot automobile qui se déplaçait le long du câble.

Un jaugeage sur le FARO nécessite environ trente manoeuvres. L'embauchage de la main-d'oeuvre se fait au cours de contacts directs avec les chefs africains locaux. L'emploi de cette main-d'oeuvre très primitive n'est pas sans présenter de grandes difficultés malgré une bonne volonté sans limite.

g) Vérifications :

La comparaison des volumes annuels écoulés aux diverses stations de jaugeage, en particulier ceux de FAMOU, RIAO et GAROUA, et la comparaison des débits avec les précipitations correspondantes donnent des résultats parfaitement concordants. Il ne semble donc pas qu'il y ait eu des erreurs systématiques dans l'observation des hauteurs d'eau et la transformation des hauteurs en débits.

III) REGIME DES DEBITS SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT -

Le régime de la BENOUE tel qu'on peut l'observer à GAROUA, correspond sensiblement au régime tropical classique caractérisé par un étiage long (4 à 5 mois) avec des débits très faibles et une saison de hautes eaux régulière durant trois mois (Août, Septembre, Octobre) avec des crues et des décrues très brutales. On peut cependant noter quelques divergences dues :

- soit à l'écart entre les latitudes extrêmes du bassin versant (régime tropical de transition au Sud, régime tropical type Nord), et à des différences dans le relief et l'exposition des différentes parties du bassin versant;

- soit à la situation particulière de ces bassins d'A.E.F. à tendance continentale : les variations saisonnières des pluies, comme nous l'avons dit plus haut, correspondraient plutôt à un régime tropical de transition qu'au régime tropical type;

- soit à la nature du lit des divers cours d'eau, pour la HAUTE-BENOUE et surtout pour le MAYO-KEBI.

Il résulte de ces diverses influences que le régime de la BENOUE à GAROUA présente en Mai des débits légèrement plus élevés que dans le régime tropical pur. Les étiages, quoique très faibles, sont légèrement relevés par rapport à ce régime. Enfin, l'irrégularité interannuelle est plus faible que dans le régime tropical.

Le régime au confluent du FARO est légèrement différent du régime à GAROUA. Le FARO présente, comme nous le verrons, un caractère de transition bien marqué avec des crues individuelles très brutales. Le volume de ses apports est tel qu'il peut modifier, dans une certaine mesure, le régime de la BENOUE.

Nous allons examiner successivement les régimes particuliers :

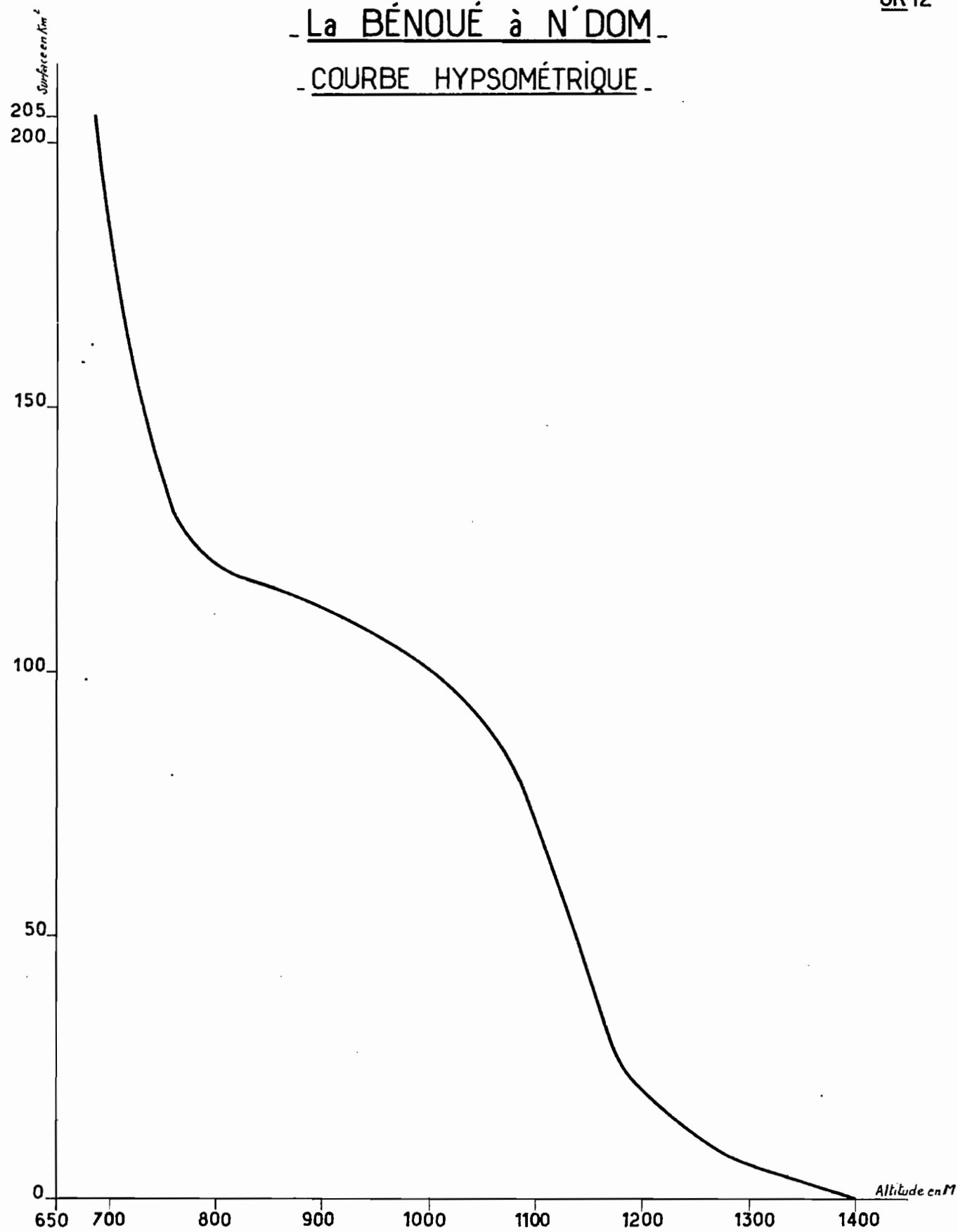
- de la HAUTE-BENOUE avant le confluent du MAYO-KEBI
- du MAYO-KEBI
- de la HAUTE-BENOUE à GAROUA
- et du FARO

en donnant un développement beaucoup plus grand à la station de GAROUA. Les caractéristiques particulières de chaque cours d'eau dépendront de la latitude moyenne du bassin versant et du relevé du réseau hydrographique.

GR 12

La BÉNOUÉ à N'DOM

COURBE HYPSOMÉTRIQUE

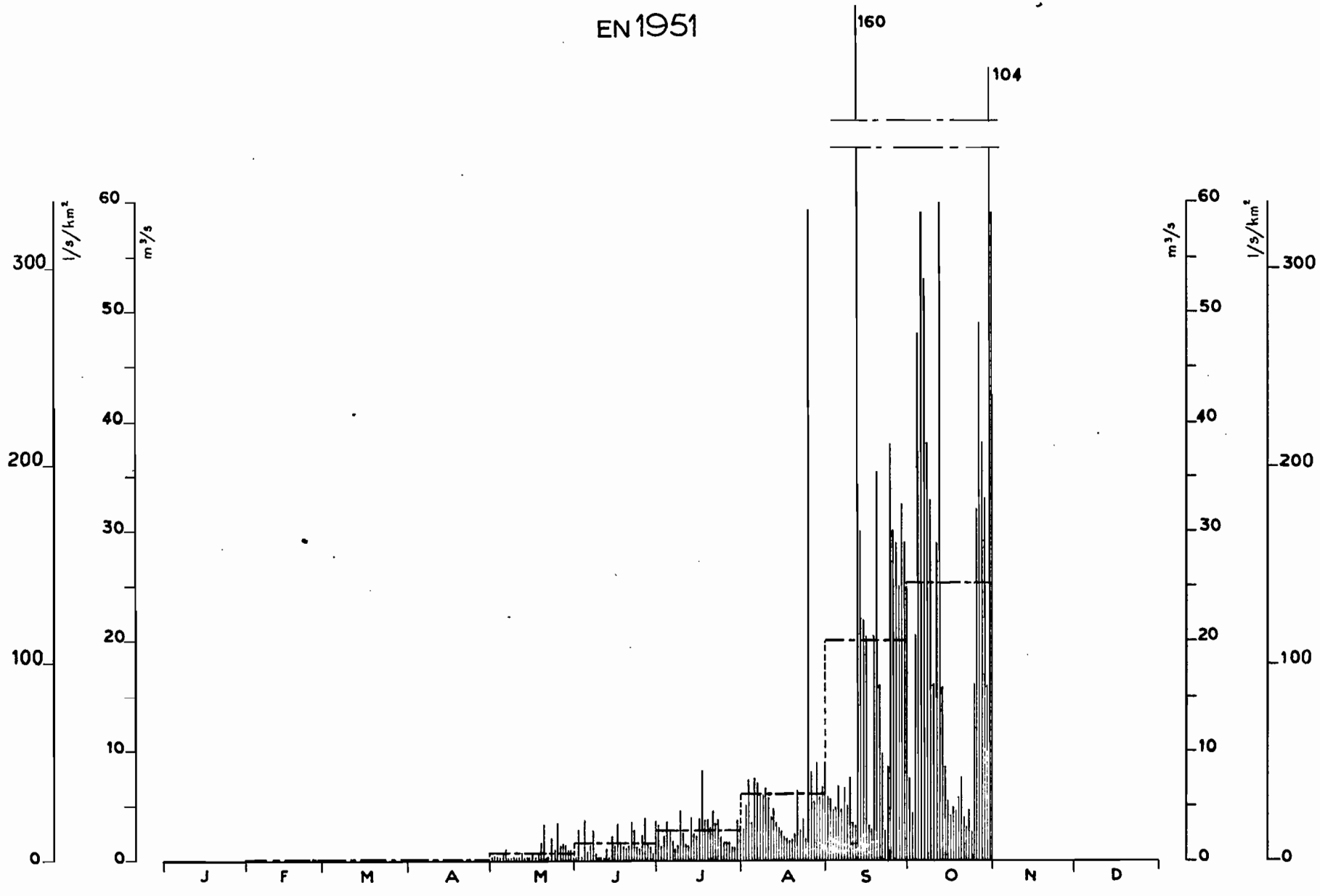


CAM4216	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 15-10-53	DES: cle/04/67	VISA:	TUBE N°:	A 0

GR 13

DÉBITS JOURNALIERS DE LA BÉNOUÉ A OUAK

EN 1951



CAM 3129

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED: | LE: 21-2-52 | DES: BESNARD | VISA: | TUBE N°: | B O

IV) REGIME DE LA HAUTE-BENOUE A L'AMONT DU CONFLUENT AVEC LE MAYO-KEBI -

La connaissance de ce régime est essentielle pour la détermination des apports dans le réservoir éventuel de LAGDO. Le bassin versant de ce réservoir serait à peu près le même qu'au confluent MAYO-KEBI - BENOUE.

La situation de la station de RIAO est d'ailleurs tout-à-fait satisfaisante à cet égard :

- bassin versant au confluent : 31.500 km2
- " " à RIAO : 31.000 "
- " " à LAGDO : 29.850 "

Avant l'étude du régime de la BENOUE à RIAO, il serait intéressant de jeter un bref coup d'oeil sur le régime d'un petit bassin tel que celui de OUAK dont les caractères hydrologiques permettront de mieux comprendre le régime du cours d'eau principal. (Graphiques n° 12 et 13).

Le bassin de OUAK (remplacé depuis par N'DOM) correspond aux sources de la BENOUE. Bassin de faible étendue : 200 km2, au relief tourmenté : puisque l'altitude varie de 700 à 1.400 m. Il est constitué essentiellement par une partie des versants de la falaise terminant l'ADAMAOUA vers le Nord.

Il ne comprend pratiquement pas de hauts plateaux marécageux tels que ceux que l'on rencontre sur les branches supérieures du LOGONE, de la SANAGA ou du FARO.

Les observations n'ont porté que sur une année : 1951, année assez différente de la normale : saison des pluies courte et tardive. Il n'est pas possible de donner des indications concernant le module.

Le débit caractéristique d'étiage (Février) est de 120 l/sec. (0,6 l/sec/km2). Il correspond bien au régime tropical de transition tel qu'il est observé sur les hautes branches du LOGONE.

Le débit caractéristique moyen est de 1,5 m3/sec. en 1951. La plus forte crue observée en 1951 est de 160 m3/sec. (près de 1.000 l/sec/Km2).

La saison des hautes eaux est longue (Mai à Décembre : latitude relativement faible du bassin). Les plus fortes crues se produisent d'Août à Octobre, elles sont très brutales (fortes pentes du bassin); elles durent un à deux jours en général.

Ce régime tropical de transition n'est pas très représentatif de la HAUTE-BENOUE. On ne le rencontre que dans les régions montagneuses du Sud et du Sud-Ouest du bassin.

On doit rencontrer plus fréquemment sur le reste du bassin un régime tropical typique rappelant celui du MAYO-BINDER avec des crues moins brutales cependant (relief moins rigoureux) et un tarissement plus lent (latitude plus faible). (Voir les caractéristiques de ce régime au chapitre suivant).

Caractéristiques de la station de RIAO (graphiques n° 14-15)

- Bassin versant 31.000 km2

Moyenne sur trois années (Mai 1950 à Mai 1953) :

- Débit moyen annuel ..... 227 m3/sec.
- Débit spécifique 7,35 l/s/km2
- Débit caractéristique d'étiage ..... 150 l/sec.
- Débit caractéristique moyen ou D.C.6 ..... 20 m3/sec.
- Débit caractéristique de 3 mois ou D.C.3 .. 290 m3/sec.
- Débit caractéristique de crue ou D.C 10 ... 1235 m3/sec.

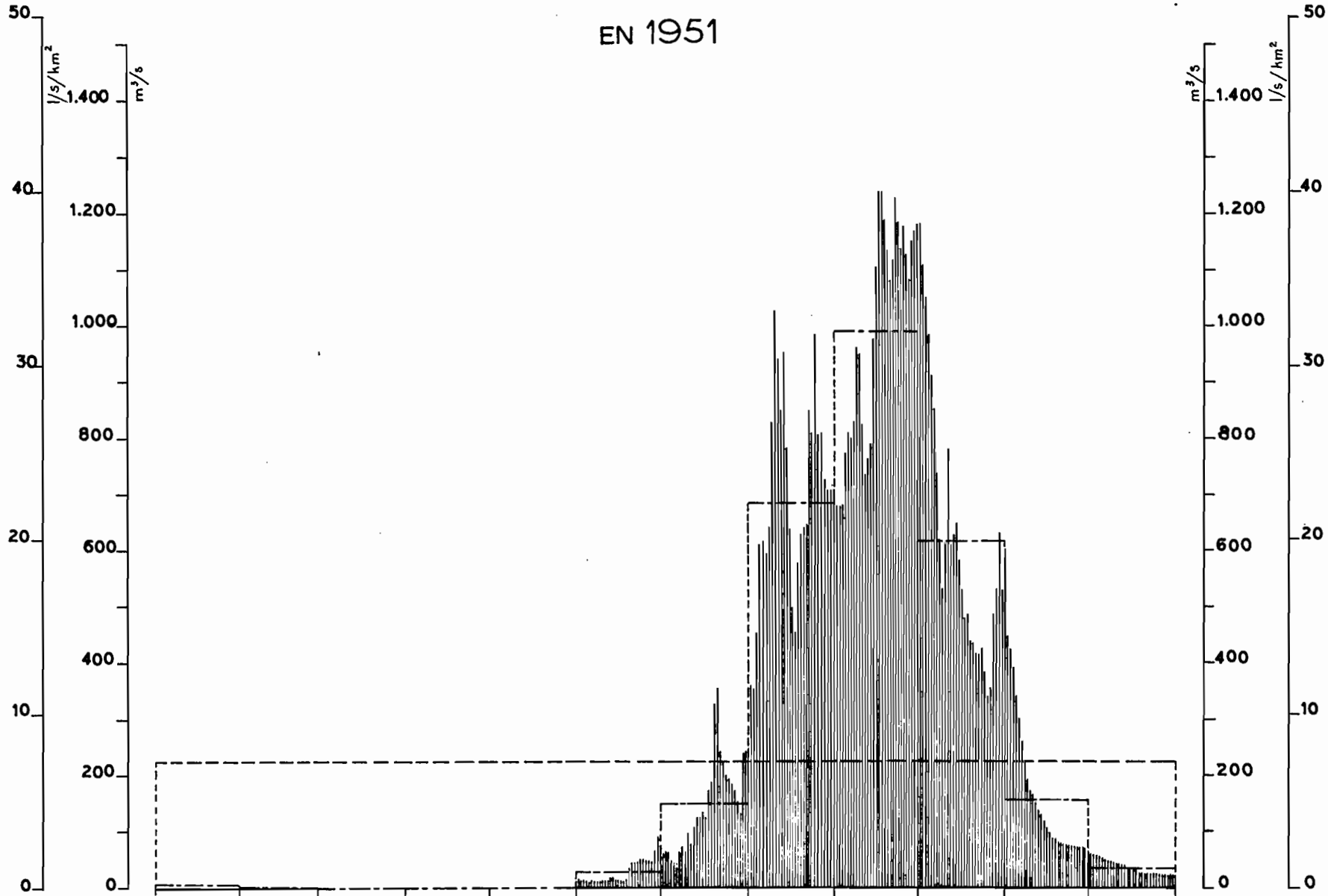
Nous nous trouvons en présence d'un régime tropical presque pur.

1°) L'étiage est très faible : il est inférieur en valeur absolue à l'étiage à OUAK. Une partie non négligeable du bassin : branches supérieures du MAYO-BOKI et du MAYO-ALIM, ont des débits spécifiques comparables à celui de OUAK. Mais, partout ailleurs, les cours d'eau sont à sec en avril, même des affluents importants, alimentés légèrement dans leur cours supérieur. C'est le cas des MAYOS SALA, LISSAKA, REI. La plupart d'entre eux conservent des mares permanentes et pour presque tous on peut noter que l'écoulement subsiste dans les sables.

GR14

DEBITS JOURNALIERS DE LA BENOUE A RIAO

EN 1951



CAM 3128

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE:20-2-52

DES:BESNARD

VISA:

TUBE N°:

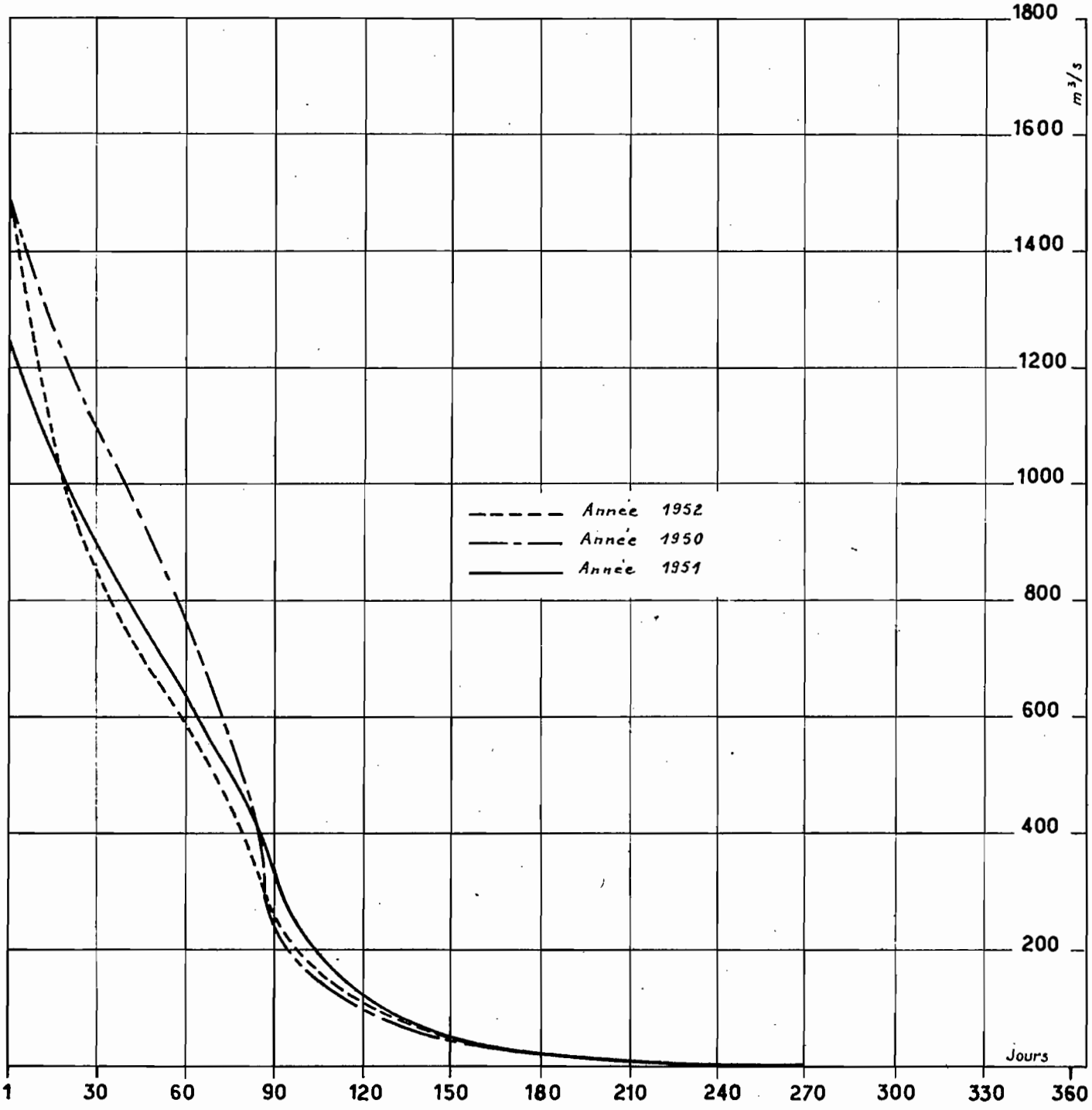
BO

GR 15

BÉNOUÉ à RIAO

Courbe des débits classés

ANNÉES 1950-1951-1952-



CAM 3899	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 27-10-53	DES: Métayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

2°) L'écoulement se rétablit en Mai. On rencontre une série de pointes qui seraient un peu fortes pour un régime tropical pur. Nous avons expliqué pourquoi au chapitre pluviométrie.

Les débits augmentent légèrement en Juin. On ne retrouve pas la période de creux observée dans les précipitations. Ce fait est dû à l'intervalle variable d'un point à l'autre du bassin entre l'instant où se produisent les précipitations et l'arrivée des apports correspondant à RIAO. Les apports de Mai et Juin sont relativement plus faibles qu'à OUAK : 100 à 200 m3/sec. (6 à 7 l/sec/km2).

3°) Les hautes eaux commencent au début d'Août pour se terminer fin Septembre ou début Octobre :

On observe pendant ces deux mois une série de pointes de débits comparables dont le nombre est imprévisible :

- 1950 : 1251 - 1488 - 1347 - 1325 m3/sec.
- 1951 : 974 - 961 - 1237 - 1224 - 1180 m3/sec.
- 1952 : 910 - 1122 - 1005 - 1500 m3/sec.

Le maximum annuel varie de 1200 à 1500 m3/sec. (40 à 48 l/sec/km2, chiffres légèrement inférieurs à ceux du NIGER; mais ils correspondent bien à la moyenne du régime tropical). Chacune de ces pointes individuelles dure 5 à 10 jours, durée bien supérieure à celle de OUAK. Ces crues correspondent à des précipitations qui se produisent à quelques heures près au même instant sur les différents points du bassin. Les crues des petits affluents arrivent avec un faible décalage les unes sur les autres à RIAO, par suite de la forme très ramassée du bassin. Toutes les branches de la BENOUE, de largeur sensiblement égale, MAYO-BOKI, BENOUE proprement dite, MAYO-REI, MAYO-TCHINA, viennent confluer presque au même point (20 km. entre les deux confluents extrêmes).

Cette forme ramassée explique la grande rapidité de la crue et de la décrue et, par suite, la brièveté de la saison des pluies. Un bassin plus allongé donnerait des variations plus progressives. Par ailleurs, les différentes pointes viendraient se confondre en une courbe plutôt arrondie. Le relief assez accentué joue dans le même sens que la forme du bassin.

La période de hautes eaux correspond bien au régime tropical pur par sa durée (le régime tropical de transition donnerait des fortes crues entre le 15 Juillet et le 3 Octobre).

4°) Une ou deux dernières pointes viennent perturber la phase précédente, correspondant à une série de pluies tardives.

5°) La fin de la décrue présente l'allure exponentielle classique dès le début de Novembre (fin des pluies).

Le module, 7 à 8 l/sec/km2, est plus élevé que celui du MAYO-KEBI ce qui s'explique par un relief plus accentué et une situation plus méridionale.

L'irrégularité annuelle est très forte : coefficient 1/15.000 par suite du très faible débit d'étiage.

L'irrégularité interannuelle semble assez faible

- apports 1950 ..... 7.852 x 10^6 m3
- " 1951 ..... 7.055 " "
- " 1952 ..... 6.575 " "

Ce fait correspond à la régularité du phénomène de la mousson d'une part et également à l'existence, à l'amont de RIAO, de vastes champs d'inondation (futur réservoir de LAGDO) qui amortissent très sensiblement les crues.

V) REGIME DU MAYO-KEBI -

La connaissance de ce régime est essentielle pour l'étude du réservoir de LERE. Il est assez complexe comme pouvait le laisser prévoir la disposition du réseau hydrographique.

a) Régime des affluents :

Presque tous les affluents ou mayos ont un régime de type tropical Nord, le débit apparent étant nul de Novembre à Avril. Les plus grands mayos gardent cependant un débit apparent différent de 0 en Décembre et parfois même en Janvier (MAYO-LOUTI). Une nappe souterraine subsiste pendant toute la saison sèche dans le lit sablonneux des trois mayos.

On note fin Avril, Mai, une série de crues puis un creux en fin Juin, début Juillet. C'est alors que commencent les crues brutales de la saison des pluies en fin Juillet, Août, Septembre, première quinzaine d'Octobre.

Entre chaque crue, le débit retombe très rapidement au débit de base très faible : quelques m3/sec. pour le MAYO-BINDER au confluent, une dizaine de m3/sec. pour le MAYO-OULO, 15 à 20 pour le MAYO-LOUTI.

Le régime des divers affluents présente des différences notables suivant la latitude et surtout suivant la pente. On constate, si l'on se reporte au réseau des isohyètes, que le cours du MAYO-KEBI, dans sa partie moyenne, constitue une limite assez nette entre deux régions à pluviométrie nettement différente :

- 1.000 à 1.100 mm. au Sud
- 900 à 800 mm. au Nord

Les cours d'eau des affluents rive gauche s'assècheront donc moins rapidement que les affluents rive droite.

L'influence de la pente moyenne des bassins est grande : elle tend à augmenter la violence des crues et à réduire le débit de base, accélérant le tarissement. Alors

que, dans la Gouttière Tchadienne, les crues sont d'une violence modérée, le débit de base relativement élevé, le coefficient d'écoulement plutôt faible (peut-être 5 à 6 %) le régime des affluents venant de la région à l'Ouest de PALA est nettement torrentiel. Il est encore beaucoup plus torrentiel sur la rive Nord du MAYO-KEBI, dans les bassins des trois mayos : ce sont les MAYOS BINDER, LOUTI et OULO dont les caractéristiques sont très voisines.

L'étude qui a été faite en 1950 sur le MAYO-BINDER à MONBAROUA donne une idée de ce régime; Nous reproduisons ci-dessous les caractéristiques correspondant à l'année 1950 (on trouvera sur le graphique n° les variations journalières de débit) :

- Bassin versant 1.220 km2
- Débit moyen en 1950 ..... 8 m3/sec.
- Module spécifique 6,5 l/s/km2
- Débit caractéristique d'étiage 0
- Débit caractéristique moyen ou D.C 6 0
- Débit caractéristique de 3 mois ou D.C 3 ... 4 m3/sec.
- Débit caractéristique de crue ou D.C 10 ... 120 "
- Plus forte crue observée en 1950 ..... 230 "

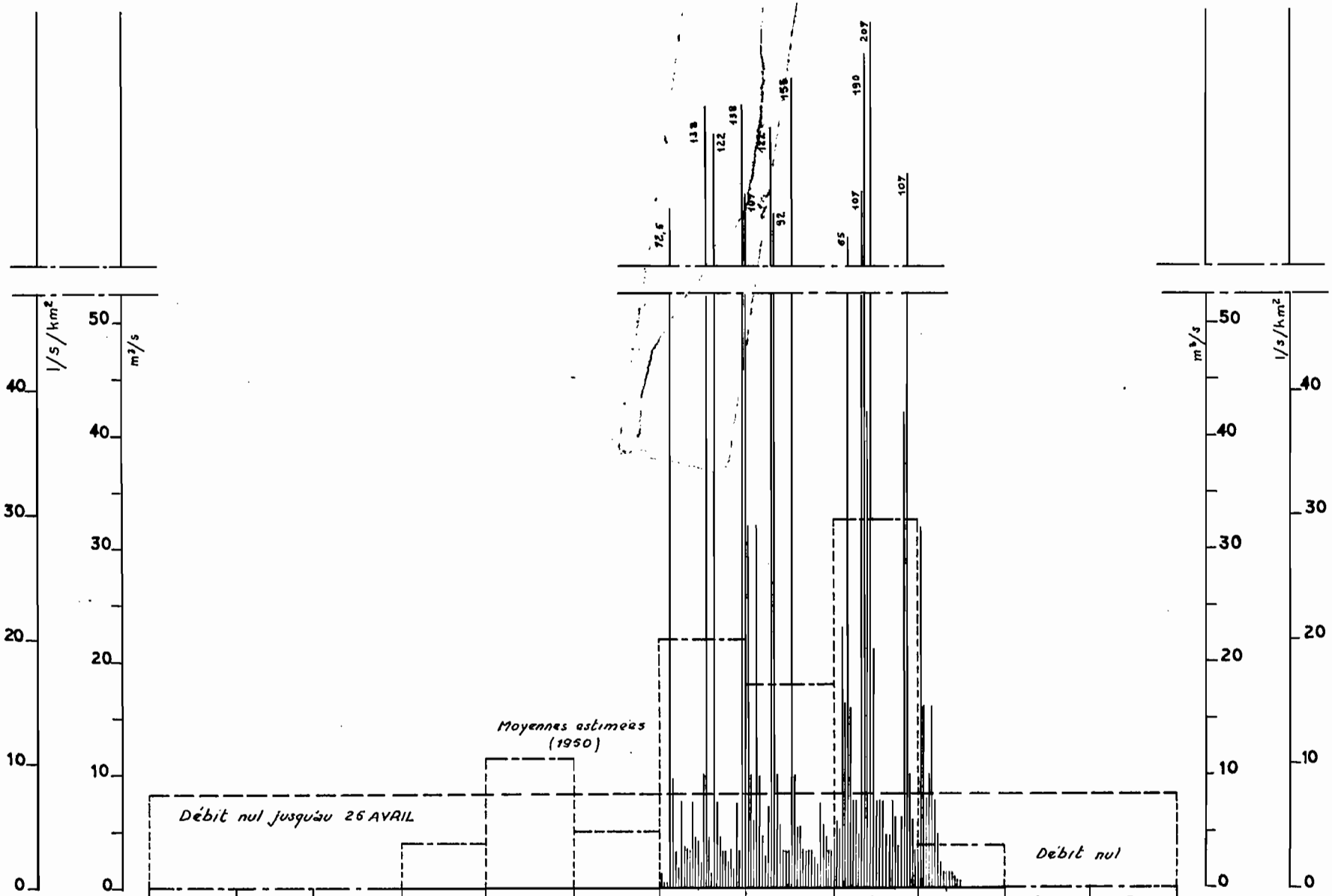
On voit que le régime de ces cours d'eau rappelle déjà le type subdésertique. La rétention est très faible; elle n'est bien nette que dans le lit très large des cours d'eau. L'étiage correspond à des débits apparents nuls qui durent 6 mois ½; On remarque une petite saison des pluies au mois de Mai. La saison des pluies proprement dite présente des débits permanents de l'ordre de 2,5 l/s/km2; elle commence début juin pour se terminer début octobre, soit 3 mois ½ à 4 mois. Elle est marquée par de nombreuses crues, très violentes et très courtes; les maxima annuels 200 l/s/km2 en 1950, sont élevés. Il semble que les crues exceptionnelles soient très fortes.

En 1951, des études ont été effectuées sur un bassin plus petit : celui du MAYO-MONBAROUA, affluent du MAYO-BINDER (superficie 54 km2). Cette étude a montré que pour un bassin de ce genre les crues ne durent que quelques heures le débit de base étant très faible, 100 à 200 l/sec. Il a été possible d'observer sur le MAYO-MONBAROUA une crue de 108 m3/sec. correspondant à 2.000 l/s/km2. L'examen de l'averse correspondante montre qu'une crue de ce genre doit se produire tous les 10 ans.

L'étude faite en 1953 sur le MAYO-MOUSOURTOU, sous-affluent du MAYO-BOULA, confirme les résultats des MAYOS BINDER et MONBAROUA.

GR 16

DEBITS JOURNALIERS DU MAYO-BINDER A MONBAROUA EN 1950



CAM 3214

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: 31-3-51	DES: B R	VISA:	TUBE N°:	B O

Les trois mayos n'ont pas fait, malheureusement, l'objet d'études très suivies. On leur connaît cependant des crues très violentes qui doivent dépasser 800 à 1.000 m3/sec. pour le MAYO-LOUTI.

Il est à noter que les quatre ponts récemment construits sur ces mayos et un de leurs affluents, sont implantés dans des gorges, le tablier étant à une grande hauteur. De sorte que le manque de données sur les crues exceptionnelles ne peut pas conduire à de graves dommages.

Les trois mayos étaient généralement responsables de la coupure de l'ancienne route PALA-GAROUA pendant une bonne partie de la saison des pluies. Leurs crues sont très courtes : un automobiliste arrêté devant un de ces mayos en crue n'avait qu'à attendre 24 ou 36 heures que la crue soit passée et, dans ces conditions, il pouvait souvent franchir le cours d'eau sans trop de difficultés.

Les transports de sable sont très importants. Ces apports constituent souvent des barrages en travers du lit du MAYO-KEBI. Ils ont contribué à la formation de nombreux lacs et marécages de son lit.

b) Capture du LOGONE :

Le maximum de la crue du LOGONE, qui a lieu vers la fin septembre donne lieu, dans la région d'ERE, à des débordements dont les apports viennent grossir le MAYO-KEBI. Ce phénomène n'est sensible que pendant un mois environ. Le débit de capture ne dépasse pas 150 m3/sec. en année moyenne. Le niveau des lacs et marécages situés sur le parcours du flot de capture monte successivement. Il faut un peu plus d'un mois pour que ces apports parviennent au Lac de LERE, 45 jours pour arriver à GAROUA. La crue du LOGONE à ERE étant beaucoup plus tardive que la crue de la BENOUE, il en résulte que les apports de capture parviennent à GAROUA au début de la période de basses eaux.

Mais plus de 50 % de ces apports sont perdus par évaporation au milieu des marais recouverts d'une végétation assez dense. De plus, la pointe de débit que l'on observe à quelques dizaines de kilomètres à l'aval d'ERE est très aplatie à GAROUA, de sorte qu'à cette dernière station de jaugeage seule une légère déformation de la courbe de tarissement signale la capture.

On peut suivre la capture sur le graphique n° 17 depuis la station de ERE jusqu'au Lac de LERE.

Nous avons tracé sur ce graphique les courbes limnimétriques de l'année 1950 pour ERE, le Lac de TIKEM, l'échelle de M'BOURAO et le Lac de LERE. On suit parfaitement sur ce graphique le déplacement de l'onde de capture.

Le déplacement de l'onde est très lent au départ du LOGONE où le lit est, en effet, très mal marqué. Le régime du Lac de LERE est déjà assez complexe, on constate :

1°) une hausse progressive du niveau de juillet à août correspondante aux apports de la petite saison des pluies qui viennent remonter le niveau du lac;

2°) puis trois maxima fin août, début et mi-septembre; ces maxima correspondent à la saison des pluies et à des séries de crues du MAYO-BINDER qui vient gonfler le niveau du lac;

3°) une décrue progressive jusqu'au 15 Octobre correspondant à la fin de la saison des pluies dans le bassin propre du MAYO-KEBI;

4°) au 15 Octobre, une remontée assez brutale, avec maximum fin Octobre correspondant à l'arrivée du flot de capture.

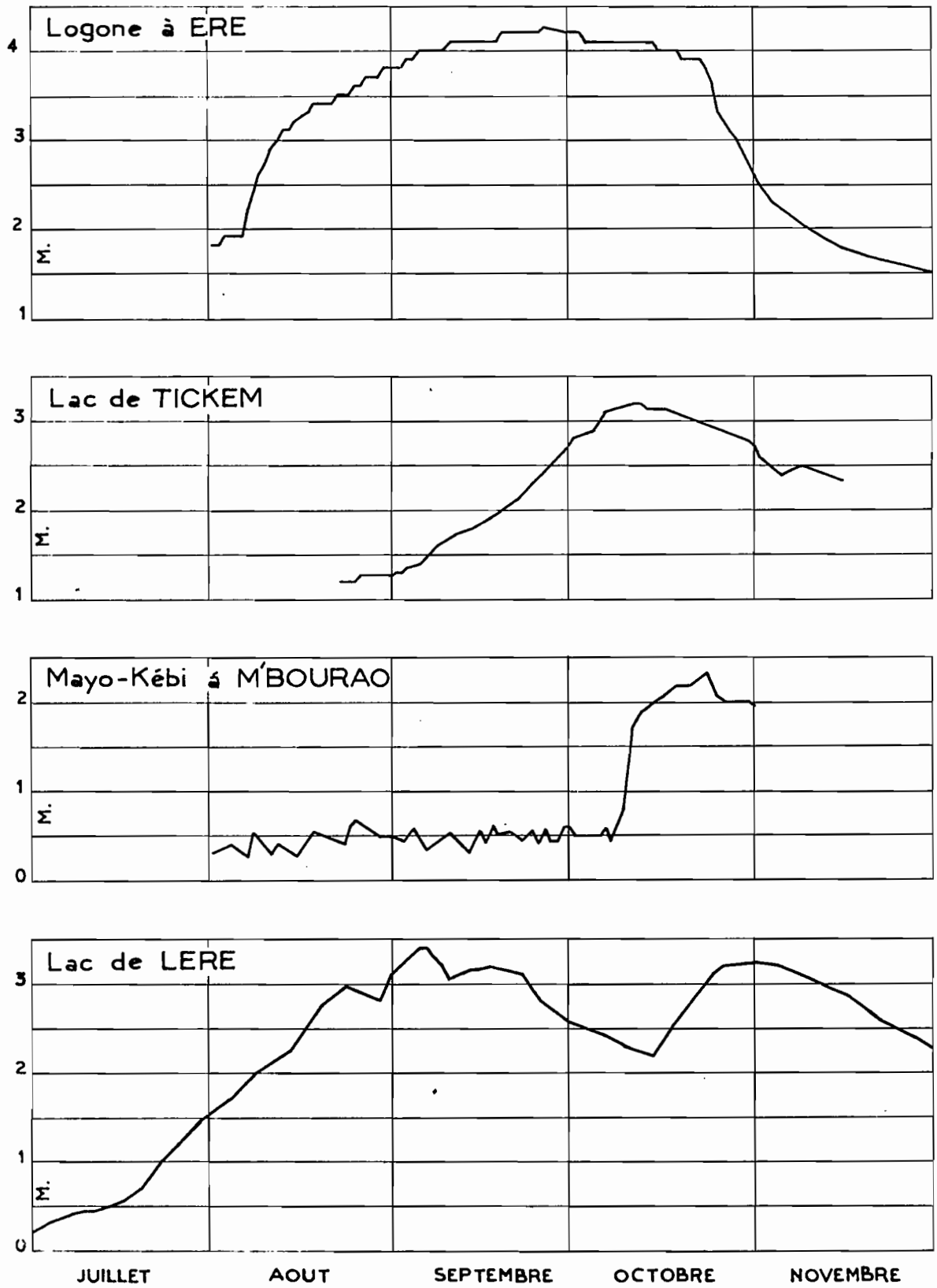
La décrue qui suit ce maximum est lente et régu-
/de niveau lière. L'amplitude des variations/du lac de LERE atteint 4 m., on verra que l'effet de la capture sur le cours inférieur du MAYO-KEBI est essentiellement un relèvement des débits de basses eaux au moment du tarissement.

c) <u>Débit du MAYO-KEBI à FAMOU</u> :

L'étude des variations de hauteur au lac de LERE nous donne déjà une idée du régime du MAYO-KEBI inférieur; on trouvera sur les graphiques n°18 et 19 les variations journalières et les courbes de débits classés.

Le tableau ci-après précise les caractéristiques de ces cours d'eau pour les années 1951, 1952 et l'année normale

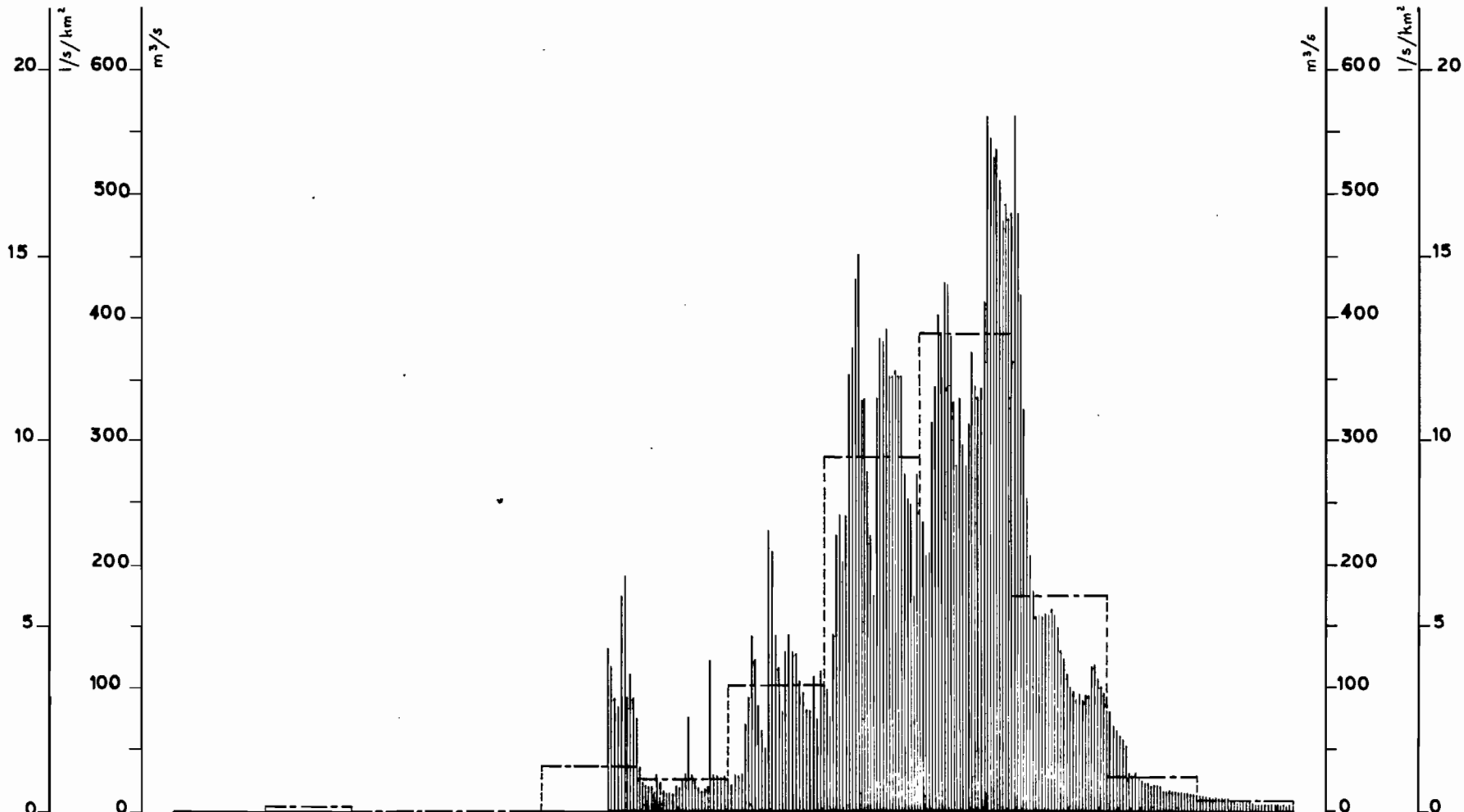
COURBES LIMNIMETRIQUES
1950



GR 18

DÉBITS JOURNALIERS DU MAYO-KÉBI A FAMOU

EN 1951



CAM 3131

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

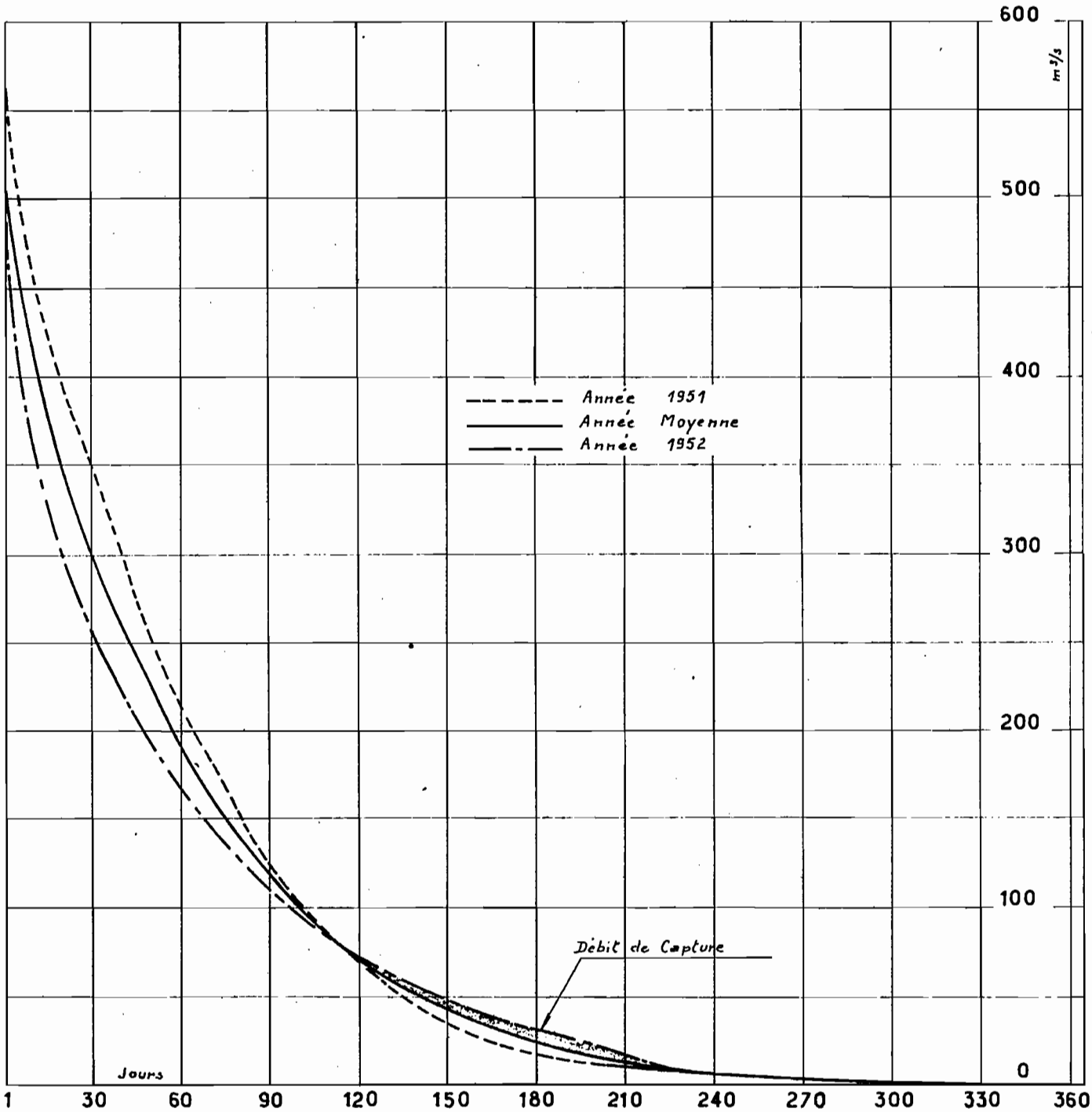
ED: | LE: 22-2-52 | DES: BESNARD | VISA: | TUBE N°: | B O

GR 19

Le MAYO-KÉBI à FAMOU

Courbe des débits classés

ANNÉES 1951-1952 -



CAM 3900	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 28-10-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

- Bassin versant 30.000 km2

	1951	1952	Moy.
- Débit moyen annuel (m3/sec).....	89,3	76,6	86
- Débit spécifique (l/s/km2)	2,98	2,56	2,87
- Débit caractéristique d'étiage(l/s)	60	100	80
- Débit caractéristique de..... 6 mois (m3/sec.)	20	32	24
- Débit caractéristique de ..... 3 mois (m3/sec.)	125	112	120
- Débit caractéristique de ..... crues ou D.C. 10 (m3/sec.)	465	375	405
- Débit maximum	562	480	562

Le débit moyen spécifique est nettement plus faible que celui de la BENOUE à RIAO : 2,87 l/s/km2 au lieu de 7,35 l/s/km2. Ce fait s'explique par l'altitude moyenne un peu plus faible et surtout par la différence entre les pluviosités moyennes : 942 mm. au lieu de 1.215 mm. Le déficit d'écoulement passe de 984 mm. pour la BENOUE à RIAO à 854 mm. pour le MAYO-KEBI: le rapport entre les lames d'eau écoulées est beaucoup plus grand que le rapport entre les précipitations.

Si l'on considère les apports annuels (année moyenne), il s'écoule : 10,2 milliards de m3 dans la BENOUE, 2,7 milliards dans le MAYO-KEBI. Il est très heureux que la BENOUE roule trois fois plus d'eau que le MAYO-KEBI puisque le meilleur site de barrage est précisément situé sur son cours.

On relève de notables différences entre le régime saisonnier du MAYO-KEBI et celui de ses affluents :

1°) Les débits d'étiage du MAYO-KEBI sont faibles, mais nettement différents du zéro. Ils sont assez comparables à ceux de la HAUTE-BENOUE . Nous avons vu que le débit d'étiage de tous les affluents était nul. Le tarissement est freiné par la capture du LOGONE. En outre, la rétention du lit du MAYO-KEBI est très grande; les lacs jouent un rôle important. C'est ainsi qu'à l'étiage 1951, nous avons vu un filet de quelques litres/secondes à l'amont du lac de LERE alors que l'écoulement était de plus de 100 l/sec. à l'aval. Indépendamment de ce fait, le lit large et profond (60 m. à COSSI) est comblé d'alluvions très perméables gorgées d'eau, le moindre rétrécissement du lit apparent ou le relèvement du rocher sous les alluvions augmente le débit apparent.

2°) La période de crue correspond à une série de pointes aussi aigües qu'à LAGDO, séparée par des creux nettement plus marqués. L'écoulement des mayos est trop rapide pour que deux crues successives se chevauchent beaucoup et nous avons vu que le débit de base est très faible. Cependant, les débits de crue sont très atténués par rapport à ce que nous avons vu sur le MAYO-BINDER. Le maximum annuel passe de 165 l/s/km2 pour le MAYO-BINDER à 17 l/s/km2 pour le MAYO-KEBI, chiffre relativement faible pour un bassin de 30.000 km2 pour cette latitude. Le maximum annuel à FAMOU est probablement inférieur au maximum annuel d'un seul de ces affluents : le MAYO-LOUTI. Ce fait tient à la singularité des confluents signalés plus haut : en cas de fortes crues, une forte partie des apports remonte vers l'amont, d'autant plus facilement que les crues ne sont pas simultanées : c'est ainsi qu'en 1952 nous avons franchi avec beaucoup plus de difficultés le MAYO-EL-OUAL que le MAYO-KEBI, 2 km. en aval du confluent avec le MAYO-EL-OUAL.

Par ailleurs, la largeur du lit du MAYO-KEBI inférieur, les nombreux épanouissements marécageux sur la rive droite et la rive gauche amortissent beaucoup les pointes.

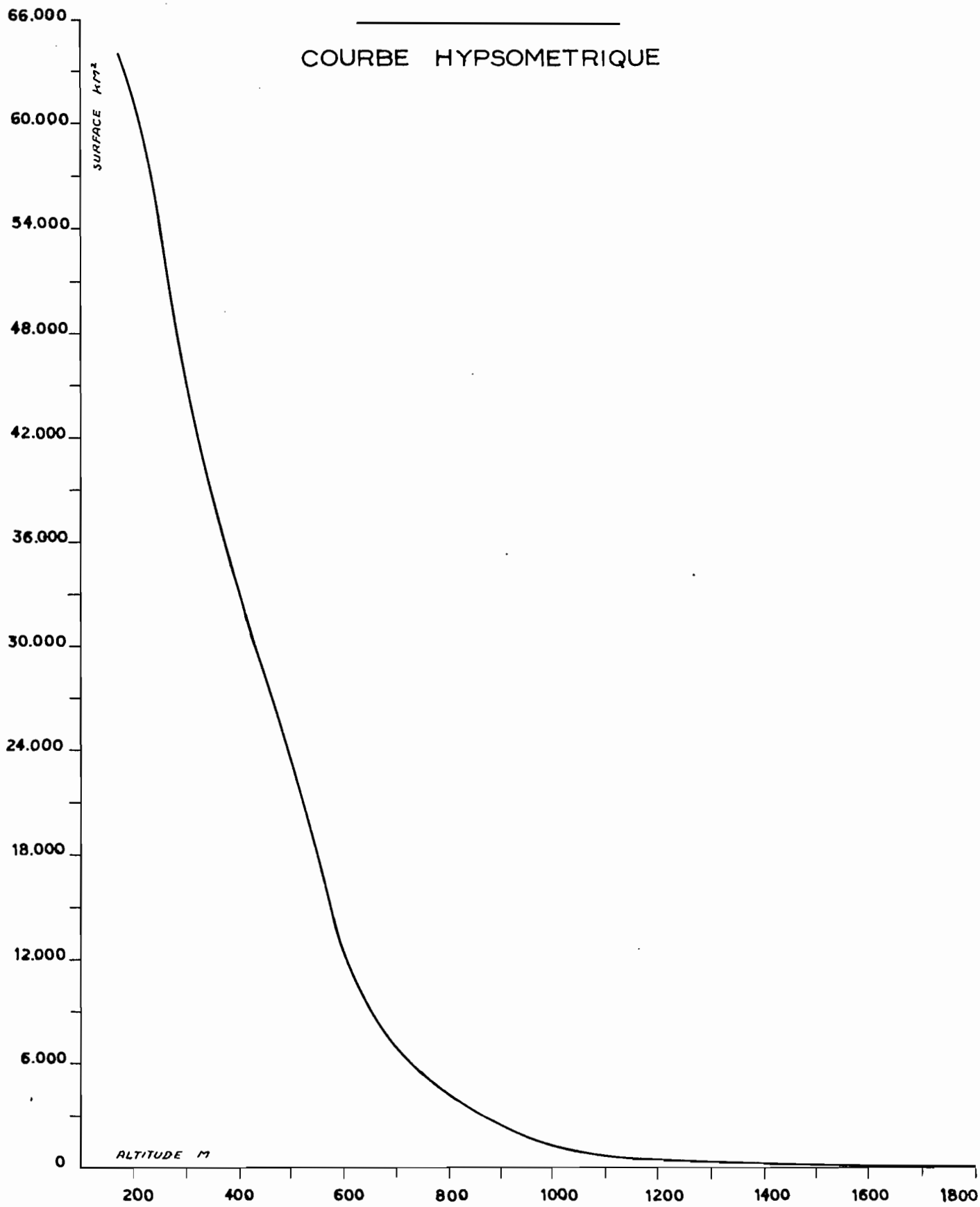
L'écoulement de saison des pluies dure du 15 Mai au 15 Novembre, en moyenne.

La petite saison des pluies est bien marquée sur le MAYO-KEBI. Elle est quelquefois plus nette que sur la HAUTE-BENOUE, le creux qui la suit étant mieux marqué.

GR 20

LA BENOUE A GAROUA

COURBE HYPSOMETRIQUE



CAM 3182

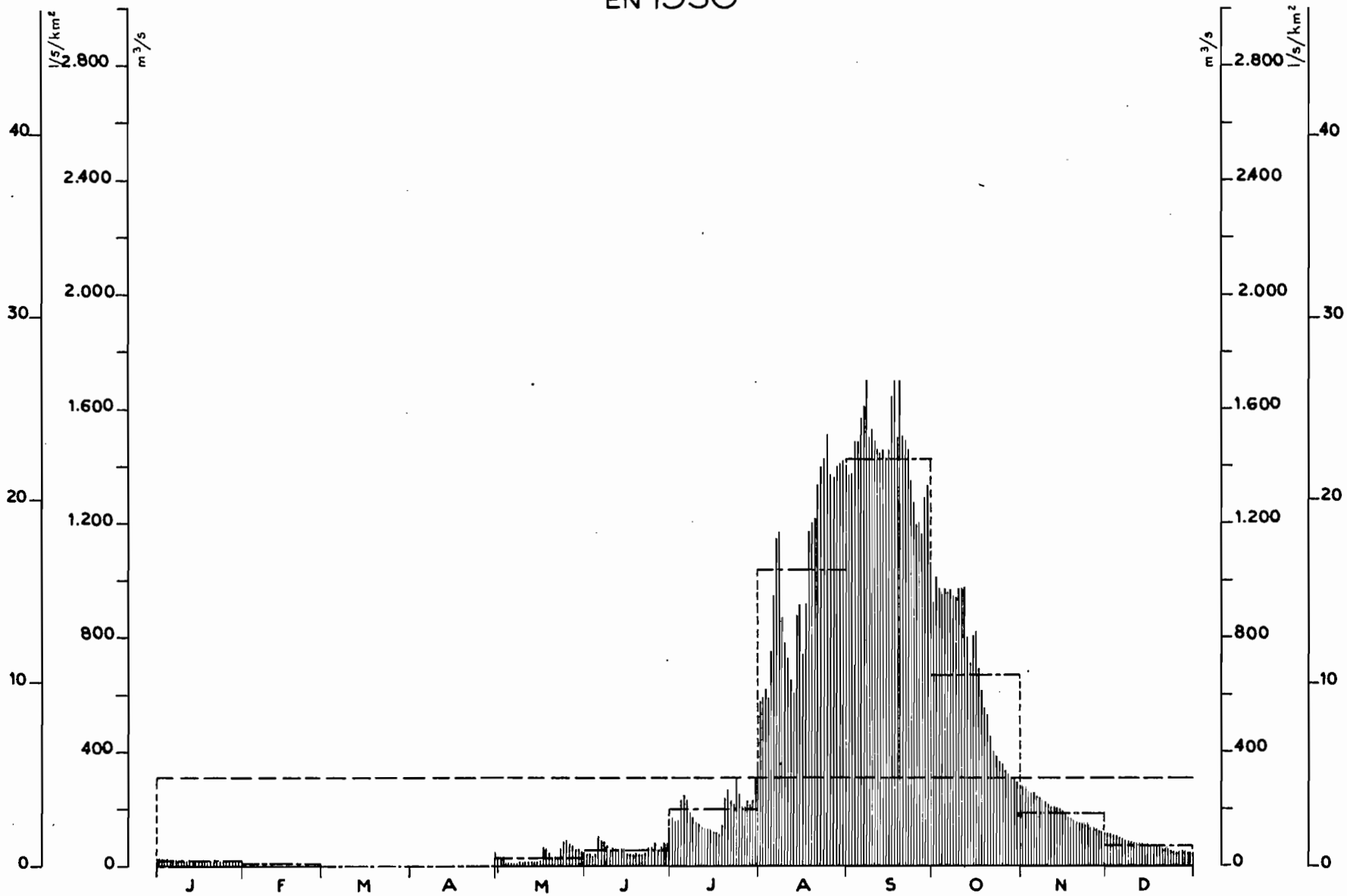
ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - *SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER*

ED:	LE: 26-3-52	DES: BR	VISA:	TUBE N°:	B 0

GR 21

DEBITS JOURNALIERS DE LA BENOUE A GAROUA

EN 1950



CAM 3125

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 19-2-52

DES: BESNARD

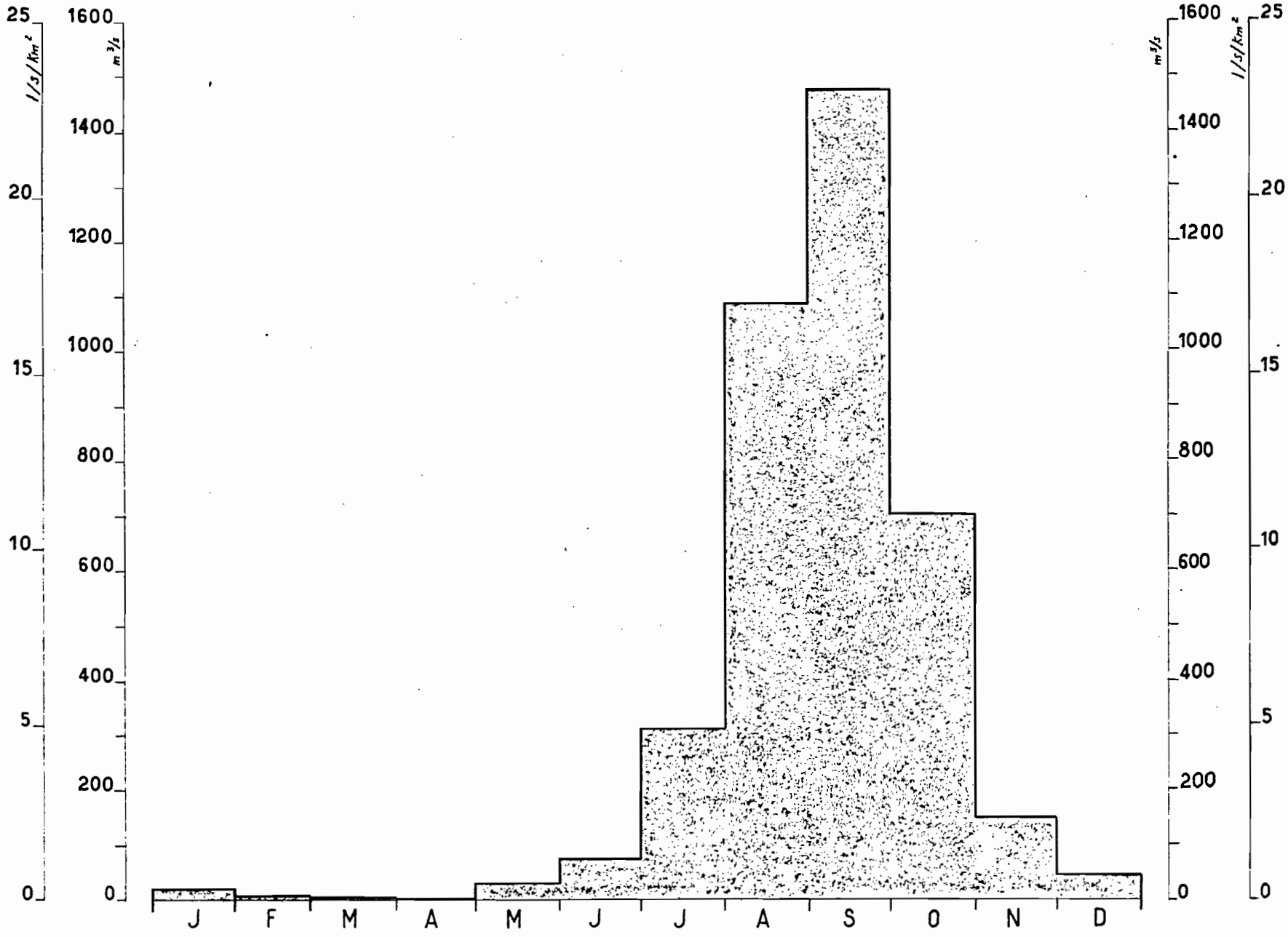
VISA:

TUBE N°:

B O

GR 22

DÉBITS MOYENS MENSUELS DE LA BÉNOUÉ A GAROUA



CAM 4215

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 15-10-53

DES: Albuquer

VISA:

TUBE N°:

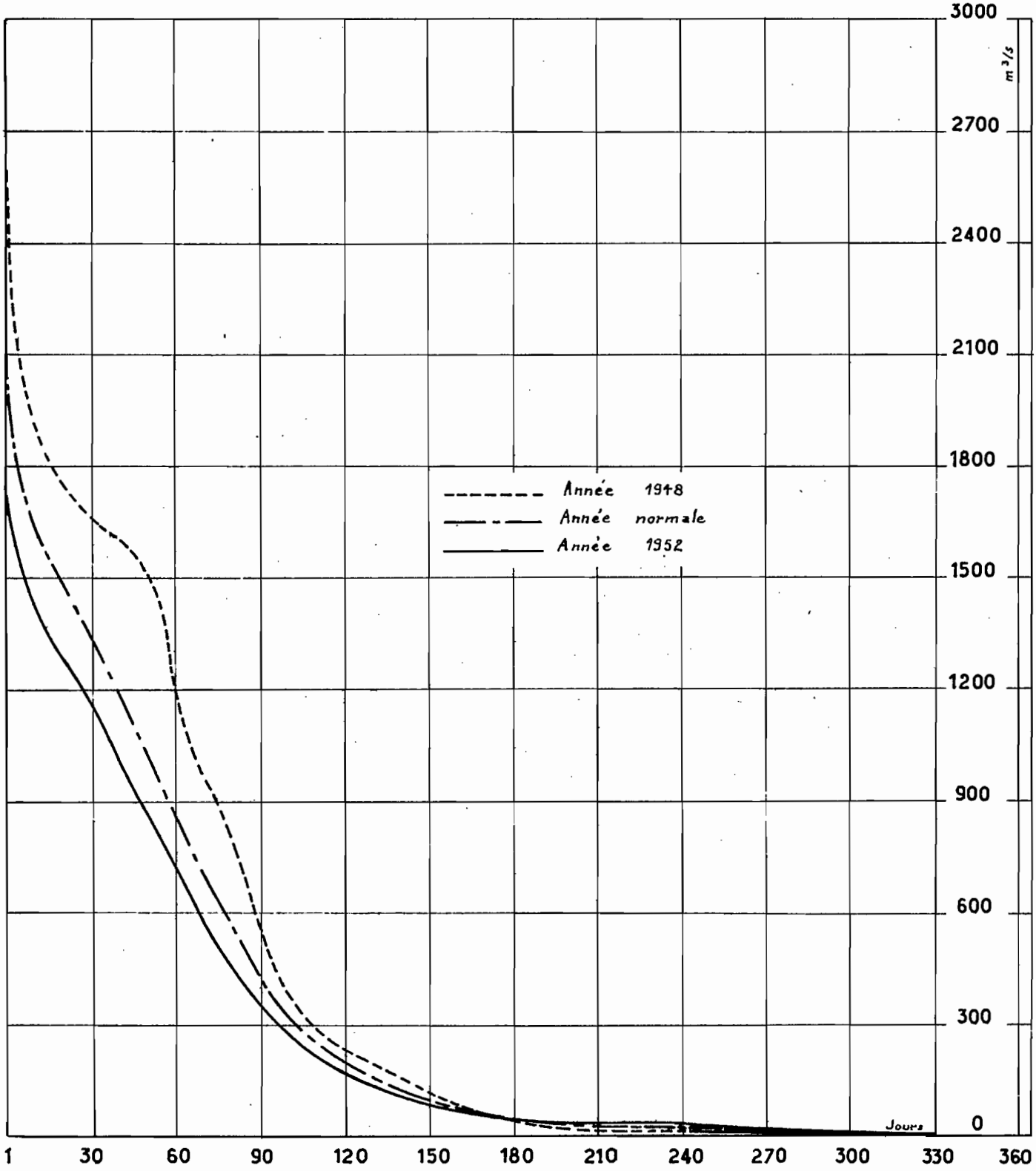
A 0

GR 23

La BÉNOUÉ à GAROUA

Courbes des débits classés

ANNÉES 1948-1952 et normale



CAM 3901	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 28-10-53	DES: Milayers	VISA:	TUBE N°:	A 0

VI) REGIME DE LA BENOUE A GAROUA - (station principale)

(graphiques n° 20,21,22, 23)

Caractéristiques :

- Bassin versant	64.000 km2
- Module	323 m3/sec.
- Module spécifique	5,05 l/s/km2
- Débit caractéristique d'étiage (11 jours) .	0,6 m3/sec.
- Débit caractéristique de 9 mois ou D.C 9 ..	5 "
- Débit caractéristique de 6 mois ou D.C 6 ..	52 "
- Débit caractéristique de 3 mois ou D.C 3 ..	410 "
- Débit caractéristique de crue ou D.C 10 ...	1620 "
- Plus forte crue connue (1948)	2.800 "

Le bassin versant correspond à peu près à la somme des bassins de RIAO et de FAMOU.

L'examen des courbes de débits journaliers montre que les variations de débits suivent de très près celles de RIAO. La prépondérance de RIAO découle immédiatement de l'importance du module spécifique de cette station, eu égard à celui de FAMOU. Nous retrouvons donc les mêmes phases du développement de la crue qu'à RIAO, mais la période des maxima d'août, septembre et octobre est un peu plus régulière qu'à RIAO, les crues de la HAUTE-BENOUE et du MAYO-KEBI se superposant sans qu'il y ait synchronisation systématique entre les crues de chacun des deux affluents.

A noter en 1950, sur l'exponentielle de tarissement, une légère bosse vers le 15 Novembre qui correspond à l'arrivée du débit de capture en provenance du LOGONE.

Bien que le régime des affluents du MAYO-KEBI soit nettement différent du régime des petits cours d'eau constituant la HAUTE-BENOUE, les deux rivières ont des régimes très comparables, au module près, grâce à l'effet régulateur observé sur le MAYO-KEBI.

Le régime de la BENOUE à GAROUA en aval du confluent sera donc tout-à-fait semblable à ceux observés à LAGDO, à FAMOU, le module spécifique correspondant à peu près à la moyenne des deux modules. Pour la même raison, il n'y aura pratiquement aucune compensation, ce qui explique la brutalité de la crue et de la décrue (voir

courbes des variations saisonnières, graphique n° 22 bien que pendant la période de hautes eaux la "dentelle" de la courbe soit nettement plus régulière que pour les deux affluents.

La comparaison de la somme des volumes écoulés à LAGDO et FAMOU avec le volume écoulé à GAROUA est intéressante. L'onde de crue met un peu plus d'un jour pour parcourir la distance LAGDO-GAROUA ou FAMOU-GAROUA. En principe, le total des volumes écoulés simultanément à LAGDO et FAMOU doit avoir comme limite le volume écoulé à GAROUA, avec un décalage de 24 heures.

Comparons le débit moyen mensuel pour la période d'observations commune aux trois stations, avril 1950 à avril 1953 :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q RIAO + FAMOU	20.5	9	3.15	0.87	28.5	59.1	299	954	1308	899	176	46.3
Q GAROUA	22.8	9.1	3.25	1.22	24	53.6	206	835	1280	880	195	52.4
Différence	+2.3	+0.6	+0.1	0.35	-4.5	-5.5	-33	-19	-28	+47	+19	+3.9

La concordance est assez bonne, ce qui est réconfortant quand on songe à la façon laborieuse dont les débits sont déterminés à GAROUA. Nous avons donc une vérification de l'exactitude de nos transformations.

Les différences s'expliquent :

1°) Pendant l'étiage, le débit à GAROUA est légèrement supérieur à la somme des débits des deux stations bien qu'il n'existe aucun affluent et que, au contraire, les pertes par évaporation devraient entrainer une différence négative. Ceci est visible de façon très nette au moment des jaugeages d'étiage. L'inféroflux à l'étiage est d'importance tout-à-fait comparable à celle du débit apparent; la section offerte à cet inféroflux dans les

alluvions à GAROUA est probablement inférieure à la somme des sections correspondant à FAMOU et RIAO (ou LAGDO) par suite de l'existence de seuil gréseux à faible profondeur. Comme, d'autre part, la pente est nettement plus faible à GAROUA on s'explique que le débit apparent augmente aux dépens de l'inféroflux.

2°) En mai et juin le bassin versant résiduaire plat n'apporte rien, les premières pluies ne donnant lieu à un ruissellement marqué que dans les bassins à forte pente (trois mayos, pied de l'ADAMAOUA, etc...). En outre, les crues des deux affluents arrivent dans un lit presque à sec.

Les importants débits provenant des premières pluies et qui semblent ainsi se perdre entre l'amont et l'aval servent principalement durant cette première montée des eaux à imbiber les importantes masses de sable désséché qui constituent la partie supérieure des lits de ces rivières, disproportionnés à leur module. Notons, par exemple, que le lit du MAYO-KEBI mesure de 3 à 500 m. de largeur. Des dénivellations de 1 à 3 m. entre la nappe phréatique de l'étiage et la surface des bancs de sable ont été relevées sur le MAYO-KEBI à une certaine distance des chenaux de hautes eaux.

En outre, la reconstitution du stock d'eau dans le lit apparent absorbe une part non négligeable des apports.

3°) Durant les mois de juillet, août et septembre le phénomène s'amplifie. Les débits moyens perdus sont respectivement pour ces trois mois :

- 33 m3/sec.
- 19 "
- 28 "

On assiste, en effet, durant cette période, à un changement profond dans l'aspect des grands cours d'eau. Ils se gonflent jusqu'à la partie supérieure des berges puis, brutalement, remplissent les "hadérés" ou larges zones d'inondation dans le lit majeur : en quelques jours, ces fleuves, qui roulaient des eaux rapides contenues entre les bourrelets de rives, vont prendre l'aspect de lacs démesurément allongés et larges de plusieurs kilomètres par endroits.

C'est ce phénomène que traduisent les chiffres ci-dessus.

En juillet, imbibition des berges et de l'argile des lits d'inondation, dont les grandes fissures se réduisent (formation de "poto-poto") et remplissage des "nadérés" les plus bas.

En août et septembre, tous les terrains sont saturés, mais la majeure partie des nadérés reste à remplir. Ils disparaitront en septembre sous 2 à 3 m. d'eau. A noter que le débit perdu est plus important en septembre qu'en août, ce qui correspond bien au maximum de la montée des eaux.

L'examen des débits journaliers montre, d'ailleurs, qu'au cours d'une fluctuation courte de niveau ces lacs d'inondation jouent le rôle de régulateurs, absorbant de l'eau à la montée, la restituant en partie à la descente. Mais, par suite de l'évaporation intense, la majeure partie de l'eau qui a quitté le lit mineur en août et septembre est perdue. Son étalement en nappe de faible profondeur favorise l'évaporation. Il y a là une régularisation automatique qui explique en partie la faible irrégularité interannuelle. Ce fait est plus sensible sur le NIGER moyen et encore plus net sur le LOGONE moyen et le NIL. Sur le LOGONE, il ne joue que pour les fortes crues. Les très faibles crues qui ne dépassent pas les berges donnent seules des variations sensibles du plan d'eau maximum en-dessous de la cote habituelle.

4°) Durant octobre et novembre, le phénomène change de sens : les zones d'inondation restituent en partie les volumes d'eau emmagasinés. Le débit à GAROUA devient supérieur à la somme RIAO + FAMOU, de 47 m3/sec. en octobre et de 19 m3/sec. en novembre.

Nous examinerons les caractères des crues et des étiages dans un chapitre spécial.

Irrégularité interannuelle :

Les fluctuations des débits moyens annuels d'une année à l'autre peuvent se caractériser par le coefficient d'irrégularité interannuelle $k = \frac{Qm}{qm}$, rapport du plus grand débit moyen annuel connu au plus petit. Pour une période de 10 ans à GAROUA :

$$k = \frac{411}{264} = 1,56$$

Ce même coefficient est de 3,73 pour le SENEGAL (187.000 km2) et 1,83 pour le NIGER (120.000 km2). Ces deux fleuves ont des régimes également tropicaux, mais avec des aberrations, subdésertique pour le SENEGAL (tendant à augmenter l'irrégularité) et tropical de transition (tendant à diminuer l'irrégularité) pour le NIGER.

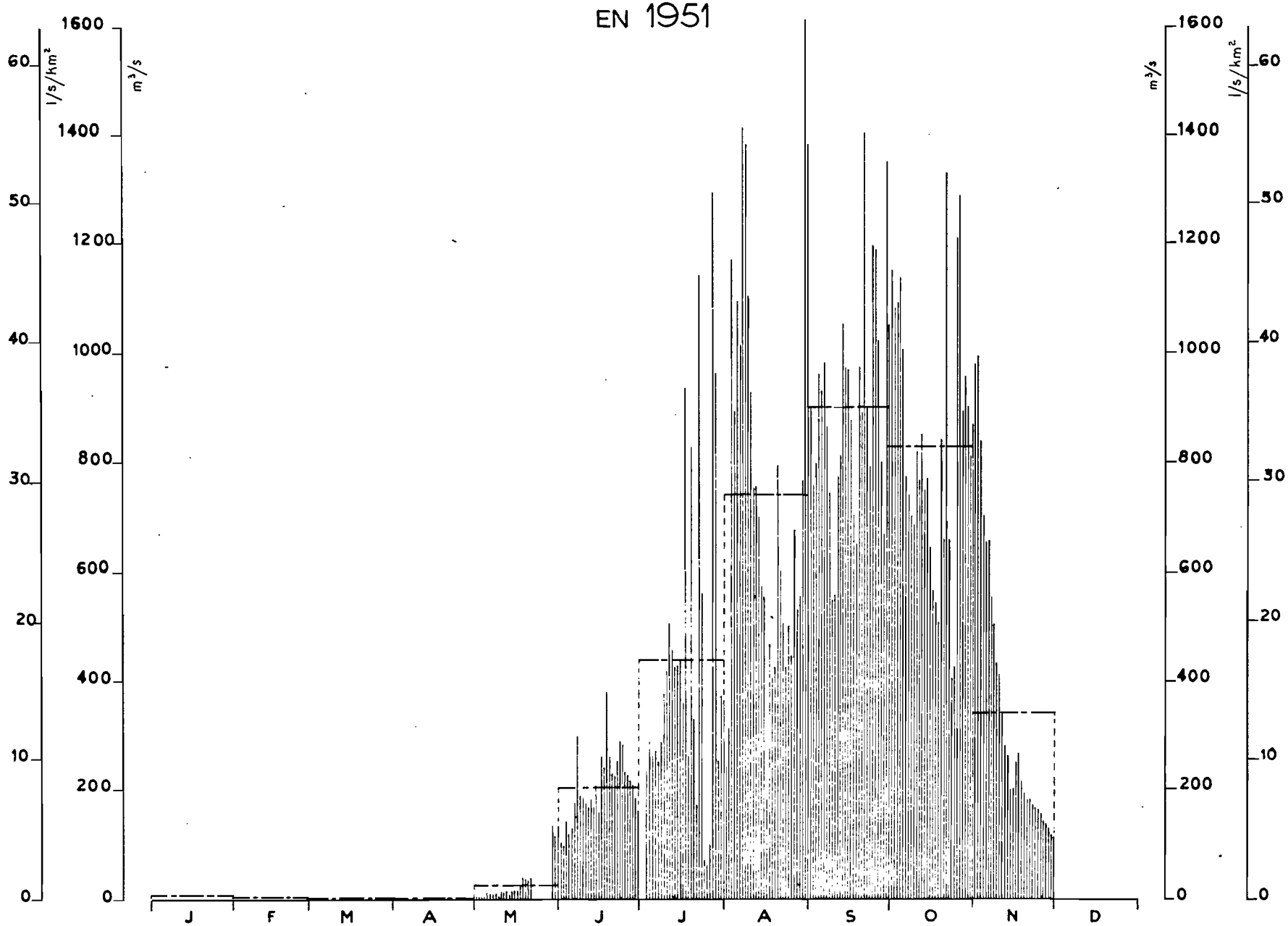
Le régime étudié apparaît donc remarquablement régulier, d'autant plus que le coefficient de 1,56 a trait à un bassin plus petit que pour les deux termes de comparaison ci-dessus, alors que le régime pluviométrique de la HAUTE-BENOUE et surtout du MAYO-KEBI pouvait faire songer à une irrégularité interannuelle comparable à celle du SENEGAL.

Ceci tient à l'effet très accentué d'autorégularisation par les champs d'épandage relativement plus importants que sur le NIGER supérieur : lacs et marécages du MAYO-KEBI, larges champs d'inondation avec de nombreux nadérés dans la cuvette de LAGDO et même entre le verrou et le confluent.

GR 24

DEBITS JOURNALIERS DU FARO A SAFAIE

EN 1951



CAM3132

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE:

DES: BESNARD

VISA:

TUBE N°:

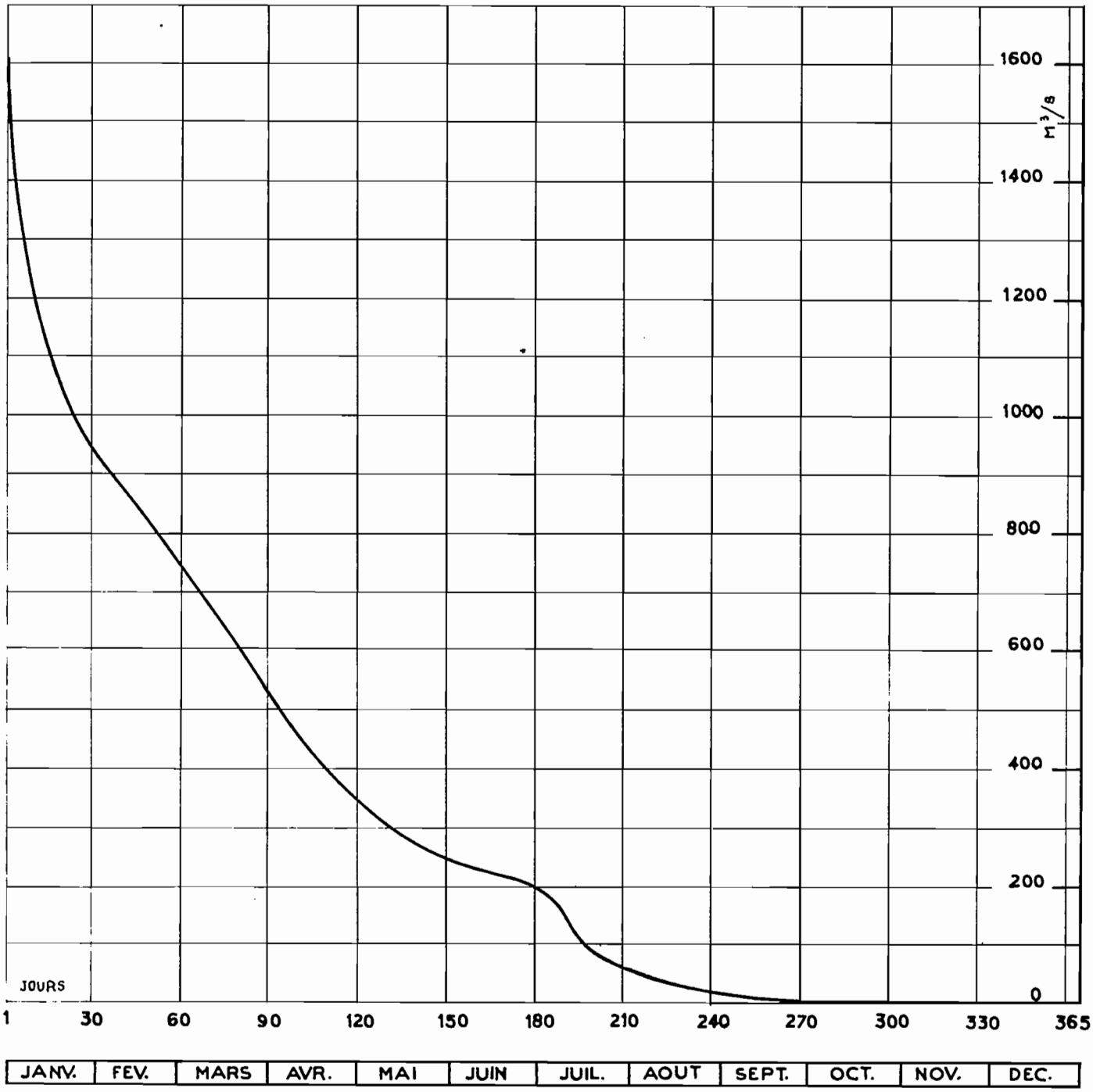
B O

GR 25

LE FARO A SAFAIE

COURBE DES DEBITS CLASSES

EN 1951



CAM 3211	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE:	DES: 28-3-52	VISA: BR	TUBE N°:	B 0

VII) RÉGIME DU FARO A SAFET - (Graphiques n° 24 et 25)

DEBITS MOYENS MENSUELS

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1947										1037	277		
1951	19	6.9	4.5	3.9	40	182	417	725	885	786	323	70	288.5
1952									1117	833	184	45.7	
1953	17.9	10.6	7.1	4.6									
Année normale	18.5	8.8	5.8	4.9	40	171	417	725	1001	885	261	58	299.6

Caractéristiques moyennes :

-Bassin versant	25.360 km2
- Débit moyen annuel	300 m3/sec.
- Débit spécifique	11,8 l/s/km2
- Débit caractéristique d'étiage	3,8 m3/sec.
- Débit caractéristique de 6 mois ou D.C 6	200 "
- Débit caractéristique de 3 mois ou D.C 3	520 "
- Débit caractéristique de crue ou D.C 10	1222 "
- Débit maximum	2280 "

L'examen des observations limnimétriques effectuées en 1947 et des relevés incomplets de 1950 tend à prouver que tous ces chiffres sont faibles.

Nous trouvons ici le bassin le plus abondant de cette étude avec un débit spécifique de plus de 12 l/s/km2 Cette abondance résulte :

- de la position méridionale du bassin,
- du fait que ses parties hautes sont les premières exposées aux courants humides,
- de son altitude moyenne avoisinant 1.000 m.

Nous remarquons que, malgré une superficie de 25.360 km2, les débits sont très irréguliers. Ceci est dû à la forte pente du FARO et à la monotonie des caractéristiques du bassin. On peut parler ici de régime tropical de transition avec un écoulement de saison des pluies de huit mois (mai à décembre) et un étiage soutenu.

Le régime est très comparable à celui du KONKOURE en Guinée avec des étiages plus soutenus et des crues plus violentes.

VIII) BILANS D'ECOULEMENT -

Les données hydrologiques de la station de jaugeage de GAROUA permettent d'étudier les valeurs du déficit d'écoulement annuel et du coefficient de ruissellement, en utilisant les renseignements pluviométriques fournis par les stations réparties dans le bassin versant. Les données beaucoup plus incomplètes aux stations de RIAO et de FAMOU peuvent donner une idée des mêmes caractéristiques dans les deux bassins versants correspondants.

Les calculs sont résumés dans le tableau ci-après. Ce tableau donne, d'une part, pour les cinq années, 1948 à 1952, les renseignements concernant l'ensemble du bassin versant limité à GAROUA et, d'autre part, les renseignements partiels concernant les bassins versants limités à RIAO pour la HAUTE-BENOUE et à FAMOU pour le MAYO-KEBI.

Le coefficient d'écoulement a une valeur moyenne de 15 % dont il s'écarte peu d'une année à l'autre.

Le coefficient de ruissellement est plus faible à FAMOU (9,7) qu'à RIAO (19,1).

Le climat, à tendance nettement subdésertique, donne lieu, toutes choses étant égales par ailleurs, à une évaporation plus forte.

Quoique le bassin versant du MAYO-KEBI comporte une partie très accidentée où le coefficient de ruissellement est élevé, toute la partie orientale du bassin est très plate, ce qui favorise l'évaporation et l'infiltration.

L'étude du bassin versant de la TANDJILE, voisin de celui du MAYO-KEBI, a mis en évidence des coefficients de ruissellement très faibles (3 %).

Les pertes dans le lit du MAYO-KEBI inférieur sont élevées.

Enfin, la structure géologique correspond à un sous-sol nettement plus perméable à FAMOU qu'à RIAO (sables de KELO, formation de LAME).

	1948	1949	1950	1951	1952	Moyenne
GAROUA : 64.000 km2						
Volume total écoulé dans l'année Mm3 ...	12.910	8.520	9.755	9.748	8.995	9.986
Hauteur d'eau écoulée équivalente mm..	202	133	152	152	141	156
Hauteur d'eau tombée en mm.	1.156	946	1.041	1.152	1.014	1.061,8
Déficit d'écoulement en mm.	954	813	889	1.000	873	905,8
Coefficient de ruissellement en %	17,5	14,1	14,6	13,2	13,9	14,66
RIAO : 31.000 km2						
Volume total écoulé dans l'année Mm3 ...	-	-	7.852	7.055	6.575	7.161
Hauteur d'eau équivalente en mm.....	-	-	253	227	212	231
Hauteur d'eau tombée en mm.	(1.400)	(1.034)	1.202	1.376	1.067	1.215
Déficit d'écoulement en mm.	-	-	949	1.149	855	984,3
Coefficient de ruissellement en %	-	-	21	16,5	19,9	19,1
FAMOU : 30.000 km2						
Volume total écoulé en Mm3	-	-	-	2.816	2.416	2.616
Hauteur d'eau équivalente en mm.	-	-	-	94	80,5	87,3
Hauteur d'eau tombée en mm.	916	865	901	925	959	942
Déficit d'écoulement en mm.	-	-	-	831	878,5	854,7
Coefficient de ruissellement en %	-	-	-	10,2	9,16	9,7

Le déficit d'écoulement moyen du bassin versant (GAROUA) est de 900 mm., ce qui est tout-à-fait normal pour un climat tropical pur.

Le déficit d'écoulement à FAMOU est plus faible qu'à RIAO : 854 pour 984 :

- les précipitations sont nettement plus faibles à FAMOU qu'à RIAO;
- la végétation est bien plus dense dans le bassin de RIAO.

Les déficits mensuels à GAROUA en saison des pluies augmentent en même temps que les hauteurs des précipitations mensuelles au début de la saison, diminuant vers la fin et changeant de signe dès que l'intensité des précipitations diminue (nous avons vu au paragraphe VI l'explication de ce phénomène).

DEFICITS D'ECOULEMENT A GAROUA

Volumes d'eau évalués en millions de m3

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1950	Volumes écoulés à RIAO					16	86	348	2353	3144				
	Volumes écoulés à FAMOU					69	52	296	695	974				
	Totaux RIAO + FAMOU					85	138	644	3048	4118				
	Volumes écoulés à GAROUA					81	145	542	2800	3717				
	Différences					- 4	+ 7	-102	-248	-401				
1951		20	8	2	0,5	8	79	404	1867	2568	1657	407	62	
		42	11	5	1	101	71	278	768	999	458	73	23	
		62	19	7	1,5	109	150	682	2635	3567	2115	480	85	9912
		65	18	6	1,6	83	115	537	2594	3500	2260	535	79	9793
		+ 3	- 1	- 1	+0,1	-26	-35	-145	- 41	- 67	+145	+55	- 6	- 119
1952		21	9,5	5	0,6	10	36	440	1635	2396	1782	218	62	
		10	10	2	1,3	25	135	160	385	812	565	214	102	
		31	19,5	7	1,9	35	171	600	2020	3208	2347	432	164	9036
		33	18	4	1,4	29	156	573	1958	3128	2454	475	210	9039
		+ 2	-1,5	- 3	-0,5	-6	-15	- 27	- 62	- 80	+107	+43	+46	+ 3

IX) ETIAGES -

a) Considérations générales :

Nous avons montré plus haut que, si les petits cours d'eau des régions montagneuses du Sud et du Sud-Ouest présentent à l'étiage des débits apparents notables, tous les autres tributaires de la BENOUE et du MAYO-KEBI étaient à sec à cette époque. Les affluents Nord du MAYO-KEBI sont taris très tôt, entre fin octobre et fin novembre en général, les affluents de la HAUTE-BENOUE, beaucoup plus tard : fin janvier.

Cependant les débits d'étiage à FAMOU, à RIAO et à GAROUA sont loin d'être nuls (plus faibles que l'ensemble des apports d'étiage de la région du Sud-Ouest).

Ce fait tient à la grande capacité de rétention des lits : de la BENOUE à l'amont de LAGDO et surtout du MAYO-KEBI.

Le lit de la BENOUE est très large depuis sa formation un peu à l'amont du confluent du MAYO-KEBI jusqu'au confluent du MAYO-KEBI et probablement profond. Des plaines marécageuses et des faux bras encombrent le lit majeur.

Nous avons vu plus haut que le MAYO-KEBI drainait un grand nombre de lacs et de marécages à l'aval de LERE. Il est large, très perméable et très profond.

La capacité de rétention de l'ensemble est donc très grande.

Il semble que les débits d'étiage observés à RIAO, FAMOU et GAROUA proviennent uniquement de la rétention dans le lit moyen de la BENOUE et du MAYO-REI ou dans les nappes situées au voisinage immédiat, les apports de l'ADAMAOUA étant presque entièrement évaporés dans le lit de la HAUTE-BENOUE en amont du confluent du MAYO-REI et du MAYO-BOKI.

Pendant les années 1952 et 1953 pour lesquelles les données sont les plus sûres, grâce à des jaugeages de très basses eaux, les débits d'étiage ont été les suivants :

	FAMOU	RIAO	GAROUA
- Débit de 10 mois	4,8	2,4	7,3
- Débit d'étiage caractéristique	0,42	0,47	1,16
- Débit d'étiage absolu	0,11	0,350	0,725

La provenance de ces apports en explique la régularité.

A noter que les débits indiqués sont des débits apparents et qu'ils ne tiennent pas compte de l'inféroflux qui est loin d'être négligeable. Les mesures ne sont comparables que pour un point donné, le rapport entre débit apparent et inféroflux pouvant varier d'une section à une autre suivant la profondeur des alluvions perméables dans le lit.

b) Prévisions des débits d'étiage à GAROUA :

Nous avions espéré, par l'étude du tarissement à GAROUA, aboutir à des lois générales concernant le tarissement en régime tropical. Malheureusement, le phénomène de la capture d'une part, la capacité de rétention anormale du lit des cours d'eau principaux d'autre part, faussent très sensiblement les conditions de tarissement.

Le tarissement comprend quatre phases :

1°) Dans une première phase, il s'agit de l'écoulement hypodermique dans le bassin versant qui dure depuis fin octobre jusqu'à fin novembre. Il est possible de trouver des lois exponentielles pour cette première phase.

Nous proposons :

$$Q = 500\, e^{-0,064\, t}$$

Q = débit prévu en m3/sec.
t = exprimé en jours

Formule valable à partir du jour où Q = 500 m3/sec.

2°) Une deuxième phase correspond à l'arrivée du flot de capture.

La capture du LOGONE se traduit soit par un léger gonflement des débits si la crue sur le LOGONE a été forte, soit par un ralentissement du tarissement. Il arrive même que la capture soit absolument insignifiante.

si la crue a été faible sur le LOGONE.

Cette deuxième phase est presque indépendante de la première.

3°) Après le passage du "flot" de capture, le tarissement devient normal. Il s'agit de la restitution des masses d'eau en réserve dans les conditions que nous avons signalées plus tôt : phénomène suivant à peu près la même loi tous les ans mais à partir d'une origine qui peut varier dans le temps.

On pourrait calculer les débits d'après la formule :

$$Q - q = (Qo - q)\, e^{-0,029\, t}$$

avec $q = 0,5$ et $Q_o \leqslant 150$ m3/sec. (Q_o moyen 90 m3/sec. est

Cette formule valable jusqu'au débit 2 m3/sec. soit pendant 130 jours environ.

4°) Au-delà, le débit d'inféroflux devient important par rapport au débit apparent et les formules citées plus haut n'ont plus de signification.

On voit qu'il n'est pas possible de faire des prévisions de débits à longue échéance depuis octobre à partir de formules mathématiques alors qu'il est possible de le faire à partir de fin décembre.

Cependant, connaissant le débit du LOGONE à fin septembre, il est possible de déterminer de façon qualitative si les mois de janvier, février ou mars seront relativement forts ou faibles.

X) CRUES -

Une onde de crue se propageant depuis la HAUTE-BENOUE ou les bassins des trois mayos jusqu'à GAROUA résulte d'une série de tornades ayant grossi la plupart des affluents.

a) Crues simples :

Nous examinerons en premier lieu la crue simple d'un petit affluent directement lié à une tornade déterminée.

Il s'agit de bassins de 1.000 à 1.500 km2 au maximum correspondant à l'aire que semble balayer la majeure partie des tornades : cercle de 35 à 50 km.

Des études ont été faites également sur des bassins plus petits.

- 54 km2 au MAYO-MONBAROUA en 1951
- 6,5 " au MAYO-MOUSOURTOU en 1953.

La crue du 4 Juillet 1950 sur le MAYO-BINDER est du type classique; elle a été suivie de très près. Elle présente les caractéristiques suivantes :

- Précipitations exceptionnellement bien réparties de 24,5 mm. à MONBAROUA et de 24,5 mm. à KAELE, de 2 h. à 5 h.;
- Montée brutale des eaux (2 m. entre 5 h. et 9 h.);
- Au maximum de la crue, débit étalé pendant 3 heures.

La décrue présente trois phases :

1°- Evacuation des eaux de ruissellement très rapide et terminée au bout de 20 heures (le débit passe de 200 à 10 m3/sec.);

2°- Tarissement des nappes superficielles (de 10 à 1 m3/sec.); durée : deux à trois jours;

3°- Tarissement des nappes profondes (de 1 à 10) qui dure plusieurs mois (si nous raisonnons à partir des dernières crues de l'année).

Etant donné le faible encaissement de la vallée, la capacité des nappes est faible et c'est dans la première phase que la majeure partie des précipitations s'écoule.

On en déduit les résultat suivants :

1°) le temps de ruissellement en surface est constant si l'averse est unique et inférieure à la durée de l'averse unitaire;

2°) l'écoulement des nappes superficielles s'effectue suivant une loi décroissante unique (deuxième phase);

3°) le débit correspondant au début de cette deuxième phase est de 10 m3/sec.

La précipitation, de 24,5 mm., ayant provoqué cette crue du 4 Juillet 1950 correspond à un volume d'eau de $24,5 \times 1.220 \times 10^6 = 29,5 \times 10^6$ m3. Le coefficient de ruissellement de cette crue est donc de : $\frac{8,25}{29,5} = 0,28$, très voisin du coefficient de ruissellement pour l'ensemble de la saison des pluies 1950 : 0,27. Ceci montre bien que chaque crue reproduit les mêmes phases avec des chiffres tout-à-fait comparables.

L'utilisation de la méthode des stations-années permet d'établir que, pour les stations pluviométriques réparties autour de ce bassin, la hauteur de précipitation ayant une chance on 20 ans de se produire à l'une quelconque de ces stations est de : 107,5 mm.

Un calcul beaucoup plus approximatif indique que, pour en déduire la hauteur de précipitation moyenne correspondante sur le bassin, il faut appliquer un coefficient de réduction de 35 %, d'où la hauteur d'eau moyenne sur le bassin pouvant se produire une fois en 20 ans : Hm = 70 mm.

Enfin, il restait à établir une formule permettant de calculer le débit de crue correspondant à une précipitation donnée sur le bassin. On aboutit à :

$$\frac{Qm}{L\ Qm} = 0,048\ h\ \sqrt{S}$$

Qm : débit maximum de crue
S : surface du bassin
LQm : log. népérien de Qm
h : hauteur de précipitation moyenne sur le bassin.

On trouve Q max. = 800 m3/sec. pour la hauteur de pluie duodécennale de 70 mm. (107 mm.5 pour une seule station).

Depuis cette étude, nous avons eu l'occasion d'examiner les crues du MAYO-BINDER à cette même station et au MAYO-MONBAROUA.

Les études sur le MAYO-MONBAROUA n'ont pas porté sur un nombre suffisant de tornades pour permettre de définir avec une précision suffisante le diagramme type de crue.

La moyenne des diagrammes obtenus correspond très sensiblement à celui du MAYO-BINDER.

Par ailleurs, le chercheur qui a effectué cette étude, M. BERTHELOT, a eu la chance d'observer une crue de fréquence assez rare puisqu'elle correspond à 104 mm. au point le plus arrosé du bassin, crue décennale ou duodécennale. Le débit de pointe correspondant, 108 m3/s. est très peu différent de celui qui serait obtenu par l'application de l'abaque mis au point après l'étude du MAYO-BINDER (

Cette observation montre que pour des bassins de 50 à 100 km2 des débits de 1.000 à 2.000 l/s/km2 ne sont pas rares.

Ces résultats ont été confirmés également par les observations effectuées à OUAK.

Pour des bassins versants plus petits les crues sont encore plus fortes. Ainsi, le MAYO-MOUSOURTOU a débité 6,5 m3/sec., soit 1.000 l/s/km2 pour une tornade bien répartie de 40 mm. dont les 3/4 en deux heures, le 18 Août 1953. Le coefficient de ruissellement était de 37,5 %.

La comparaison de ces données encore trop fragmentées montre, qu'entre 1.500 km2 et 1 km2, le débit spécifique de cette crue pour une fréquence donnée varie dans de larges proportions suivant les dimensions

du bassin versant (600 l/sec. à peut-être 3 à 4.000 l/s/km2, pour la crue duodécennale), le coefficient de ruissellement superficiel augmentant également de 27 à 40 % pour des précipitations moyennes.

Ces études concernent les affluents rive droite du MAYO-KEBI, mais il est vraisemblable que les résultats sont à peu près semblables sur tous les affluents dont l'aire de réception présente un relief rigoureux à végétation assez clairsemée.

b) Ondes de crues complexes :

Passons maintenant à l'étude d'une onde de crue sur un bassin versant plus étendu, résultant de la composition de crues simples telles que celles que nous venons d'analyser.

Les pointes de crues élémentaires, observées à RIAO et à FAMOU provienent d'un ensemble de tornades qui se produisent dans la même période de 24 à 48 h. sur la plus grande partie du bassin, chaque tornade couvrant une superficie du même ordre de grandeur que celles que nous avons examinées plus haut et donnant lieu sur les petits bassins supérieurs aux mêmes crues brutales.

Examinons quelques-unes de ces crues :

- Crue de la BENOUE début août 1950 :

A RIAO, elle a évolué du 3 au 12 août avec maximum de 1.149 m3/sec. le 6 août. La même crue à GAROUA évolue du 3 au 13 août avec maximum des 7 et 8 Août (1.184 m3/sec).

- Crue de la BENOUE début août 1951 :

Elle évolue à RIAO à partir du 5 août à 12 h. atteint son maximum le 10 août (1.026 m3/sec.) et décroit jusqu'au 12 août (852 m3/sec. lus à midi).

A GAROUA, la même perturbation évolue à partir du 6 août à 5 h., atteint son maximum le 12 août (1.373 m3/sec.) et décroît jusqu'au 18 août.

Le débit est sensiblement étale les 11 et 12 août. Nous retrouvons le même décalage qu'en 1950. La

lenteur de la décrue à GAROUA, eu égard à celle de RIAO, s'explique par une crue concomittante du MAYO-KEBI.

1°) Dans les deux cas, nous constatons que le maximum de l'onde met 1 jour $\frac{1}{2}$ à parcourir les 60 km. qui séparent les deux stations, soit une vitesse de propagation approximative de $\frac{60}{36}$ = 1,67 km/h.

2°) Dans les deux cas, le débit a été observé étale un jour à RIAO et deux jours à GAROUA où l'on constate généralement un certain écrasement de la pointe, particulièrement net en 1950.

3°) Il arrive souvent que l'onde de crue de la BENOUE soit plus ou moins perturbée à GAROUA par celle du MAYO-KEBI.

4°) Les débits spécifiques de crues sont beaucoup plus faibles que pour les bassins de moins de 1.500 km2.

Les pointes de crues élémentaires correspondent à des crues de 35 à 45 l/s/km2. Il serait téméraire d'appliquer une loi régulière et uniforme à la diminution des débits avec l'augmentation du bassin versant : les trois mayos dont le plus important a un bassin versant de 6.100 km2 admet peut-être des débits de crue de 150 l/s/km2. Il est bon de tenir compte du relief et de bien d'autres caractéristiques. A noter qu'à l'arrivée dans le lit du MAYO-KEBI le débit spécifique de crue baisse rapidement pour les raisons données plus haut.

c) Débits de crues observés dans le bassin :

Le tableau suivant donne les maxima annuels observés de 1950 à 1952.

	BENOUE à OUAK 120 km2		MAYO-BINDER à MONBAROUA 1.220 km2		BENOUE à RIAO 31.000 km2		MAYO-KEBI à FAMOU 30.000 km2		FARO à SAFEI 25.360 km2	
	Q m3/s	q l/s/km2	Q m3/s	q l/s/km2	Q m3/s	q l/s/km2	Q m3/s	q l/s/km2	Q m3/s	q l/s/km2
Q max.1950			230	188,5	1488	48	470	15,65		
D.C 10 1950			120	98,5	1303	42	417	13,9		
Q max.1951	160	800			1237	39,9	562	18,7	1680	63,5
D.C 10 1951					1136	36,7	479	15,95	1194	47,2
Q max.1952					1500	48,5	480	16		
D.C 10 1952					1240	41,6	380	12,7		

Ce tableau met en évidence les variations du débit spécifique de crue annuelle, non seulement suivant les dimensions du bassin versant, mais encore suivant la situation géographique.

Nous constatons que les débits spécifiques de crues pour les grands bassins (plus de 30.000 km2) passent de 50-60 l/s/km2 pour le FARO à 40-50 l/s/km2 pour la BENOUE et à 15 à 20 pour le MAYO-KEBI.

La BENOUE à RIAO révèle des débits de crue très soutenus : près de trois fois plus importants que ceux du MAYO-KEBI. Il faut voir là l'influence primordiale de la pluviosité : les tornades du Sud battent une surface plus importante, durent plus longtemps et correspondent à des précipitations un peu plus grandes que dans le Nord : elles sont plus fréquentes; enfin, à pente égale, les pertes par évaporation sont plus faibles.

Par ailleurs, nous avons vu plus haut comment le MAYO-KEBI opère une compensation de crues des affluents, si violentes soient-elles.

Les chiffres observés sont très comparables aux chiffres des régimes correspondants de l'A.O.F., le FARO par exemple doit correspondre très sensiblement au HAUT-NIGER en amont de KOUROUSSA, la HAUTE-BENOUE au SANKARANI, ou au BANI SUPERIEUR.

La crue maximum à RIAO s'écarte peu de DC 10 Phénomène identique pour le MAYO-KEBI, dû à la grandeur du bassin? Par contre, large différence sur le FARO, malgré ses 25.360 km2 en raison des fortes pentes du bassin versant et de la monotonie de ses caractéristiques : altitude moyenne de 800 m.

Le FARO a des débits de crue importants. Son bassin est bien exposé aux vents pluvieux.

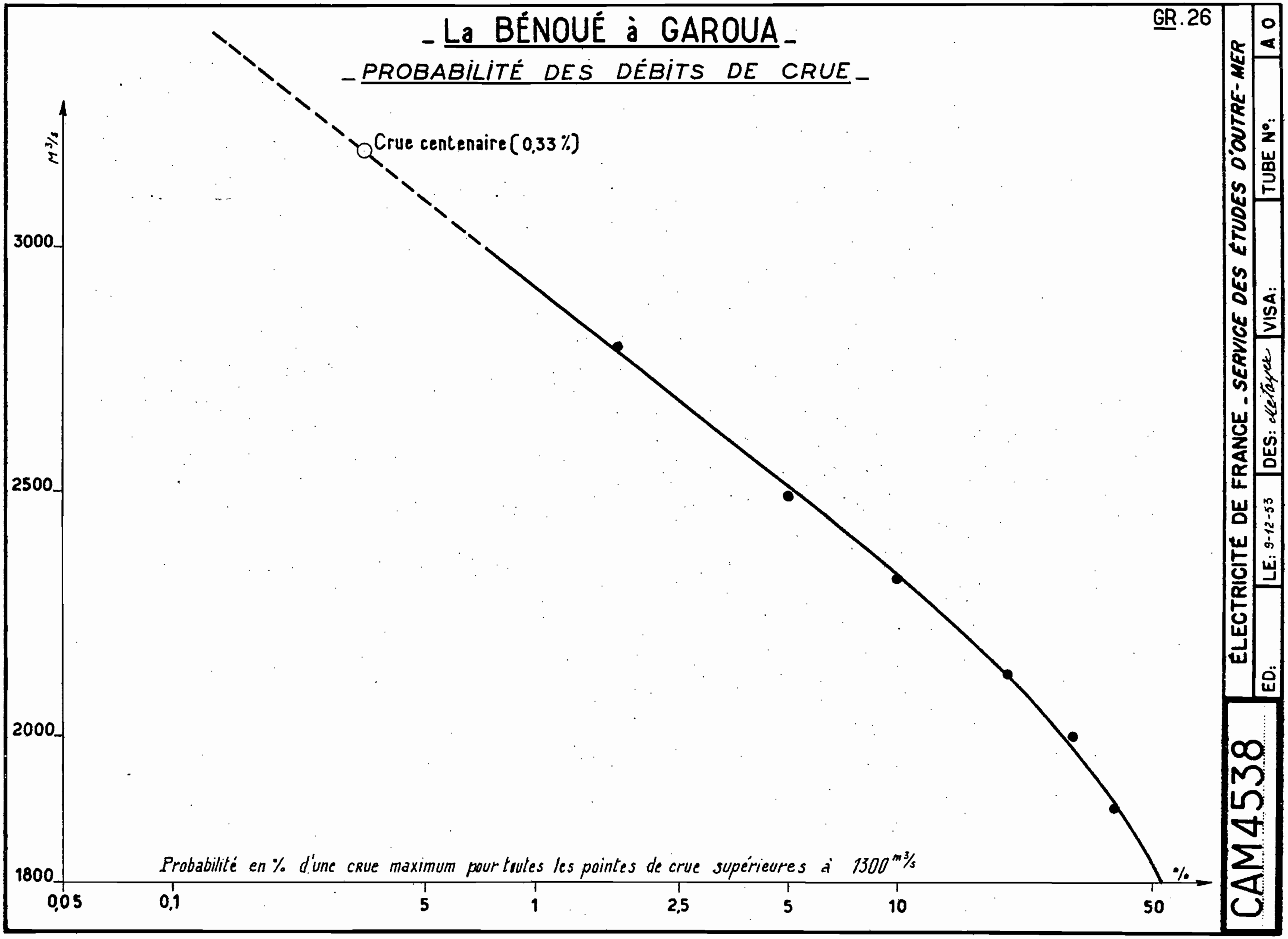
Nous voyons encore une fois la très grande différence des débits spécifiques entre très grands et très petits bassins du MAYO-MOUSOURTOU à FAMOU, le maximum annuel passe de 2.000 l/s/km2 à 15-20 l/s/km2.

d) Crues à GAROUA :

La période d'observations assez longue à cette station nous permet de tenter quelques recherches en vue de l'estimation des crues exceptionnelles.

Nous donnons ci-après un tableau des maxima annuels :

1930	1775	1938	2520	1946	1810
1931	2415	1939	1600	1947	2250
1932	2165	1941	2270	1948	2800
1933	2190	1942	2080	1949	1845
1934	2240	1943	2370	1950	1705
1935	2540	1944	1386	1951	1885
1936	2220	1945	2215	1952	1700


GR. 26
La BÉNOUÉ à GAROUA
PROBABILITÉ DES DÉBITS DE CRUE
M³/s
Crue centenaire (0,33 %)
3000
2500
2000
1800
Probabilité en % d'une crue maximum pour toutes les pointes de crue supérieures à 1300 m³/s
%
0,05
0,1
5
1
2,5
5
10
50
ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER
A O
TUBE N°:
VISA:
DES:
LE: 9-12-53
ED:
CAM 4538

Les débits maxima annuels sont restés compris, durant 21 ans, entre 1386 et 2.800, avec une moyenne de 2.095 m3/sec. correspondant à 32,8 l/s/km2.

Le Nord-Cameroun étant en plein équipement, il est intéressant de prévoir les débits de crue à craindre. Une étude de probabilité sur les 21 maxima du tableau ci-dessus serait très imprécise. Nous avons donc cherché à augmenter le nombre de termes entrant dans ce calcul; Pour cela, il nous a paru logique de tenir compte des maxima des différentes pointes de crue annuelle qui sont bien individualisées. Pour la période considérée, en se fixant une limite inférieure de 1.300 m3/sec. et en ne tenant compte que du débit journalier maximum pour chaque pointe, nous obtenons une série de 62 termes correspondant au tableau ci-contre.

Nous avions cherché en 1951 une répartition gaussique par application du test de Pearson. L'étude du calage de l'échelle pour les observations les plus anciennes à conduit à modifier certains chiffres de sorte que la courbe de fréquence des débits a été modifiée La courbe de fréquence de 1951 dans sa partie droite pouvait à la rigueur être considérée comme répondant à une distribution normale suivant la loi de GAUSS. Nous avons estimé que c'était difficile à admettre pour la nouvelle courbe, et avons préféré abandonner toute tentative dans ce sens, préférant nous en tenir à des procédés plus empiriques.

Nous avons donc tracé la courbe de fréquence annexée (graphique n° 26). Elle a été extrapolée pour les fréquences les plus faibles. Cette courbe donne la probabilité en % pour qu'un débit maximum de crue soit supérieur ou égal à un débit donné. Il est plus intéressant de connaître le débit qui ait une chance de se produire pendant une période donnée (100 ans par exemple), c'est-à-dire que nous cherchons le débit qui doit être atteint une fois sur l'ensemble des pointes de crue relatif à cette période (trois pointes par an en moyenne).

Pour déterminer la crue "centenaire", nous avons admis que, si en 20 ans il y avait 60 crues dépassant 1.300 m3/sec., en 100 ans il y aurait 300 crues dépassant 1.300 m3/sec., de sorte que le débit maximum qui aurait 100 chances sur 100 d'être atteint une fois en 100 ans serait le débit maximum d'une collection de 300 crues, soit une probabilité de $\frac{100}{300}$ = 0,33 %. Cette

LISTE DES DEBITS MAXIMA POUR LES POINTES DE CRUES

1930	1640 - 1775 - 1655 - 1675
1931	1850 - 1428 - 2415
1932	2165 - 2000
1933	2060 - 1850 - 2190
1934	2240 - 2175 - 1533
1935	1343 - 2050 - 2540 - 2172
1936	2075 - 2220 - 1650
1938	2520
1939	1600 - 1314
1940	1488
1941	2270 - 1450
1942	2080 - 1386
1943	1610 - 2370 - 2080 - 2080 - 1695 - 1695
1945	2215 - 1492
1946	1350 - 1382 - 1375 - 1810
1947	1450 - 1875 - 1800 - 2250
1948	1520 - 1950 - 2800 - 2075
1949	1845 - 1550 -
1950	1700 - 1705 - 1515 - 1330
1951	1373 - 1312 - 1335 - 1885
1952	1700 - 1501 - (1341)

hypothèse n'est admissible qu'en raison de la faible valeur des écarts entre les pointes de crue d'une part et la faible variation du nombre de pointes de crue d'une année à l'autre. Etendant ce raisonnement pour des périodes comprenant un nombre moindre d'années, on obtient les résultats suivants :

Débit maximum dépassé une fois tous les :	5 ans	2.430	m3/sec.
	10 ans	2.610	"
	20 ans	2.800	"
	50 ans	3.010	"
	100 ans	3.210	"

Il est intéressant de constater que nous avions obtenu en 1951 des chiffres comparables par une méthode beaucoup plus complexe utilisant sensiblement les mêmes données; on trouvait en effet 3.075 m3/sec. pour la crue "centenaire".

C H A P I T R E III

AMENAGEMENT NATUREL DES LITS

I) CAPTURE DU LOGONE -

La limite séparant les bassins versants de la BENOUE et du LOGONE passe dans la région située entre DANA et ERE (voir carte n° 2) sur la berge même du LOGONE La communication d'ERE constitue l'effluent le plus important du LOGONE vers la BENOUE. En suivant cette dépression, il existe une pente continue entre cette berge et le Lac de TIKEM, à partir duquel s'individualise le MAYO-KEBI (graphique n° 27). Nous avons vu précédemment que chaque année la crue du LOGONE provoque un débordement du lit qui transforme toute la région d'ERE en un vaste marécage. Les eaux cheminent lentement sur cette aire subhorizontale puis sont collectées dans la LOKA et la KABIA pour fournir, pendant 15 jours à un mois, un "débit de capture" variable suivant les années. Les eaux ainsi déviées de leur cours normal vers la dépression tchadienne gagnent l'océan. On pourrait craindre que, lors d'une crue exceptionnelle, l'érosion régressive ou l'érosion latérale provoque une capture complète du LOGONE par la BENOUE. Ce phénomène serait très préjudiciable aux territoires du Tchad.

La Mission Logone-Tchad a étudié de très près cette question. Un exposé complet sortirait du cadre de cette monographie. Nous pouvons simplement préciser ici que la capture complète par érosion régressive semble peu vraisemblable. La capture par érosion latérale, par suite des divagations du LOGONE, semble possible; elle serait évitable si des mesures énergiques étaient prises à temps au cas où la situation deviendrait menaçante.

II) PROFIL EN LONG DU MAYO-KEBI - (Graphique n° 27)

Cette rivière est bien loin de son profil d'équilibre. Un premier tronçon est suspendu à 50 m. au-dessus du niveau de base, rejoint aux Chutes GAUTHIOT. A l'aval de celles-ci, la pente est très variable, ses variations correspondant à un relief vigoureux. Elle oscille de 43 cm/km, vers le confluent, à 80 cm/km., à l'aval du verrou de COSSI.

Un sondage récent à COSSI a montré une épaisseur de sable d'au moins 30 m., prouvant un remblaiement succédant à un creusement énorme.

III) PROFIL EN LONG DE LA BENOUE - (Graphique n° 28)

La descente du plateau de l'ADAMAOUA s'effectue avec une pente de l'ordre de 30 m/km. La BENOUE a creusé dans la falaise un lit très encaissé, de 300 m. au moins, dans le rocher. Entre QUAK et BOUKOUMA, le creusement se poursuit dans les formations du Sud du BOUBANDJIDA. La pente est de l'ordre de 2 m/km.

Ensuite, la rivière s'assagit, la pente se réduisant à 30 cm., puis 10 cm/km. Elle trace alors de nombreux méandres qui provoquent une érosion latérale des berges argilo-sableuses intense. Chaque année, l'évolution des méandres est visible. On constate dans les nadérés de nombreux lits épigéniques.

La chaine de LAGDO, entaillée par la BENOUE en un point bien inattendu, doit certainement correspondre à une surimposition. La rivière, que rien n'aurait dû inciter à creuser ce défilé, a probablement taillé son lit dans des terrains aujourd'hui érodés et surimposés à la chaine.

Ce défilé s'est ainsi trouvé remarquablement situé à l'aval d'un cours à faible pente. Il constitue un emplacement de barrage idéal, donnant naissance à une très grande cuvette de plus de 4,5 milliards de m3 pour une remontée du plan d'eau de 23 m. seulement.

A l'aval du défilé de LAGDO, l'aspect de la BENOUE est le même qu'à l'amont avec une pente encore un

peu plus faible.

Vers GAROUA, on commence à connaître assez bien les variations du lit :

- La crue annuelle provoque, d'une manière générale, un léger creusement du centre de la section et un remblaiement assez fort des bords (1,50 m. environ).

- Au cours d'une pointe de crue déterminée, le maximum du débit, précédant le maximum de hauteur, correspond au remblaiement maximum des bords de la section mouillée. Ces mêmes bords se recreusent ensuite à quelques jours d'intervalle (lors du maximum de hauteur, correspondant aux faibles vitesses). Ce creusement atteint 1 m. par endroits.

  L'erreur qui a été faite en admettant que la section reste constante ne dépasse pas 5 %.

- Le lit d'étiage, s'il ne retrouve pas la même configuration d'une année à l'autre, ne semble pas changer de cote.

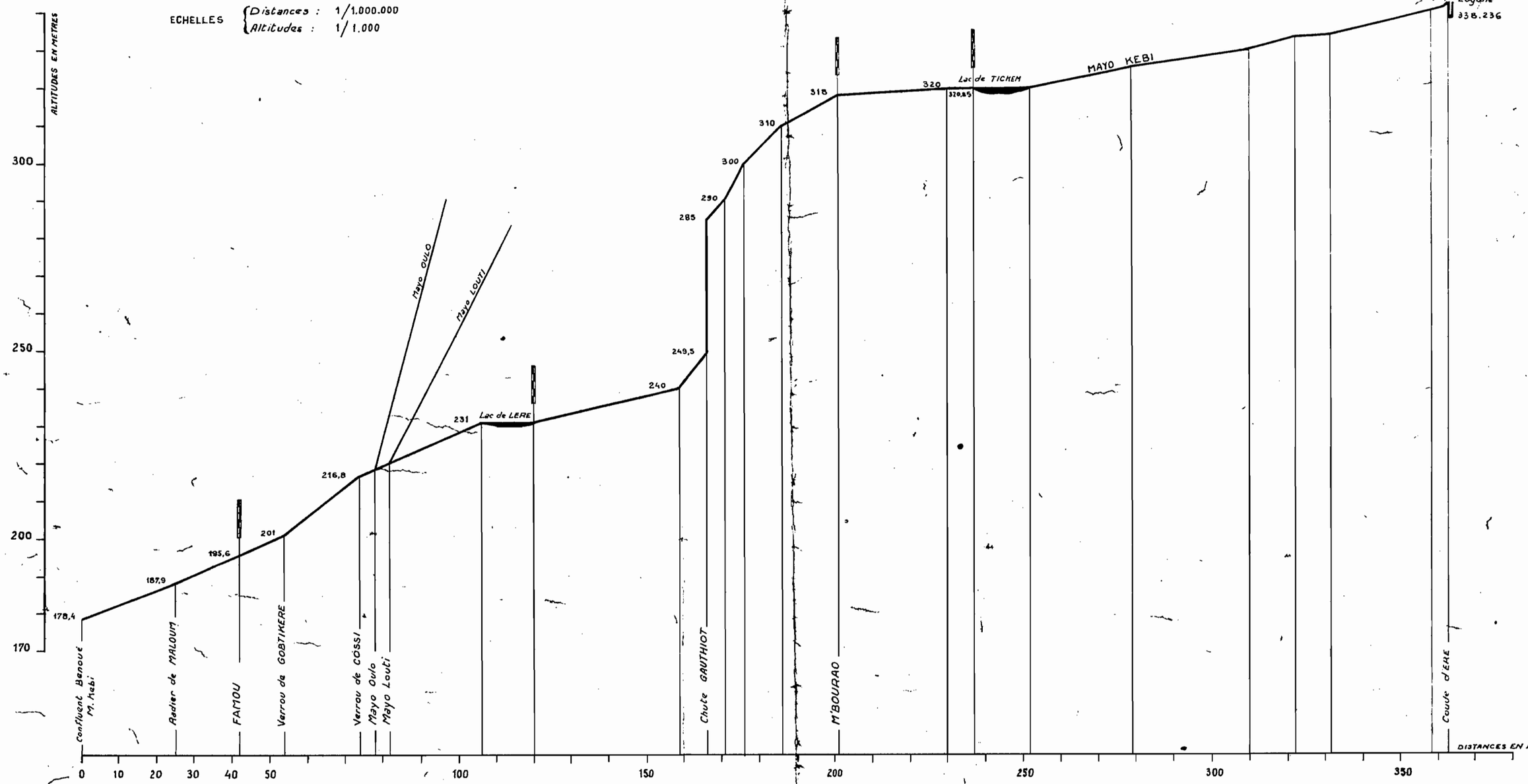
IV) TRANSPORTS SOLIDES -

Ils consistent surtout en transport de sable par le fond. On voit nettement, un peu partout, les gradins formés par les bancs de sable qui avancent. Les lits d'étiage ont des configurations très variables d'une année à l'autre. Par contre, les transports d'éléments en suspension nous semblent relativement peu importants. Le trouble apparent des eaux de crue est bien loin d'être comparable aux oueds d'Afrique du Nord par exemple. Le FARO fait un peu exception, il doit être beaucoup plus chargé de fins matériaux en suspension. Il transporte par le fond d'énormes quantités de sable assez grossier. Ceci semble expliquer que sa puissance érosive soit pratiquement nulle dès qu'il s'engage entre les ALLANTIKA et les contreforts du Massif de POLI. Il en résulte ce lit démesuré de plus de 800 m. de large, aux îles de sable mouvantes, lit de remblaiement, malgré une pente de 1 à 2 m/km.

GR 27

Profil en long du MAYO-KEBI

ECHELLES { Distances : 1/1.000.000
Altitudes : 1/1.000

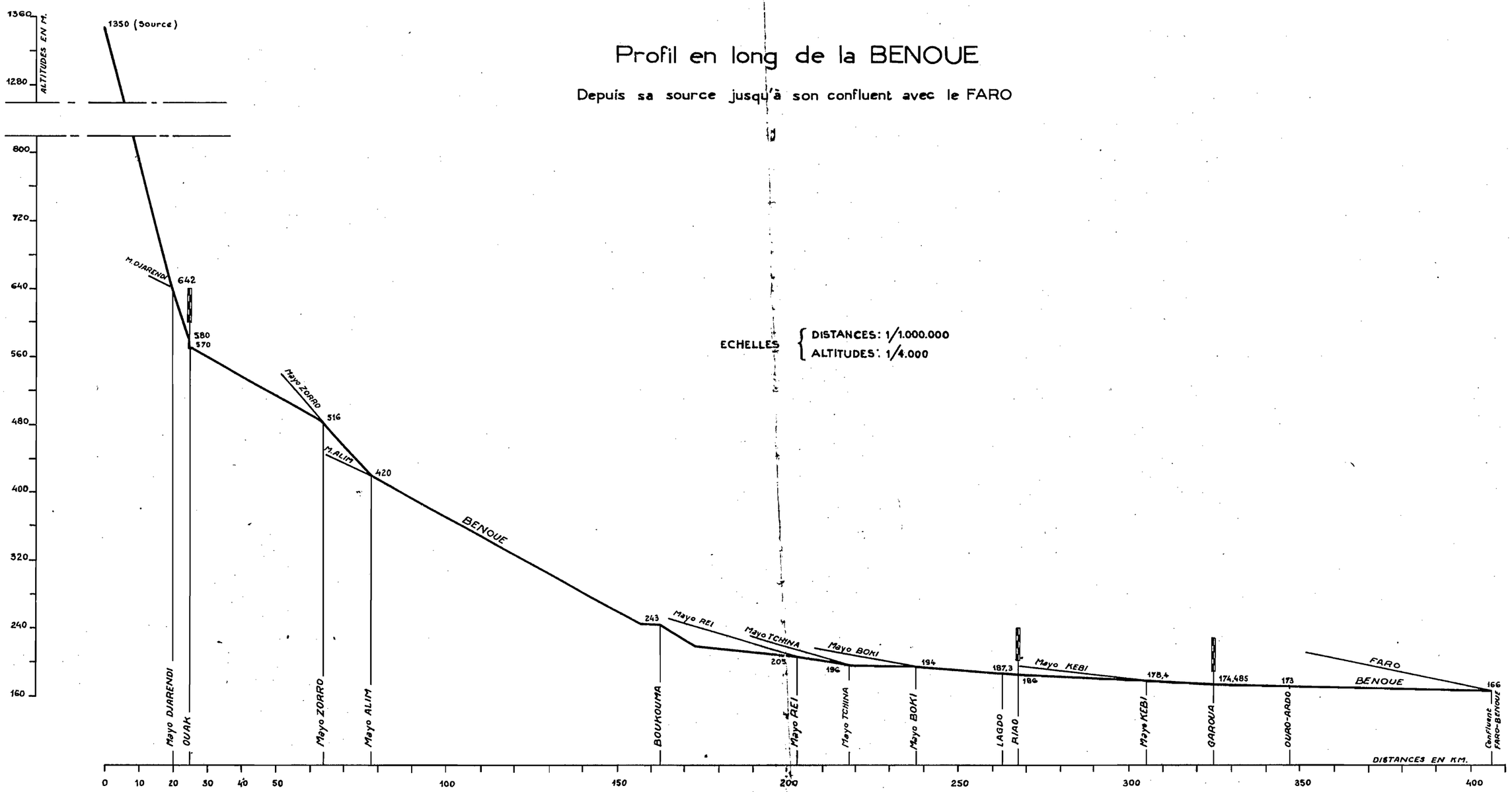


CAM 3183

R Besnard le 26-5-52

Profil en long de la BENOUE

Depuis sa source jusqu'à son confluent avec le FARO



ECHELLES { DISTANCES: 1/1.000.000
ALTITUDES: 1/4.000

CAM 3184

R. Besnard le 27-3-52

C H A P I T R E IV

CONCLUSION : UTILISATION DES EAUX

A/ NAVIGATION -

GAROUA, grâce au régime hydrologique de la BENOUE, peut être atteint chaque année par les bateaux de l'United Africa Company. Ceux-ci assurent ainsi un transport fluvial à bas prix permettant de relier le Nord-Cameroun au port maritime de BURUTU sur le delta du NIGER.

Il est ainsi possible :

- d'approvisionner en partie le Tchad et le Nord-Cameroun en matériel d'équipement de toutes sortes et denrées alimentaires;

- d'évacuer une bonne partie du coton du Tchad et des arachides du Nord-Cameroun;

en réduisant ainsi le transport par route qui coûte très cher (GAROUA est relié par les camions au port de DOUALA par 1.600 km. de mauvaise route).

Mais la période de navigabilité est très courte et très irrégulière d'une année à l'autre. Aussi, la Mission Logone-Tchad a-t-elle étudié la possibilité d'allonger cette période et d'en assurer les dates extrêmes par la construction de barrages régulateurs. On a retenue jusqu'à nouvel ordre :

1°) le site de LAGDO sur la BENOUE, 5 km. à l'amont de RIAO, qui provoquerait avec un barrage de 30 m. de hauteur, une retenue de plus de 5 milliards de m3;

2°) les sites de COSSI ou de KAKALLA sur le MAYO-KEBI, qui fournirait un appoint de 800 millions de m3 en maintenant le Lac de LERE à sa cote maximum plus longtemps.

On peut espérer à l'aide de ces ouvrages, porter le temps de navigation à GAROUA à 6 mois en réduisant les tirants d'eau de la flottille.

Les études hydrologiques sont également précieuses pour l'aménagement de la grande route GAROUA - FORT-LAMY actuellement en construction et dont les ponts enjambent le MAYO-KEBI, les MAYOS LOUTI, OULO et BINDER.

B/ AGRICULTURE -

Les bords de la BENOUE et du MAYO-KEBI permettent actuellement la culture du riz, de l'arachide et surtout du mil. Le coton est cultivé dans le bassin supérieur du MAYO-BINDER avec succès.

Le mil pousse dans les nadérés, dès la baisse des eaux.

Le riz ne peut prospérer que si sa submersion totale ne dure que trois à quatre jours. Il préfère en conséquence les bourrelets de rive et les bordures des nadérés. Le FARO aux crues courtes est plus favorable au riz.

Les études hydrologiques permettront dans tous ces cas d'étudier les niveaux les plus favorables. Enfin, les barrages pourront réserver une partie de leur eau pour assurer des irrigations. Il est possible, en particulier, que la régularisation, en abaissant les niveaux d'une manière générale à l'aval des ouvrages, rende à la culture une grande partie des nadérés actuellement incultes. On pourrait y cultiver le riz, le coton, le tabac ou le mil, sur de grandes surfaces d'un seul tenant.

L'augmentation des possibilités agricoles s'avérera indispensable dans ce pays que l'on veut développer et qui est actuellement sous-alimenté.

B E N O U E à G A R O U A

(Débits moyens interannuels en m3/sec.)

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1930								1220	1545	912		
1931								1470	1937			
1932									1711	716		
1933									1639			
1934								1506	1159			
1935								1231	1679	594		
1936								886	1742	730		
1937							1025					
1938							303	701	1580			
1939							292	951	1084			
1940							345					
1941							168	983	1380			
1942								1040	1425			
1943							198	1503	1583			
1944							129	733	1132	492,2		

.../...

B E N O U E à G A R O U A

(Débits moyens interannuels en m3/sec.)

(Suite)

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1945							201	631	1399	718	102,8	27,0
1946	pas d'observations											
1947						47,5	247,3	1235	1514	517	86,2	
1948						154,3	397	1682	1726	771	139,4	33
1949							277,5	1091	1178	488		34,7
1950	13,8	6,0	2,0		30,0	56,4	202,4	1105	1577	671	189,3	69,5
1951	24,3	7,6	2,3	0,67	31,1	44,3	200,3	968	1351	843,3	206,7	29,5
1952	12,4	7,2	1,36	0,53	10,9	60,4	213,7	730,7	1207,8	916	183,5	78,2
1953	31,7	14,1	6,1	2,5	39,1	87,8	422	818				
Moy.	10,6	18,7	2,94	0,93	27,8	75,1	308,1	1075	1465	697	151,3	45,3

A N N E X E

TEMPERATURES

Valeurs caractéristiques de l'année normale

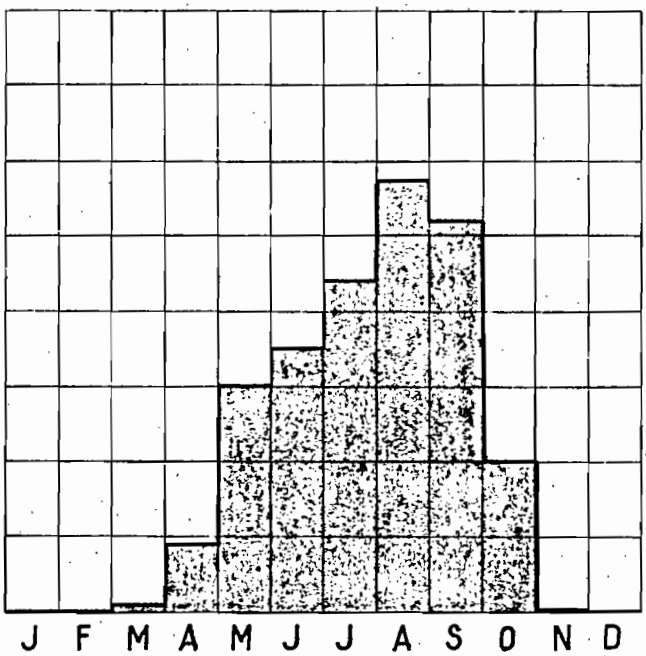
	MAROUA	MOKOLO	GAROUA	POLI	NGAOUNDERE
Moyenne annuelle des températures maxima	35,51	31,97	34,92	32,83	28,59
Moyenne annuelle des températures minima	22,28	21,11	21,23	18,28	15,63
Ecarts entre moy. annuelles des maxima et des minima	13,23	10,86	13,69	14,55	12,96
Maximum des moyennes de temp. max. en Mars-Avril	40,9	36,9	39,7	37,0	31,7
Minimum des moyennes de temp. max. d'Août	30,6	27,7	30,5	29,2	25,3
Maximum des moyennes de temp. max. de Novembre .	36,2	32,7	36,2	33,8	29,5
Minimum des moy. de temp. max. de Décembre-Janvier	33,8	30,4	35,4	33,0	29,8
Maximum des moyennes de temp. min. d'Avril	26,2	24,4	25,6	22,8	17,8
Minimum des moy. de temp. min. de Décembre-Janvier	19,3	17,6	16,7	12,3	12,4
Ecart maximum entre maxima et minima	15,0	13,7	18,9	21,2	17,8
Ecart minimum entre maxima et minima	9,0	8,0	8,5	8,5	8,4

GR.1 ANNEXE.

PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

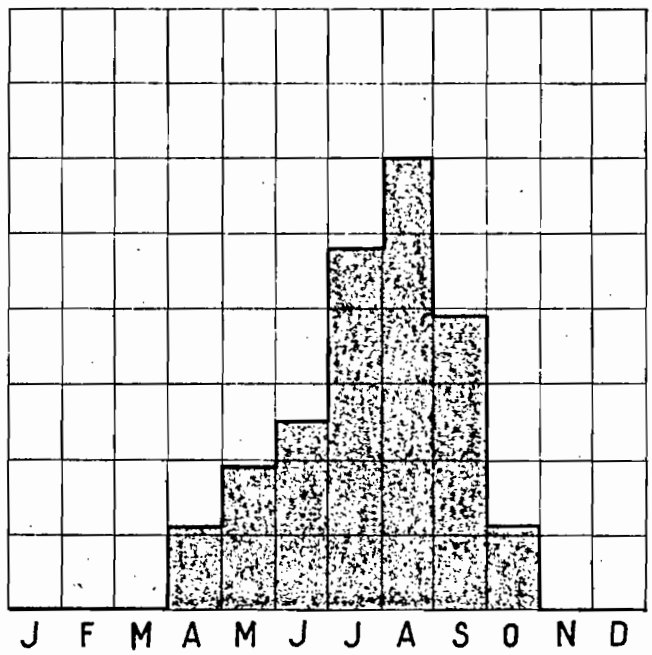
ANNÉE NORMALE

GAROUA : 992 mm

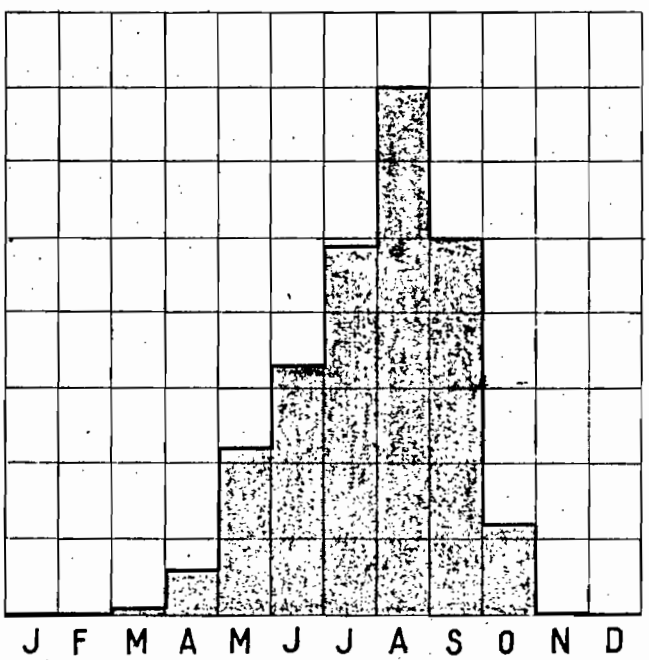


320

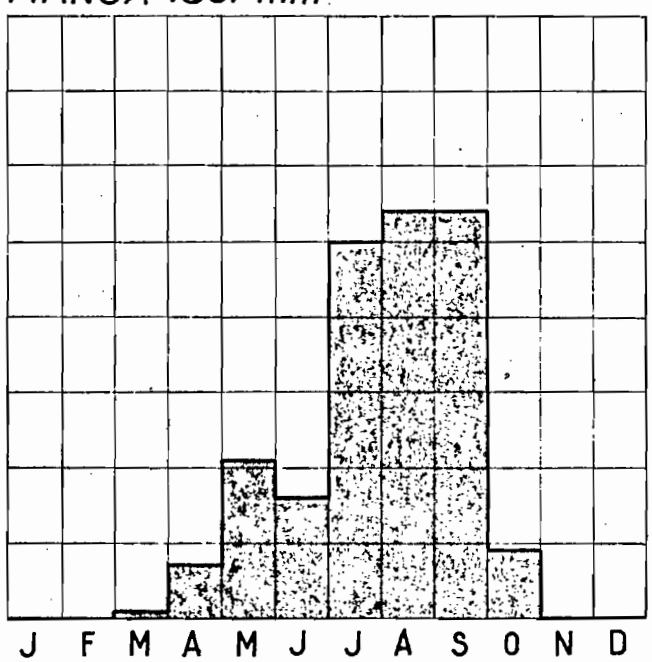
LERE : 851mm



BONGOR : 973 mm



FIANGA : 857 mm



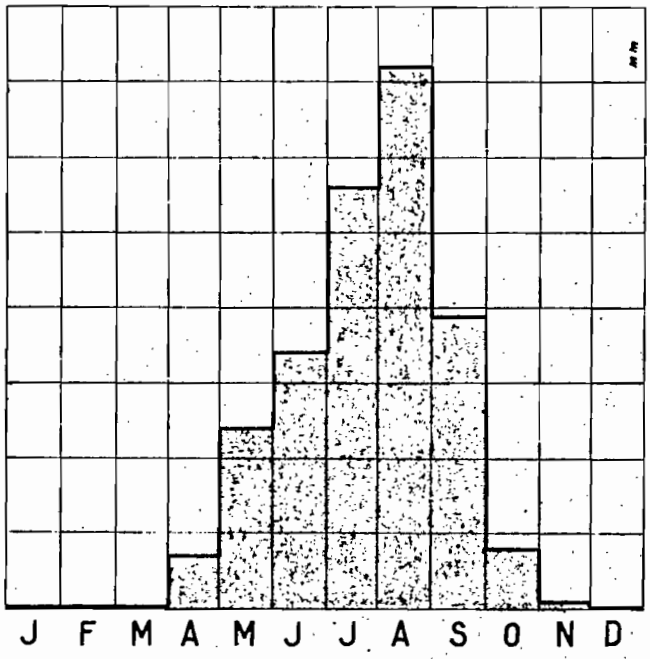
CAM4355	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 13-10-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

GR 2 ANNEXE

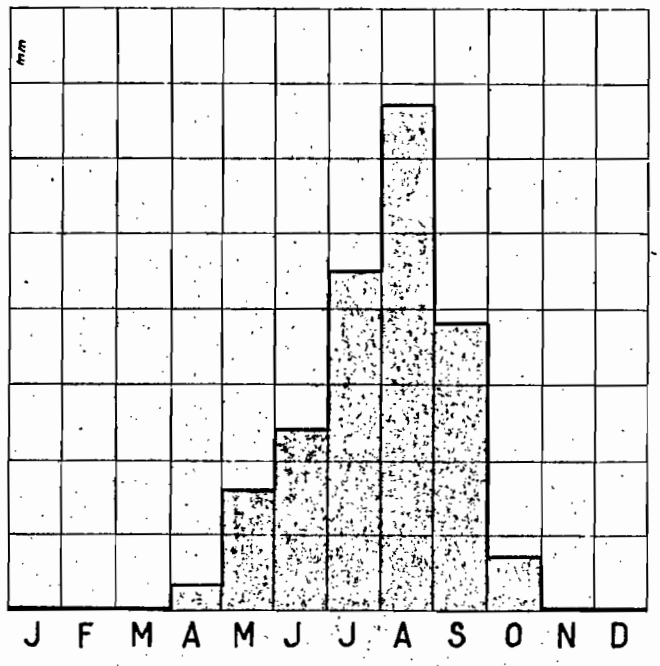
PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

ANNÉE NORMALE

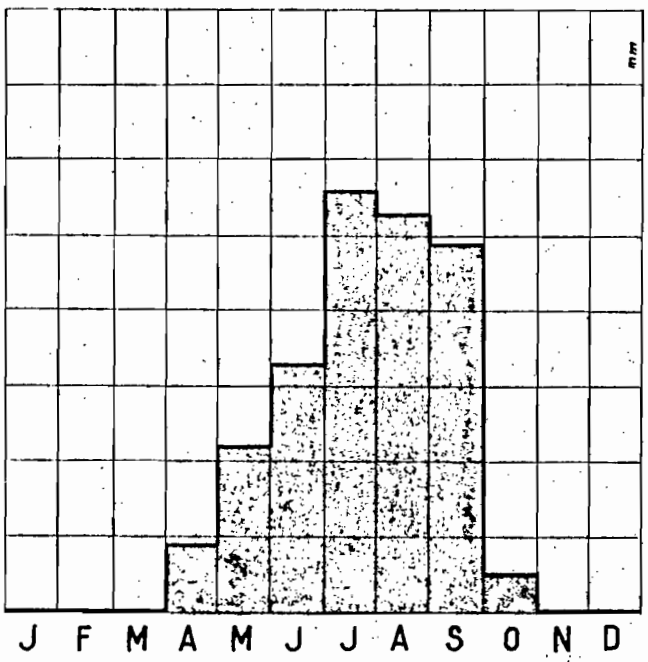
MOKOLO : 969 mm



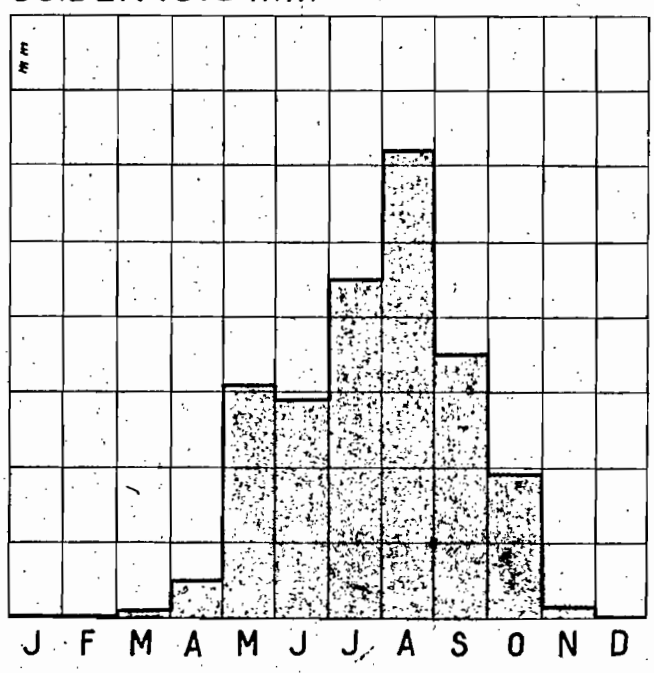
MAROUA : 798 mm



KAELE : 905 mm



GUIDER : 910 mm



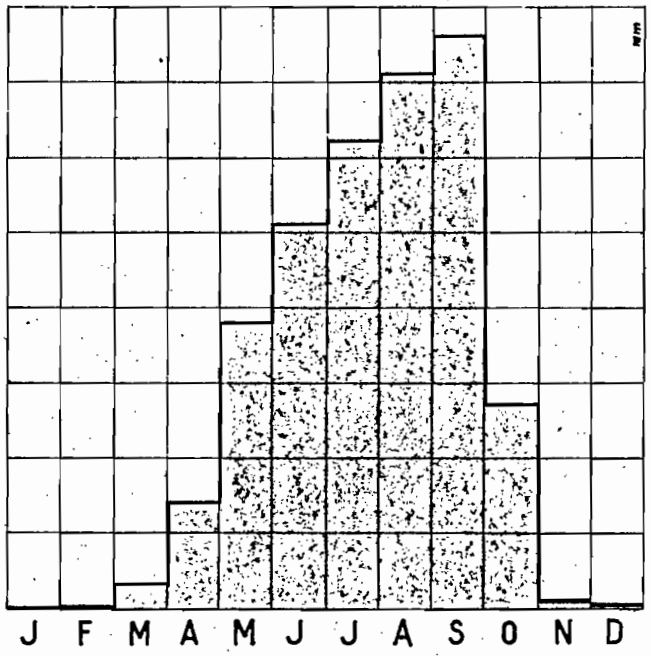
CAM4354	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 13-10-53	DES: Metayer	VISA:	TUBE N°:	A 0

GR.3 ANNEXE

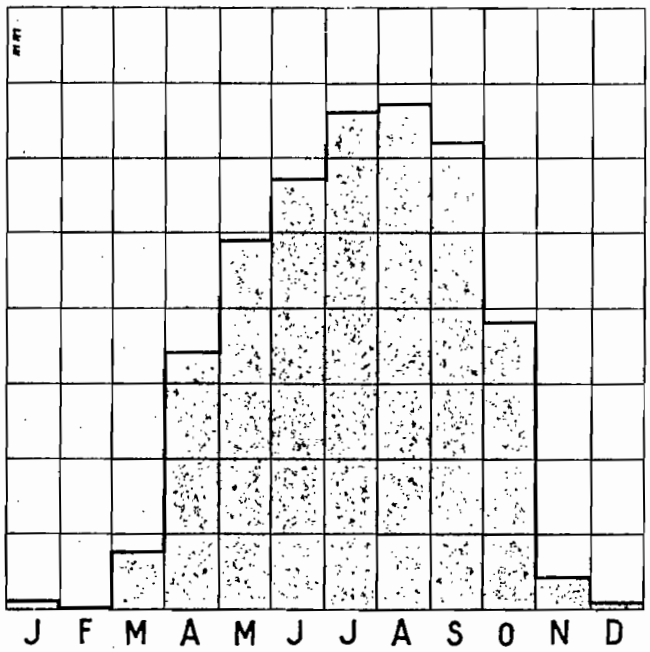
PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

ANNÉE NORMALE

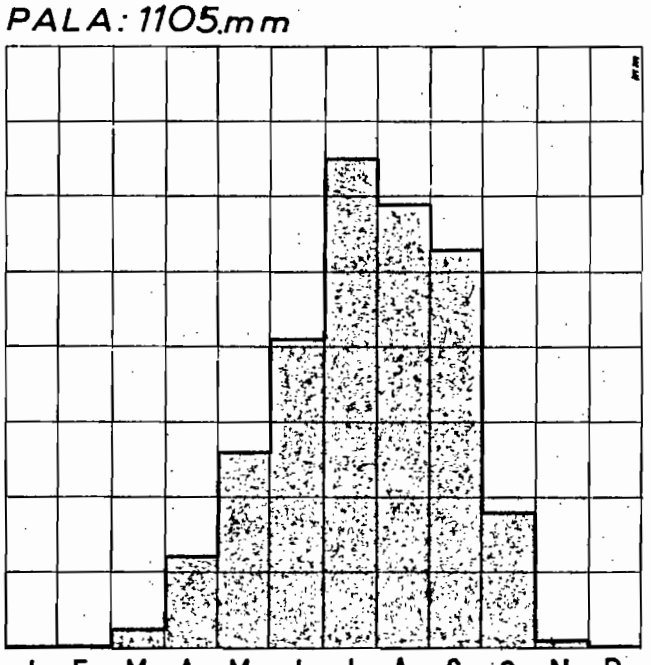
POLI : 1364. mm



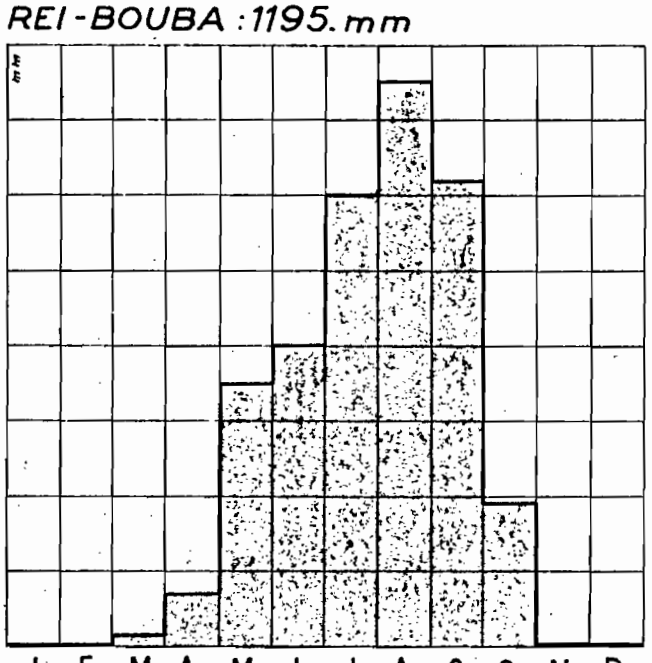
N'GAOUNDÉRÉ : 1542. mm



PALA : 1105. mm



REI-BOUBA : 1195. mm



CAM 4353	ÉLECTRICITÉ DE FRANCE _ SERVICE DES ÉTUDES D'OUTRE-MER					
	ED:	LE: 12-10-53	DES:	VISA:	TUBE N°:	A 0