

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER**



**SECRETARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES
COMITÉ INTERAFRICAIN
D'ÉTUDES HYDRAULIQUES**



MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU BASSIN DU NIGER

1^{ère} PARTIE

LE NIGER SUPERIEUR ET LE BANI

MAI 1970

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT D'ETAT
AUX AFFAIRES ETRANGERES

COMITE INTERAFRICAIN
d' ETUDES HYDRAULIQUES

M O N O G R A P H I E H Y D R O L O G I Q U E

du BASSIN du NIGER

TABLE des MATIERES

Avertissement

Introduction

- PREMIERE PARTIE - LE NIGER SUPERIEUR et le BANI

CHAPITRE I : Principales caractéristiques géographiques des bassins versants

- A - Situation
- B - Relief
- C - Sol et sous-sol
- D - Couverture végétale
- E - Réseau hydrographique

CHAPITRE II : Données climatologiques

- A - Généralités
- B - Equipement météorologique
- C - Vents
- D - Température
- E - Hygrométrie - Evaporation
- F - Précipitations

CHAPITRE III : Hyalométrie

- A - Equipement et mesures hydrométriques
- B - Généralités sur les débits observés

CHAPITRE IV : Les modules

- A - Recherche de corrélations
- B - Etude de fréquences
- C - Intervalle de confiance

CHAPITRE V : Les étiages

- A - Etude du tarissement
- B - Etude statistique des étiages absolus de KOULIKORO
- C - Etiages absolus des affluents du NIGER Supérieur et du BANI.

CHAPITRE VI : Les crues

- A - Généralités
- B - Eventualités des crues du NIGER Supérieur et du BANI
- C - Etude statistique des débits de crue à KOULIKORO
- D - Etude des crues aux autres stations
- E - Généralisation des résultats.

CHAPITRE VII : Déficits et Coefficients d'écoulementCHAPITRE VIII : Irrégularité interannuelle et Hydraulicité

- A - Irrégularité interannuelle des modules
- B - Variation de l'hydraulicité du NIGER à KOULIKORO
- C - Comparaison des hydraulicités du NIGER et de quelques fleuves africains.

ANNEXES : Tableaux des débits moyens mensuels

- " des étiages absolus
- " des crues annuelles
- " des débits caractéristiques

Mise à jour des données de KOULIKORO

- DEUXIEME PARTIE - LA CUVETTE LACUSTRE

=====

CHAPITRE I : Description morphologique

- A - Considérations générales
- B - Le NIGER de SEGOU à TOMBOUCTOU
- C - Les lacs
 - 1) Système de rive droite
 - 2) Système de rive gauche
- D - Les bassins versants de l'YAME et du BANA
- E - Le NIGER de TOMBOUCTOU à TOSSAYE

CHAPITRE II : Géologie et Hydrogéologie

- A - Géologie
- B - Evolution de la Cuvette Lacustre
- C - Hydrogéologie

CHAPITRE III : Sols et végétation

- A - Généralités
- B - Facteurs de pédogenèse
- C - Classification des sols

CHAPITRE IV : Données climatologiques

- A - Généralités
- B - Equipement météorologique
- C - Vents
- D - Température
- E - Hygrométrie et évaporation
- F - Précipitations

CHAPITRE V : Hydrométrie

- A - Equipement et mesures hydrométriques
- B - Généralités sur les débits observés
- C - Lignes d'eau du fleuve

CHAPITRE VI : Le régime du NIGER à KIRANGO

- A - Débits mensuels
- B - Modules et volumes annuels
- C - Crues

CHAPITRE VII : Le régime à KE-MACINA

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules et volumes annuels
- D - Crues

CHAPITRE VIII : Le régime à TILEMBEYA

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules
- D - Volumes annuels
- E - Crues
- F - Etiages

CHAPITRE IX : Le régime du DIAKA à KARA

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules et volumes annuels
- D - Crues et étiages

CHAPITRE X : Le régime du NIGER à MOPTI

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules et volumes annuels
- D - Crues
- E - Etiages

CHAPITRE XI : Le régime du NIGER à DIRE

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules et volumes annuels
- D - Crues
- E - Décrués
- F - Etiages

CHAPITRE XII : Le régime du marigot de GOUNDAM

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules et volumes annuels
- D - Crues

CHAPITRE XIII : Bilan d'écoulement de la Cuvette Lacustre

- A - Généralités
- B - Pertes annuelles
- C - Pertes et stockage mensuels
- D - Coefficient de régularisation
- E - Conclusion

ANNEXES : Tableaux des débits observés.

- TROISIEME PARTIE - LE NIGER MOYEN

CHAPITRE I : Géologie

- A - Esquisse géologique du bassin
- B - Aspects géologiques de la vallée

CHAPITRE II : Esquisse pédologique

- A - Généralités
- B - Les sols de la Vallée au Nord de NIAMEY
- C - Les sols de la Vallée au Sud de NIAMEY
- D - Les sols du bassin versant.

CHAPITRE III : Description géographique de la Vallée

- A - Bief de TOSSAYE - ANSONGO
- B - Bief ANSONGO - NIAMEY
- C - Bief NIAMEY-MALANVILLE - DOLE
- D - Profil en long du fleuve

CHAPITRE IV : Les affluents de Rive Droite

- A - Affluents du groupe voltaïque
- B - Affluents du groupe dahoméyen
- C - Profil en long des affluents

CHAPITRE V : Les affluents fossiles de Rive Gauche

- A - Les affluents localisés en bordure de la vallée du NIGER
- B - Le bassin du TILEMSI
- C - Le bassin de l'ATANKARER

CHAPITRE VI : Esquisse hydrogéologique

- A - Les systèmes aquifères des terrains cristallins et pré-cambriens
- B - Les systèmes aquifères des bassins sédimentaires

CHAPITRE VII : Données climatologiques

- A - Généralités
- B - Vents
- C - Températures
- D - Hygrométrie et Evaporation
- E - Précipitations

CHAPITRE VIII : Hydrométrie

- A - Equipement et mesures hydrométriques
- B - Généralités sur les débits
- C - Corrélation entre les relevés limnimétriques de diverses stations du NIGER Moyen.

CHAPITRE IX : Le régime du NIGER à TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules
- D - Crues
- E - Etiages

CHAPITRE X : Le régime des affluents voltaïques

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules
- D - Crues
- E - Etiages

CHAPITRE XI : Le régime des affluents dahoméyens

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules
- D - Crues
- E - Etiages

CHAPITRE XII : Le régime du NIGER à MALANVILLE

- A - Généralités
- B - Débits mensuels
- C - Modules
- D - Crues
- E - Etiages

ANNEXES

Tableaux des débits observés

- a) débits moyens mensuels
- b) étiages absolus
- c) crues annuelles
- d) débits caractéristiques

AVERTISSEMENT

=====

La Monographie Hydrologique dont la "Mission d'Etude et d'Aménagement du NIGER" avait demandé en 1957 la préparation à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer comporte onze volumes ronéotypés qui ont été publiés de 1958 à 1962.

Cet ouvrage très complet a été établi en utilisant la totalité de la documentation existante et garde encore une grande partie de sa valeur mais son ampleur même en a restreint la diffusion.

La présente édition imprimée a été, dans la mesure du possible, remise à jour, mais elle a aussi été sensiblement allégée pour être d'un format maniable, facile à diffuser et à consulter. Elle a été préparée par l'ORSTOM à la demande du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques et avec l'aide financière du Fonds d'Aide et de Coopération.

INTRODUCTION

Le NIGER, depuis les montagnes de GUINEE jusqu'au golfe du BENIN, joue un rôle essentiel dans la vie des immenses territoires africains qu'il traverse.

Il constitue tout d'abord une voie d'eau importante le long de laquelle se sont établies de nombreuses escales, dont deux grandes capitales : BAMAKO et NIAMEY. Bien qu'imparfaite et concurrencée maintenant par d'autres modes de transport, cette voie d'eau permet une active navigation commerciale entre KOULIKORO et TOMBOUCTOU ainsi que sur tout le cours inférieur qui traverse le NIGERIA. De tous temps également des pirogues ont sillonné le NIGER assurant le trafic traditionnel des productions locales, comme le riz et le poisson séché.

Le fleuve apporte, en effet, aux populations riveraines, le précieux appoint de ses ressources piscicoles dont l'exploitation remonte à des millénaires et qui sont exportées jusque dans les Etats voisins comme la COTE D'IVOIRE.

Les plaines d'inondation du NIGER et de ses affluents, ainsi que de son delta intérieur, sont utilisées pour la culture du riz, du coton et même du blé dans les parties les plus septentrionales. Depuis DIRE jusqu'à NIAMEY, le NIGER concentre toute la vie sur ses rives.

Des aménagements de toutes natures sont susceptibles de faire jouer au fleuve des rôles beaucoup plus importants que ceux qu'il assure dans son état naturel, et même de donner naissance à de nouvelles utilisations comme, par exemple, la production d'énergie électrique. Les réalisations telles que celles de l'Office du NIGER ne constituent qu'une partie des projets grâce auxquels ses eaux pourraient trouver leur plein emploi.

Mais qu'il s'agisse de l'amélioration de la navigation, de la construction de centrales hydroélectriques, de l'érection de barrages de régularisation ou de l'aménagement de réseaux d'irrigation, il est indispensable, dans tous les cas, de connaître le régime des variations de débits du fleuve. C'est l'objet même de la présente monographie que

de rassembler sous une forme claire et concise l'ensemble des connaissances acquises sur le régime hydrologique du NIGER.

Le cours du fleuve peut être divisé en quatre sections :

- 1 - Le NIGER Supérieur (des sources jusqu'à SEGOU) et le BANI.
- 2 - La Cuvette Lacustre ou delta intérieur (de SEGOU à TOSSAYE).
- 3 - Le NIGER Moyen (de TOSSAYE à MALANVILLE).
- 4 - Le NIGER Inférieur (sur le territoire du NIGERIA).

La monographie hydrologique comportera trois parties principales se rapportant respectivement aux sections 1, 2 et 3 du fleuve qui se situent en territoires francophones.

Pour la quatrième section, on pourra se reporter à l'ouvrage de NEDECO intitulé "River studies and recommendations on improvement of NIGER and BENUE" publié en 1959 par "North-Holland Publishing Company" à AMSTERDAM.

Plusieurs hydrologues de l'ORSTOM et de l'Electricité de France (IGECO) ont participé, sous la direction de M.J. RODIER, à la préparation de la Monographie du NIGER. On peut citer en particulier MM. Cl. AUVRAY, P. DUBREUIL, R. LEFEVRE, M. ROCHE et P. TOUCHEBEUF.

Nota : La dénomination "NIGER" n'est pas d'origine africaine. Elle a été employée par les géographes anciens pour désigner un système hydrographique qu'ils connaissaient fort mal. Ils mélangeaient vraisemblablement des données assez imprécises concernant les cours d'eau du Sud de l'Atlas à des notions très confuses sur la région lacustre du fleuve qui nous intéresse. Les riverains désignent le fleuve de plusieurs noms ; celui de "DIOLIBA" (le fleuve "du griot") est usité, par exemple, sur la plus grande partie du cours supérieur.

P R E M I E R E P A R T I E

=====

Le NIGER SUPERIEUR
et le BANI

Le NIGER Supérieur est cette section du fleuve qui est alimentée par les abondantes pluies tropicales des régions guinéennes et dont le régime hydrologique, fort simple, est calqué étroitement sur celui des précipitations.

Coulant en direction du Nord-Est vers des régions sahéliennes de plus en plus sèches, le fleuve subit une dégradation morphologique progressive et finit par déboucher dans une sorte de delta intérieur que l'on appelle la "Cuvette Lacustre". Celle-ci fera l'objet de la deuxième partie de la monographie.

Le BANI est un autre tributaire de la Cuvette Lacustre que nous allons étudier en même temps que le NIGER Supérieur, les régimes des deux cours d'eau étant assez analogues.

P R E M I E R E P A R T I E

=====

Le NIGER SUPERIEUR
et le BANI

Le NIGER Supérieur est cette section du fleuve qui est alimentée par les abondantes pluies tropicales des régions guinéennes et dont le régime hydrologique, fort simple, est calqué étroitement sur celui des précipitations.

Coulant en direction du Nord-Est vers des régions sahéliennes de plus en plus sèches, le fleuve subit une dégradation morphologique progressive et finit par déboucher dans une sorte de delta intérieur que l'on appelle la "Cuvette Lacustre". Celle-ci fera l'objet de la deuxième partie de la monographie.

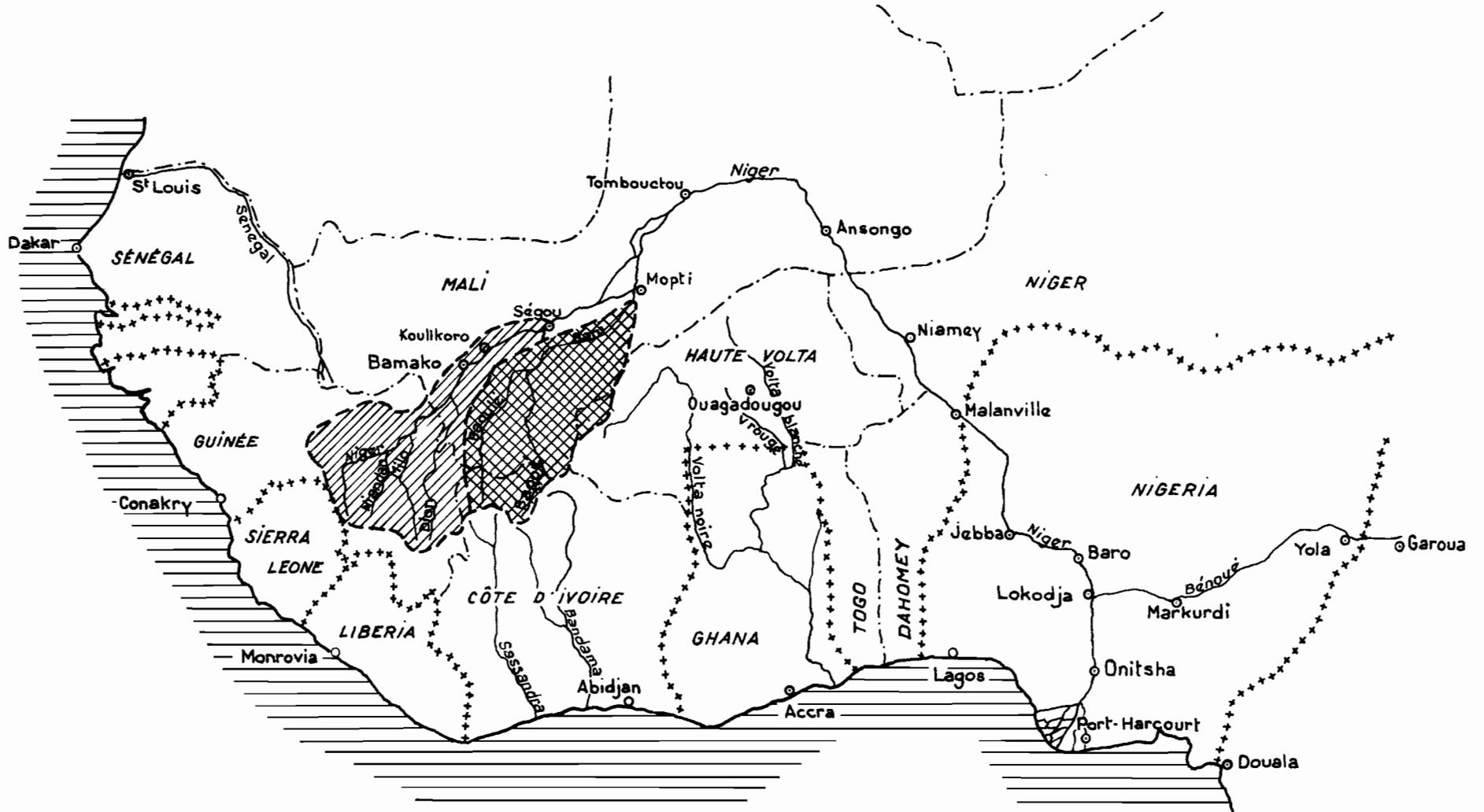
Le BANI est un autre tributaire de la Cuvette Lacustre que nous allons étudier en même temps que le NIGER Supérieur, les régimes des deux cours d'eau étant assez analogues.

Carte I

Bassins du NIGER supérieur et du BANI

CARTE DE SITUATION

1/15000000^e



C H A P I T R E I

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES
des BASSINS

A - SITUATION

Le bassin du NIGER Supérieur se limite vers l'aval à la région de SEGOU. Au point de vue hydrologique, on peut admettre que la station la plus représentative est celle de KOULIKORO. On peut y rattacher le bassin du BANI, limité vers l'aval à la station de DOUNA ; cependant, pour plus de commodité, nous étudierons, dans ce premier tome, les stations de BENENY-KEGNY et de SOFARA qui sont déjà situées dans l'emprise de la zone lacustre.

Cet ensemble s'étend entre 8° 35' et 14° 00' de latitude Nord et 4° 00' et 11° 30' de longitude Ouest.

Il est encadré au Nord-Ouest par le plateau mandingue qui vient longer le fleuve, à l'Ouest par le massif du FOUTA DJALLON, au Sud-Ouest par les nombreuses chaînes d'origine géologique très différente qui viennent s'y raccorder.

Au Sud, la limite avec le bassin des fleuves côtiers de COTE d'IVOIRE, SASSANDRA et BANDAMA, est un peu moins franche. Elle est encore moins marquée à l'Est avec les bassins de la COMOE et de la VOLTA NOIRE.

Le NIGER est constitué par les quatre branches mères suivantes

- Le NIGER proprement dit, grossi de son affluent rive droite, la MAFOU,
- Le NIANDAN

- Le MILO
- Le TINKISSO

Il recoit le SANKARANI formé par le DION et la GOUALA. Le SANKARANI reçoit l'OUASSOULOUBALE sur sa rive droite.

Le BANI est formé par la réunion du BAOULE et de la BAGOE.

On se reportera, pour plus de détails sur ce réseau hydrographique, au paragraphe correspondant.

Les superficies des divers bassins versants sont les suivantes :

Bassin du NIGER au confluent du NIANDAN	18 600 km ²
Bassin du NIANDAN	12 700 km ²
Bassin du MILO	13 500 km ²
Bassin du TINKISSO	19 800 km ²
Bassin du SANKARANI	35 500 km ²
Bassin du NIGER à SIGUIRI	70 000 km ²
Bassin du NIGER à KOULIKORO	120 000 km ²
Bassin de la BAGOE au confluent du BAOULE	43 500 km ²
Bassin du BAOULE au confluent de la BAGOE	32 700 km ²
Bassin du BANI au confluent avec le NIGER	129 500 km ²

B - RELIEF (Voir carte II)

Seuls le tiers Ouest et le quart Sud sont accidentés.

La partie occidentale du bassin du TINKISSO est située dans le massif du FOUTA DJALLON qui dépasse 1 000 m dans la région de DABOLA. Le Sud du bassin comprend des massifs très anciens auxquels l'érosion aurait donné un modelé assez terne si elle n'avait rencontré par endroits des matériaux plus résistants : comme nous le verrons plus loin, les intrusions de dolérite ont en quelque sorte armé les vieux massifs, de sorte que l'on trouve des plateaux comme celui situé au Nord de MACENTA qui culmine à plus de 1 000 m, bordé de massifs doléritiques qui tombent en pente assez raide sur les vallées du MILO et des fleuves côtiers du LIBERIA (MAKONA). D'autre part, les quartzites ont bien résisté laissant des chaînes en lame de couteau dont la plus célèbre est celle du Mont NIMBA (en dehors du bassin). La plus importante de ce genre dans notre bassin est celle du SIMANDOU située entre MILO et DION et qui culmine au pic du TIBE, à 1 500 m d'altitude. Vus de profil, ces massifs peuvent presque soutenir la comparaison avec des pics pyrénéens, mais l'impression est beaucoup moins flatteuse sous les autres angles. L'altitude de la ligne de partage des eaux, dans sa partie méridionale, diminue de façon générale de l'Ouest à l'Est. Entre NIANDAN et GOUALA, elle est située généralement à plus de 1 000 m, alors qu'au Sud du SANKARANI elle dépasse assez rarement 700 m.

Un peu en arrière de KANKAN et en avant des massifs de la région de KISSIDOU, la chaîne du NIANDAN BANIE, qui culmine à 700 m d'altitude, vient barrer les vallées du NIGER, du NIANDAN et du TINKISSO, donnant lieu à des rétrécissements qui, sur le TINKISSO et surtout sur le NIANDAN, pourraient donner lieu à l'aménagement de grands barrages (site de FOMI).

Le reste du bassin descend en pente douce vers le Nord-Est entre les cotes 400 et 300 m, constituant une pénéplaine où les seuls accidents de terrains sont des buttes latéritiques à surface horizontale au Sud-Ouest et des tables de grès au Nord d'une ligne joignant SIGUIRI aux sources de la COMOE (Sud de SIKASSO).

On trouvera la courbe hypsométrique sur le graphique I.

Sur une superficie totale de 120 000 km² à KOULIKORO, le bassin du NIGER présente :

0,95 % au-dessus de 900 mm
1,4 % entre 800 et 900 mm
2,5 % entre 700 et 800 mm
5,9 % entre 600 et 700 mm
13,6 % entre 500 et 600 mm
43,9 % entre 400 et 500 mm
31,7 % entre 300 et 400 mm
0,05 % au-dessous de 300 mm

Pour le bassin du BANI, 129 400 km² à SOFARA, la répartition est la suivante :

1,7 % au-dessus de 500 mm
12,9 % entre 400 et 500 mm
69,8 % entre 300 et 400 mm
15,6 % au-dessous de 300 mm

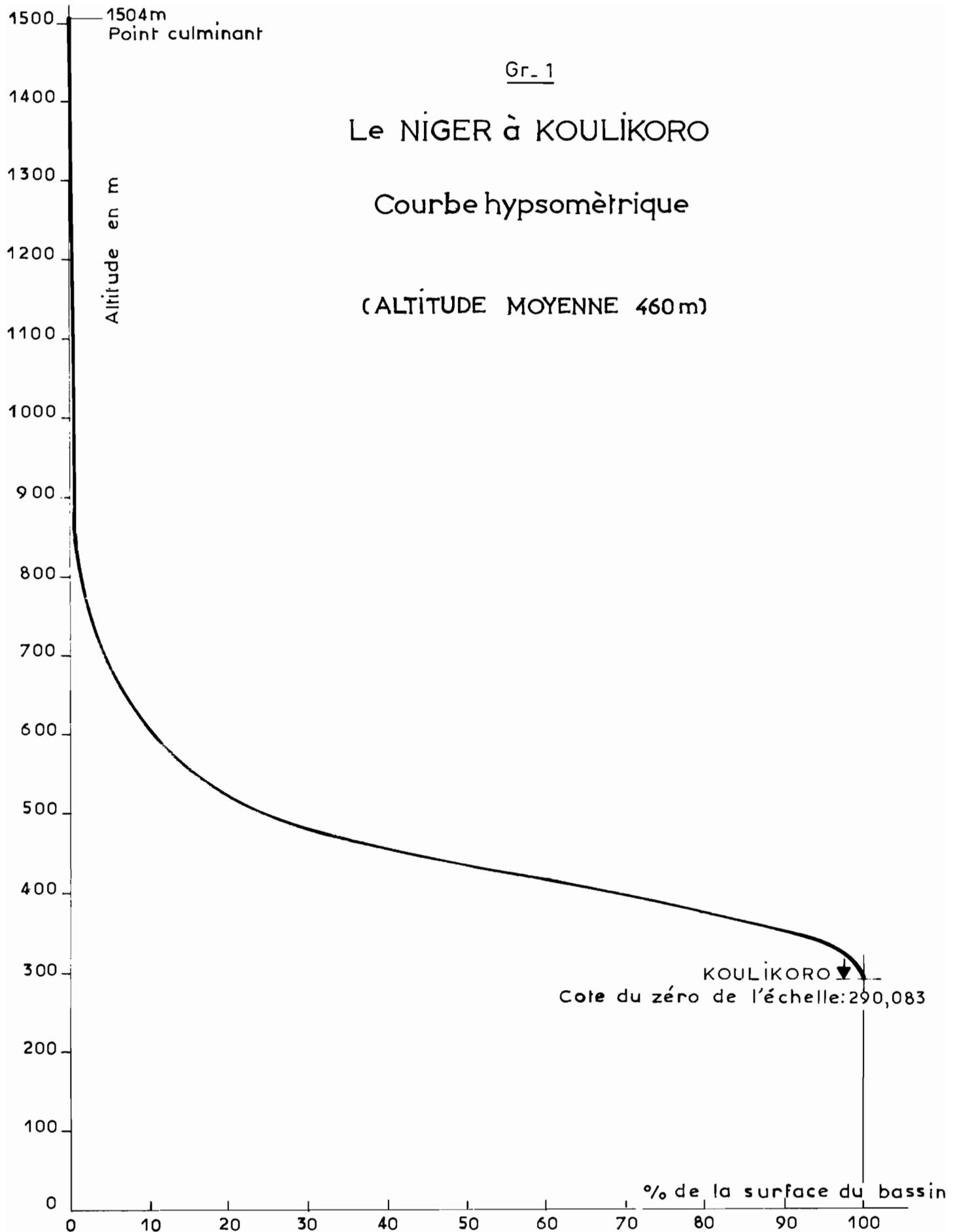
La courbe hypsométrique correspondante est tracée sur le graphique 2.

C - LE SOL ET LE SOUS-SOL

Le bassin comprend cinq types principaux de formations géologiques dans lesquels domine le Précambrien (1). Ce sont :

- a) Le Précambrien inférieur,
- b) les formations du SIMANDOU,
- c) le Birrimien (Précambrien moyen),

(1) Des recherches géochronologiques récentes donnent à penser que l'échelle stratigraphique à laquelle nous nous référons ici demandera à être révisée assez profondément.

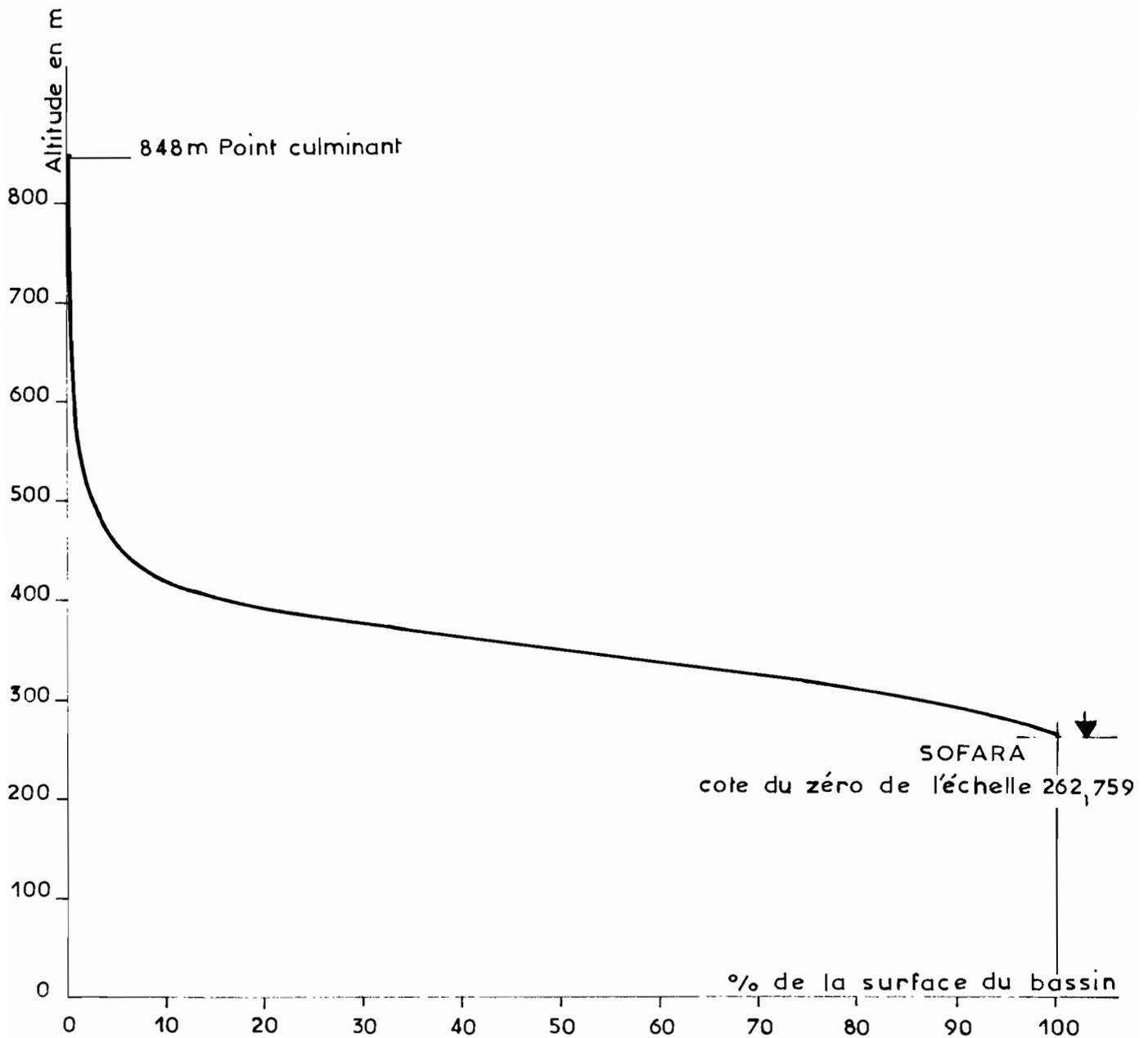


Gr. 2

Le BANÍ à SOFARA

Courbe hypsométrique

(ALTITUDE MOYENNE 355m)



d) les grès infracambriens à siluriens,

e) Les alluvions récentes.

Ces terrains se succèdent, en général, du Sud au Nord.

a) les terrains de la première catégorie couvrent pratiquement les bassins supérieurs des quatre branches mères et des affluents principaux.

Les granites dominent dans ces formations ; ces granites se présentent, en fait, sous la forme de roches orientées dans de très nombreux cas. Lorsqu'ils sont apparents, ils sont décomposés en boules.

Des coulées de dolérites beaucoup plus récentes recoupent ces terrains. Elles sont fréquentes sur les hauts bassins du MILO et du NIANDAN où elles constituent des falaises remarquables au milieu du modelé arrondi caractéristique des vieux pays granitiques. On rencontre des lambeaux de terrains plus récents, birrimiens surtout, recouvrant le granite.

b) Les formations du SIMANDOU forment une chaîne quartzitique allongée entre MILO et DION.

c) Le Birrimien recouvre la moitié Est du bassin du TINKISSO, le cours inférieur du MILO, le cours du NIGER entre MAFOU et SANKARANI, une longue bande Nord-Sud entre SANKARANI et BAOULE, tout le cours moyen du BAOULE et presque tout le cours de la BAGOE. Ces formations ont été plus ou moins métamorphosées. Des venues de granite intrusif et surtout de dolérites les traversent. A l'Ouest et à l'Est, les schistes dominent les micaschistes au centre. Lorsqu'ils ne sont pas latéritisés, les schistes se décomposent en surface en schistes cartons.

La chaîne du NIANDAN-BANIE représente la partie supérieure du Birrimien. Cette chaîne comprend des roches vertes, des schistes et des quartzites.

Au-dessous d'une zone d'altération dont nous parlerons plus loin, toutes ces roches sont rigoureusement imperméables.

d) Les formations paléozoïques sont représentées surtout par des grès contenant parfois des intercalations schisteuses.

Ces formations subhorizontales bordent le bassin au Nord-Ouest et au Nord-Est et recouvrent les parties les plus septentrionales des bassins du NIGER, du BAOULE et de la BAGOE. Nous ne citerons que les types de terrains les plus connus, en commençant par les plus anciens : les grès de SIKASSO, à grain fin, les grès de SOTUBA également à grain fin et qui constituent le lit du fleuve sur plus de 100 km à l'amont de KOULIKORO, les grès de KOULOUBA. L'ensemble de ces formations est attribué à l'infracambrien sous toutes réserves.

On trouve au-dessus, ou plus au Nord, les grès supposés ordovi-ciens, tels les grès de KATI et de BANDIAGARA.

Les produits d'altération de ces roches sont perméables ; les roches elles-mêmes manifestent une certaine rétention et on peut citer quelques sources, mais lorsque les grès sont mis à nu ils donnent lieu à un très fort ruissellement comme l'ont montré les études sur le bassin expérimental de KOUMBAKA. A bien des points de vue, on peut considérer que ces roches sont presque imperméables. Mais, il n'en est pas de même des sols qui les recouvrent.

e) les formations quaternaires sont constituées essentiellement par les alluvions des vallées dont la largeur ne dépasse guère quelques kilomètres. Le lit majeur des cours d'eau importants comporte surtout des argiles et des limons avec des couches ou des lentilles, rarement épaisses, de sables et de graviers, le tout offrant, en général, des possibilités de rétention assez faibles. Il est intéressant de noter que, dans ces alluvions du lit majeur, on rencontre un horizon de concrétions essentiellement ferrugineuses à un niveau compris entre celui des basses eaux et celui des hautes eaux. Il s'agit là de carapace latéritique en formation, mais les grains ne sont pas soudés et l'ensemble est perméable. Le lit apparent est recouvert, généralement, de sables à assez gros grain, devenant plus fin dans la partie inférieure du lit.

Si les grès sont visibles assez facilement au Nord, par contre, les terrains antécambriens présentent assez peu d'affleurements sur le reste du bassin. Ils sont recouverts d'une couche épaisse de produits d'altération.

Les granito-gneiss sont recouverts d'argiles latéritiques assez imperméables en général. Entre l'argile et la roche-mère, on rencontre souvent des arènes granitiques perméables ; ces arènes sont

misées à nu assez fréquemment sur les pentes. L'argilite latéritique donnerait lieu à des phénomènes de ruissellement bien marqués si la couverture végétale n'était pas particulièrement dense dans ces régions de basse latitude. Les arènes granitiques offrent des possibilités de rétention notables.

Les terrains birrimiens montrent dans notre bassin le cas le plus typique parmi les phénomènes d'altération latéritique.

La surface de ces formations est constituée par une carapace latéritique souvent cuirassée. La carapace, qui atteint fréquemment plusieurs mètres d'épaisseur, constitue le sommet de la plupart des collines plates de cette région. Sur le pourtour de ces collines, elle est plus ou moins disloquée par l'érosion des terrains sous-jacents.

Cette carapace repose sur une argilite bariolée latéritique, de plus en plus perméable au fur et à mesure que l'on s'approche de la roche-mère. Au contact de ces formations et de cette roche (plus ou moins décomposée d'ailleurs), on trouve fréquemment un niveau de nappes de faible importance donnant lieu à des résurgences à très faibles débits. Les phénomènes d'écoulement sont toujours très lents dans ces formations latéritiques.

Les formations latéritiques, cuirassées ou non, sont d'âges variés. Les plus anciennes datent du Tertiaire, peut-être même du Crétacé.

Les processus d'altération latéritique ou de ferruginisation se poursuivent sous le climat actuel qui permet l'individualisation et la migration des sesquioxydes.

Les sols mal drainés se trouvent ainsi menacés de cuirassement. La mise à l'affleurement des horizons indurés est une conséquence du décapage par érosion hydrique des horizons meubles subjacents.

Dans les régions paléozoïques du Nord du bassin, on rencontre les cas suivants :

- alluvions décrites plus haut,
- grès recouverts de schistes présentant des phénomènes d'altération latéritique analogue à celle des régions birrimiennes,

- grès nus imperméables
- grès recouverts de sable, donnant lieu à une certaine rétention.

En conclusion, le bassin est imperméable en profondeur. On ne peut rencontrer de nappes profondes que dans les grès ; encore semble-t-il qu'elles soient de faible importance.

En surface, il y a peu de zones absolument imperméables aucune perméable en grand. Les zones sablonneuses peuvent donner naissance à quelques sources, mais leur extension n'est pas très grande sur le bassin. En général, la carapace latéritique perméable, aidée par la densité relative de la végétation, diminue de façon efficace le ruissellement. Les possibilités de rétention, sans être très grandes, sont notables.

D - COUVERTURE VEGETALE

La densité de la couverture végétale décroît progressivement du Sud vers le Nord.

La bordure méridionale du bassin est une région d'îlots forestiers et de galeries forestières.

Presque tout le reste du bassin correspond à la "zone soudanienne méridionale" de Th. MONOD et J. TROCHAIN, dont le type de végétation est la savane boisée. Cette zone peut elle-même se subdiviser en deux parties séparées à peu près par le parallèle $10^{\circ} 30'$.

Au Sud de cette ligne la "Savane boisée guinéenne" est constituée d'arbres assez denses dont la hauteur dépasse souvent 10 m, et d'un épais tapis herbacé. Les essences les plus courantes sont le karité, le néré et le fromager. Le palmier à huile se raréfie tandis qu'apparaît le baobab. Les principales cultures sont : le manioc, la banane et l'ananas.

Au nord du parallèle $10^{\circ} 30'$ règne la savane boisée claire, dont les essences caractéristiques sont le baobab, le ronier et le karité. Les "bowés" latéritiques dénudés deviennent fréquents. Les principales cultures sont : le manioc et l'arachide ainsi que le riz dans les plaines inondables.

L'extrémité septentrionale du bassin supérieur du NIGER, au Nord du parallèle 12° 30', correspond à la "savane boisée malienne"(1) où apparaissent les premiers épineux (jujubier et acacia balanité), tandis que se raréfient les arbres à feuilles caduques et que le tapis herbacé devient plus clairsemé. La culture du coton devient courante et le mil remplace le manioc.

Sur la majeure partie du bassin versant du NIGER supérieur et du BANI, la couverture végétale a une densité suffisante pour freiner le ruissellement et augmenter ainsi la rétention tout en réduisant l'importance des transports solides.

E - Le RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du NIGER Supérieur constitue un éventail dont les principales branches sont le TINKISSO, le HAUT-NIGER, le NIANDAN, le MILO et le SANKARANI.

Le NIGER prend sa source vers l'altitude 800 à la frontière de la GUINEE et de la sierra LEONE. Son cours est torrentiel sur 40 km (km 825 au km 785), pendant lesquels il descend de 300 m (pente 7,5 m/km) en se dirigeant vers le Nord-Nord-Est. Il dessine alors de très nombreux méandres au milieu d'une plaine d'inondation qui prend un développement notable à partir du km 765 (kilométrage compté vers l'amont à partir de KOULIKORO) et surtout à partir du confluent du FALIKO, affluent rive gauche (km 700 environ). Sa pente dans ce secteur, 30 cm/km, n'est pas très forte pour un cours d'eau de si faible importance et relativement près de sa source. Le NIGER passe à FARANAH (km 680), puis reçoit successivement sur sa rive gauche : le BALE, le KOKA et le NIANDAN (à ne pas confondre avec le gros cours d'eau du même nom qui conflue avec le NIGER sur la rive droite, à l'aval du KOUROUSSA), trois rivières issues de l'extrémité méridionale du FOUTA DJALLON. Il est possible que, par leur pente assez forte, ces affluents soient responsables de la valeur assez élevée des pointes de crue du fleuve, à l'amont de KOUROUSSA.

(1) Anciennement dite "Soudanaise".

A partir du confluent du BALE, il prend la direction générale Nord-Est. Au km 480, le NIGER reçoit sur la rive droite la MAFOU, son premier gros affluent, dont la pente est relativement forte.

Immédiatement après ce confluent, il descend de près de 10 m par une série de rapides, seul accident de son cours jusqu'à BAMAKO.

Peu après, il passe à KOUROUSSA. Au km 410 il reçoit le NIANDAN en rive droite. Depuis ce point, il conserve sensiblement le même aspect jusqu'à BAMAKO : berge de 5 à 6 m de haut, plaine d'inondation notable courbes à grand rayon, quelques îles au milieu d'un lit apparent qui s'élargit progressivement. La pente, à peu près constante depuis les rapides du km 480, est voisine de 12 cm par km. Après le NIANDAN, le NIGER reçoit le MILO en rive droite et le TINKISSO en rive gauche (on trouvera ci-après la description relative de ces trois affluents).

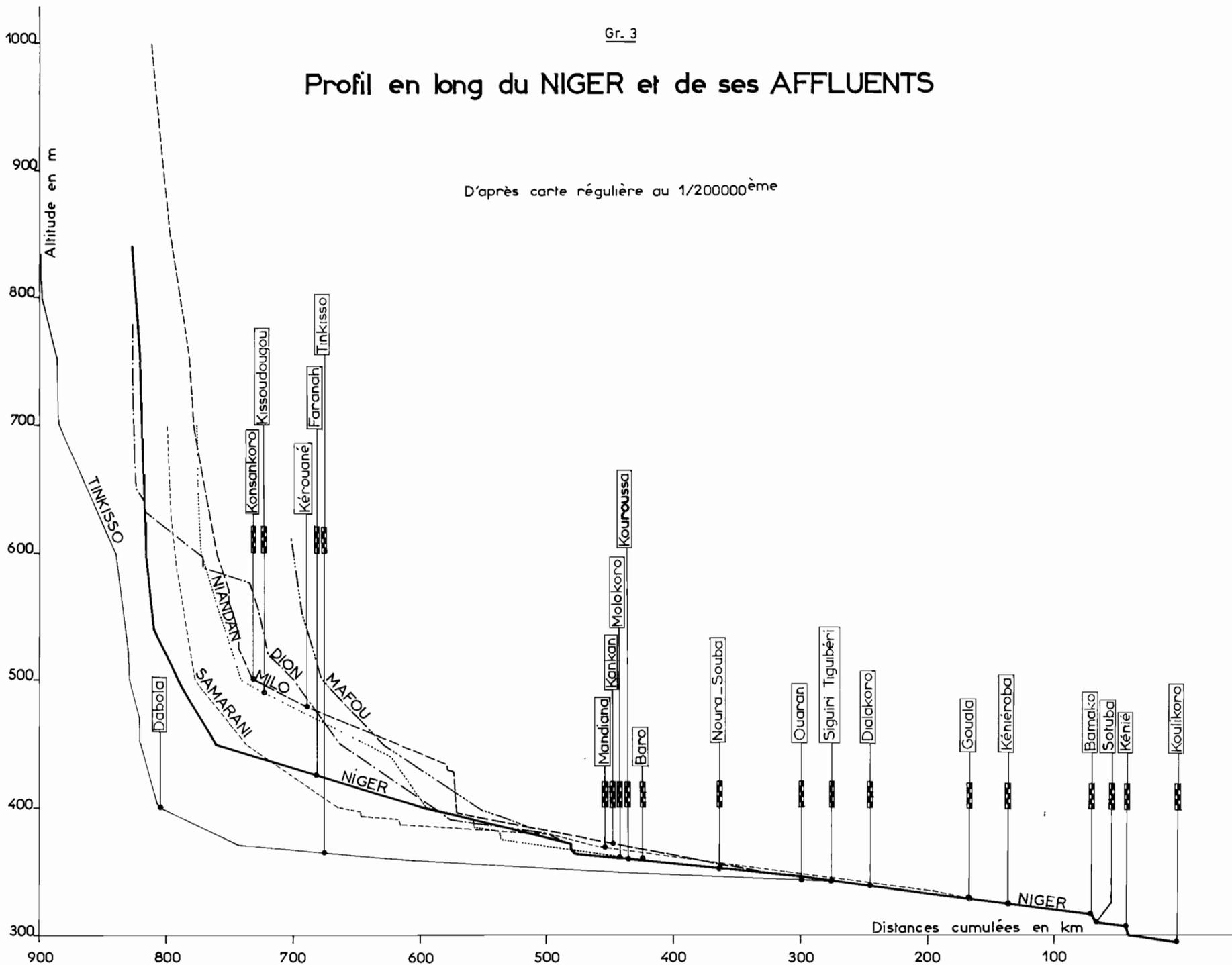
Le SANKARANI, dernier gros affluent, ne rejoint le NIGER que beaucoup plus loin vers le km 160, sur la rive droite.

Au km 70, il arrive à BAMAKO. Immédiatement à l'aval de cette ville, le fleuve descend d'une dizaine de mètres par les rapides de SOTUBA, puis après un très court palier, ce sont les rapides du KENIE, sensiblement de même hauteur. Ces deux séries de rapides présentent des caractéristiques voisines : le fleuve coule au milieu d'un plateau de grès, dans des séries de chenaux à très forte pente, présentant même des chutes en basses eaux. En hautes eaux, tout le plateau est recouvert et le fleuve se présente comme une immense nappe d'eau, à la surface plus ou moins tourmentée, dont la pente est de 1m au km. Le réseau de chenaux de basses eaux est beaucoup plus complexe au KENIE qu'à SOTUBA. Ces deux séries de rapides pourraient être intéressantes pour la production d'énergie électrique, si la forte réduction en hautes eaux de la hauteur de chute aménageable ne venait pas diminuer la production garantie.

A l'aval du KENIE, ce fleuve retrouve une pente un peu plus faible qu'à l'amont, 10 cm au km, et parvient à KOULIKORO, origine de notre profil en long, à 821 km de sa source.

Profil en long du NIGER et de ses AFFLUENTS

D'après carte régulière au 1/200000^{ème}



Le NIANDAN prend sa source vers la cote 700, à très faible distance de la MAFOU. A l'origine, sa pente, quoique forte, est beaucoup moins élevée que celle du NIGER. Il prend la direction générale Est-Ouest et passe à KISSIDOUGOU, à une cinquantaine de km de la source, ayant descendu de la cote 700 environ à la cote 490 (pente 4 m au km). A une quinzaine de km à l'aval de KISSIDOUGOU, il prend la direction générale Nord-Sud qu'il conserve jusqu'au NIGER. Sa pente, dans cette partie du bief, reste voisine de 0,5 m/km sur une centaine de km ; puis il présente une section à forte pente, descendant de 40 m en 15 km environ. Quarante kilomètres plus loin, il reçoit sur sa rive droite le BALE, cours d'eau à forte pente issu de la chaîne de dolérite (cote 1000 m environ) qui borde vers le Nord un plateau dont nous parlerons plus loin et qui domine MACENTA.

A l'aval de ce confluent, le NIANDAN présente une série de rapides spectaculaires suivis, à une vingtaine de km, par les rapides de PAM PAM. Il reçoit peu après son principal affluent rive gauche : la KOUYA.

Après ce confluent, la vallée du NIANDAN change d'aspect. La pente n'est plus de 15 cm par km environ. Le lit majeur, étroit ou inexistant jusque là, s'étend. La rivière coulant sur une largeur de 150 à 200 m, constitue de larges méandres dans une plaine d'inondation de 2 km de largeur. Cette plaine couverte de rizières est bordée de nombreux villages, alors que les rives boisées à l'amont de la KOUYA sont généralement désertes.

Dans le cours inférieur, la vallée devient un peu plus encaissée à la traversée de la chaîne du NIANDAN - BANIE, la largeur du lit majeur descendant au-dessous de 1 km. C'est la zone d'implantation du barrage éventuel de FOMI.

Le NIANDAN se jette dans le NIGER vers la cote 357-358, après un parcours de 365 km.

Le MILO est constitué par la jonction de plusieurs petits ruisseaux qui drainent un vaste plateau compris entre les altitudes 800 et 1050 et qui s'étend au Nord-Est de MACENTA. De tous les affluents du NIGER c'est celui dont la source est la plus élevée et une des plus méridionales, c'est pourquoi le débit d'étiage est relativement élevé.

Sa pente, relativement modérée pendant les 25 premiers km, s'accroît à la descente du plateau où il franchit une dénivellation de 200 m en 30 km. Vers l'extrémité aval de ce secteur, sa vallée, de direction générale Ouest-Est, est bordée au Nord par des pentes doléritiques. Il rencontre alors un petit affluent et prend la direction Nord-Sud qu'il conserve sur plus de 100 km, décrivant des méandres sans nombre dans une vallée pittoresque, bordée à l'Ouest par les pentes doléritiques qui prolongent celles dont nous venons de parler, et à l'Est par la chaîne quartzitique du SIMANDOU. Sa pente moyenne est de 42 cm par km, valeur relativement modérée.

Les premières plaines d'inondation s'observent nettement à l'aval de KEROUANE, situé presque au milieu de ce bief moyen.

A 40 km environ à l'aval de KEROUANE, le MILO reçoit son principal affluent rive gauche, le BAULE ou SANAMBA qui prend sa source sur le même plateau mais court vers le Nord et descend dans la plaine de façon beaucoup plus brutale que le MILO, sous une latitude à peine plus élevée que KEROUANE.

Après ce tronçon Nord-Sud, le MILO s'oriente vers le Nord-Ouest en décrivant de larges méandres. Sur une vingtaine de kilomètres il présente une série de rapides, descendant de la cote 430 à la cote 400, et entre définitivement en plaine, présentant un aspect et une pente analogues à ceux du NIANDAN dans son cours inférieur, mais avec une tendance plus marquée à constituer de faux bras. A l'extrémité du tiers amont de ce bief long de 250 km, le MILO borde la ville importante de KANKAN. Il se jette dans le NIGER à 50 km à l'amont de SIGUIRI, vers la cote 348, après un parcours de 490 km.

Le TINKISSO est le seul grand affluent en provenance du FOUTA DJALLON. Il prend sa source vers 850 m d'altitude à l'extrémité Sud-Est de ce massif. Il descend très rapidement à 700 m et se maintient entre les cotes 700 et 600 m dans le massif du FOUTA DJALLON, en conservant la direction Ouest-Est.

A 60 km de sa source, il descend très rapidement du massif qui lui a donné naissance dans la pénélaine de haute GUINEE à la cote 400 à DABOLA ; la dénivelée est de 200 m sur 40 km, avec plusieurs chutes spectaculaires dont la plus connue, d'une hauteur de 60 m, est visible à proximité du chemin de fer, à quelques kilomètres à l'amont de DABOLA.

La pente diminue alors très rapidement. Si elle est encore notable à BISSIKRIMA : 0,50 m par km, lorsque le TINKISSO passe entre deux massifs montagneux culminant vers 1000 m, elle passe rapidement à 20 cm/km, puis 5 cm/km, pente qu'il conserve sur les 400 km qui constituent son cours moyen et son cours inférieur. Il présente alors d'innombrables sinuosités jusqu'au confluent avec le NIGER, avec une tendance assez marquée au rescindement de ces boucles. Les plaines d'inondation sont étendues, surtout dans le cours inférieur où leur largeur atteint plusieurs kilomètres. A noter quelques rétrécissements au passage de massifs, un des plus remarquables étant celui correspondant à la traversée de la chaîne du NIANDAN-BANIE (à l'extrémité amont du cours inférieur), mais aucun de ces rétrécissements ne constitue un site de barrage bien intéressant.

Tous les affluents du TINKISSO présentent des caractéristiques analogues : très faible pente, nombreux méandres.

La BOUKA, affluent rive gauche, prend sa source à DABOLA, descend très vite à la cote 420, coule vers le Nord-Est, parallèlement au cours d'eau principal et le rejoint au Sud de DINGUIRAYE.

Le BANIE, affluent rive droite, prend sa source dans le massif de BANKO au Sud-Est de BISSIKRIMA, descend presque immédiatement en plaine, où il coule de l'Ouest à l'Est ; il décrit une grande boucle et rencontre la chaîne du NIANDAN-BANIE qu'il longe en suivant sa direction Sud-Est - Nord-Ouest jusqu'au TINKISSO.

Le TINKISSO rejoint le NIGER à 6 km à l'amont de SIGUIRI, après un parcours de 620 km.

Le SANKARANI est formé par la réunion de la GBANHALA et de la KOUROUKELLE. Ces deux rivières prennent leur source vers 650, 700 m d'altitude : la première, dans un massif montagneux situé au Nord-Ouest de BEYLA et qui culmine vers 1200 m d'altitude, la seconde, dans un second massif moins élevé, prolongeant le premier vers l'Est. Elles débouchent en plaine vers la cote 500 très près de leur source et présentent alors, presque immédiatement, méandres et plaines d'inondation. Elles confluent vers la cote 380, en aval des petits rapides de BAKELE, après un parcours d'un peu plus de 100 km pour constituer le SANKARANI, la vallée du GBANHALA est déserte et couverte par la savane boisée, la vallée de la KOUROUKELLE est un peu plus peuplée.

Dès le confluent, la pente diminue : elle n'est plus que de 6 cm par km, la direction générale qui était Sud-Nord depuis les sources devient Ouest-Nord-Ouest jusqu'au confluent avec le DION, après un parcours légèrement inférieur à 300 km.

Cet affluent rive gauche prend sa source dans le même massif montagneux que la GBANHALA vers la cote 700. A l'origine, le DION se dirige vers le Sud-Ouest. Après un large demi-cercle au Nord de BEYLA, au cours duquel il est grossi d'un certain nombre d'affluents issus de la chaîne du SIMANDOU ou de ses prolongements, il se dirige vers le Nord. Sur le plateau de BEYLA, il constitue une vallée suspendue vers la cote 600. Après avoir pris la direction générale Sud-Nord, il descend assez brusquement à la cote 520, par des séries de rapides. A l'aval, la pente diminue mais reste toujours forte, plus de 1 m au km, avec quelques zones de rapides ; les plaines d'inondation sont assez rares. Après un parcours de 250 km environ, il rejoint la cote 390, la pente devient beaucoup plus faible, il prend la direction Ouest-Est et se jette dans le SANKARANI sans avoir reçu d'affluents très importants. Le cours moyen du DION serait peut-être intéressant pour la production d'énergie hydro-électrique, mais cette région est absolument déserte, comme la vallée du GBANHALA.

A l'aval du confluent du DION, le SANKARANI présente son aspect définitif, comparable à celui des branches mères du NIGER : lit apparent aux berges de 7 à 8 m de haut, de 150 à 200 m de large, formant de très amples méandres ; plaines d'inondation dont la largeur atteint parfois 2 km à 2,500 km (surtout dans le cours inférieur), entre des collines latéritiques. Ces plaines pourraient être utilisées pour constituer de grands réservoirs de régularisation, malheureusement les sites de barrage sont très larges. Il n'est pas possible de prévoir des ouvrages de moins de 1800 m de long.

La direction, Sud-Nord depuis le confluent du DION, s'infléchit un peu vers le Nord-Est, puis vers le Nord-Ouest juste avant le confluent. Dans son cours inférieur, le SANKARANI reçoit sur sa rive droite l'OUASSOULOU BALE, rivière à très faible pente. La longueur totale du SANKARANI est voisine de 670 km.

L'aspect des vallées est sensiblement le même pour le Haut NIGER et les affluents qui viennent d'être décrits. Même dans leur cours supérieur, les vallées sont rarement encaissées. Cependant, les plaines d'inondation sont assez rares dans les biefs amont, soit sur les 100 à 250 premiers kilomètres de leur cours. Elles apparaissent au-delà de ce premier bief et prennent une largeur notable qui s'accroît de l'amont vers l'aval. Elles sont assez étendues sur le fleuve principal à partir de KOUROUSSA et surtout de SIGUIRI ; sur les affluents, les plaines d'inondation atteignent souvent 2 km de largeur et parfois jusqu'à 3 ou 4 km et plus sur le cours inférieur (SANKARANI et TINKISSO). Les cours d'eau serpentent au milieu de ces plaines couvertes de graminées ou de rizières.

Un bourrelet de rive, haut de 0,50 m à 1 m, longe les berges dont la hauteur varie de 4 à 8 m, sauf à la rencontre de collines latéritiques où des falaises de 10 à 15 m constituent parfois les rives concaves.

Le réseau hydrographique du BANI présente des caractéristiques très homogènes. Nés à faible altitude et drainant des régions très plates ces cours d'eau à très faible pente forment d'innombrables méandres au milieu des plaines d'inondation qui prennent une certaine ampleur à faible distance de la source, mais ne présentent de largeur vraiment considérable qu'à l'extrémité aval du bassin.

Le BANI est constitué par la réunion du BAOULE (à ne pas confondre avec le sous-affluent du SENEGAL) et de la BAGOE. Ces deux grands cours d'eau, dont la direction générale est Sud-Nord, prennent tous deux naissance dans la série de collines séparant le bassin du NIGER des fleuves côtiers de COTE d'IVOIRE.

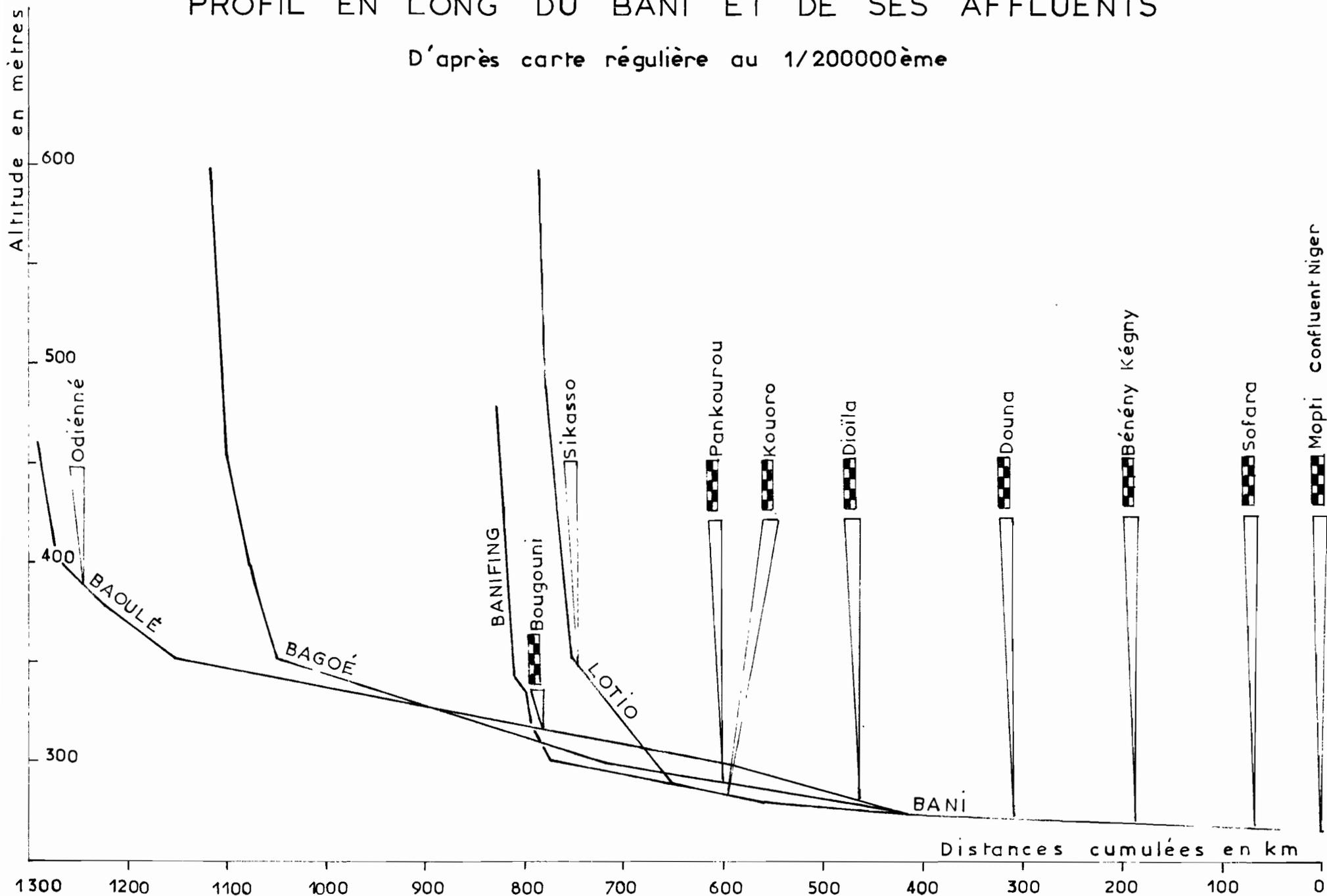
La source du BAOULE est à la cote 450 environ, donc presque à l'altitude de la plaine qui descend en pente douce de cette région vers le Nord, vers le NIGER. Méandres et plaines d'inondation commencent déjà à l'amont d'ODIENNE, soit après un parcours de moins de 30 km. Le BAOULE prend rapidement la direction Sud-Nord, la pente restant presque honorable pour une petite rivière : 40 cm par km, puis il reçoit sur sa rive droite un premier BANIFING : la pente diminue fortement et n'est plus que de 20 cm par km, les méandres s'accroissent.

Un peu plus loin, le BAOULE reçoit sur sa rive droite le DEGOU. il passe à BOUGOUNI à 500 km de la source ; les sinuosités prennent encore plus d'ampleur, la plaine d'inondation atteint une largeur de 800 à 1500 m. Peu après il reçoit un BANIFING sur sa rive droite et un autre sur sa rive gauche, après un court parcours relativement encaissé. Nous ne décrivons pas tous ces affluents ils ont tous des caractéristiques analogues.

Le BAOULE prend alors la direction générale Ouest-Est et conflue avec la BAGOE, un peu après DIOILA, à 850 km de sa source.

PROFIL EN LONG DU BANI ET DE SES AFFLUENTS

D'après carte régulière au 1/200000ème



• La BAGOE prend sa source au Sud de BOUNDIALI vers la cote 600. Elle descend en plaine encore plus rapidement que le BAOULE ; la pente se maintient alors à 15 cm par km sur 300 km, la direction restant Sud-Nord. Elle présente très vite de larges plaines d'inondation et un cours sinueux. Elle reçoit dans son cours moyen la BAFINI en rive droite et sur la rive gauche la KANKELABA puis un BANIFING. La pente diminue encore, les méandres s'atténuent et la BAGOE rejoint le BAOULE après un parcours de 700 km environ.

A 20 km à peine à l'aval de ce confluent, le BANI reçoit sur sa rive gauche le plus important de tous les BANIFING issus de la région au Nord-Est de SIKASSO. Un des tributaires de cette rivière, la LOTIO, est le seul cours d'eau notable du bassin du BANI à présenter une forte pente ; il est issu du plateau gréseux et assez accidenté situé au Sud de SIKASSO. Le BANIFING, après le confluent de la LOTIO, présente une pente très faible, moins de 10 cm par km.

Après ce dernier affluent important, le BANI s'élargit de plus en plus, alors que le cours s'infléchit vers l'Est. Les sinuosités du lit apparent disparaissent presque mais la plaine d'inondation devient de plus en plus large, surtout à l'aval de DOUNA. La largeur atteint vite une dizaine de km. Le BANI passe au voisinage de SAN, où il reçoit sur sa rive droite un dernier petit BANIFING, puis il entre dans la cuvette lacustre du NIGER vers l'altitude 269 ; la pente devient extrêmement faible : moins de 2 cm par km. Cependant, sur la rive droite, la plaine d'inondation est limitée par une série de collines gréseuses d'où sont issus quelques petits cours d'eau parmi lesquels celui qui a été utilisé pour l'aménagement du bassin versant expérimental de KOUMBAKA.

Le cours du BANI, dans la plaine d'inondation, se redresse vers le Nord ; de nombreux bras secondaires prennent naissance à assez faible distance des rives et enfin le BANI se jette dans le NIGER, à MOPTI, après un parcours total de près de 1300 km.

C H A P I T R E I I

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

A - GENERALITES

Les bassins du NIGER Supérieur et du BANI sont sous l'influence du climat guinéen au Sud de la ligne SIGUIRI-SIKASSO et du climat malien (anciennement dit "soudanien") au Nord de cette ligne. Ces climats sont caractérisés tous deux par une saison sèche en hiver et une saison des pluies en été. Le climat guinéen diffère principalement du climat malien par une saison sèche plus courte et moins aride et naturellement par une saison des pluies plus longue.

Les caractéristiques climatologiques essentielles s'expliquent par le mécanisme de circulation de deux masses d'air :

- L'air continental tropical qui provient du Sahara, air sec, à température élevée en été, de direction générale Nord-Est et appelé communément "l'Harmattan".
- L'air équatorial maritime, humide et instable, de température relativement fraîche, provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène, de direction Sud-Ouest et appelé communément "la mousson".

Les mouvements de ces masses d'air sont commandés par les déplacements de l'anticyclone semi-permanent de Sainte-Hélène, la ceinture des basses pressions équatoriales, l'anticyclone continental boréal qui couvre le Sahara en hiver et qui est remplacé par une dépression saharienne en été.

Les situations réciproques des masses d'air en présence évoluent entre les deux cas extrêmes suivants :

- en Janvier l'anticyclone saharien occupe une position centrée vers le 30° parallèle. L'Harmattan souffle en permanence du Nord-Est.
- en Juillet, au contraire, l'anticyclone saharien a fait place à la dépression saharienne et l'anticyclone de Sainte-Hélène, particulièrement puissant, est remonté vers le Nord. La Mousson venant du Sud-Ouest envahit tout le bassin du NIGER Supérieur.

Il y a un mouvement de bascule entre l'Harmattan et la Mousson qui, dans son incursion vers le Nord, pénètre en coin sous le premier. La surface de contact entre les deux masses d'air, bien connue par sa trace au sol, est le front intertropical (F.I.T.).

Le déplacement du F.I.T. est conforme au mouvement de bascule ; il se déplace lentement depuis le 8° parallèle, au Sud du bassin, position de Janvier, jusqu'au 20° parallèle qu'il atteint en Août. Le déplacement du F.I.T. vers le Nord donne lieu à des formations nuageuses très importantes et à des averses orageuses.

Un observateur placé sur le bassin à l'arrivée du F.I.T. en Avril n'observe pas de précipitations ; le degré hygrométrique au sol devient élevé et il se produit des tornades sèches, mais très peu d'averses.

L'épaisseur du coin d'air de la Mousson augmente progressivement ; des actions dynamiques engendrent une première série de grains qui s'alignent suivant une ligne Est-Ouest parallèle au F.I.T., ce sont les premières tornades. Puis lorsque l'épaisseur atteint 2000 m, par suite d'un ensemble de phénomènes assez complexes, des séries de tornades se produisent sur des lignes Nord-Sud se déplaçant d'Est en Ouest. Les tornades sont courtes, violentes, chacune d'elles ne couvre qu'une surface assez limitée : quelques centaines de km². Enfin, lorsque l'épaisseur de la Mousson est maximale, les formations nuageuses instables de cette masse d'air donnent lieu à des pluies de caractère continu beaucoup moins intenses et durant plusieurs heures. Faute de dénomination bien définie, nous appellerons ces averses "pluies de Mousson".

Le F.I.T. redescend vers le Sud en Septembre et Octobre. Dans ce déplacement il n'y a pas de précipitations, sauf au début du mouvement. D'Octobre à Avril, l'observateur, dans la zone de l'Harmattan, n'observe pratiquement pas de pluie.

Dans ce qui suit, nous présenterons d'abord les stations météorologiques permettant d'étudier ces phénomènes, puis nous examinerons successivement les caractéristiques relatives au vent, aux températures, à l'hygrométrie (humidité de l'air et évaporation) et enfin aux précipitations. Nous donnerons, bien entendu, un développement beaucoup plus important à ce dernier paragraphe.

B - EQUIPEMENT METEOROLOGIQUE du BASSIN

Nous utiliserons les postes situés dans le bassin et au voisinage de ses limites. Ces stations sont au nombre de quatorze.

Le tableau ci-après en donne la nomenclature avec indication de leur situation géographique, leur altitude et la date de leur mise en service.

Stations	Latitude Nord	Longitude Ouest	Altitude (m)	Date de mise en service
<u>Climat Guinéen</u>				
BEYLA	08° 41'	08° 39'	695	1921
BOUGOUNI	11° 25'	07° 30'	353	1921
KANKAN	10° 23'	09° 18'	377	1921
KOUROUSSA	10° 39'	09° 53'	372	1923
MACENTA	08° 32'	09° 28'	543	1931
MAMOU	10° 22'	12° 05'	782	1921
ODIENNE	09° 30'	07° 34'	432	1921
SIGUIRI	11° 26'	09° 10'	362	1923
SIKASSO	11° 19'	05° 41'	377	1920
<u>Climat Malien</u>				
BAMAKO	12° 38'	08° 01'	331	1920
KOUTIALA	12° 24'	05° 28'	357	1921
MOPTI	14° 30'	04° 12'	268	1921
SAN	13° 18'	04° 54'	287	1921
SEGOU	13° 27'	06° 16'	288	1920

SIGUIRI, BOUGOUNI et SIKASSO marquent sensiblement la limite entre les deux climats.

Les différentes variantes du climat malien (1) sont bien représentées. Il n'en est pas tout à fait de même du climat guinéen. Une station à KEROUANE et une autre à KISSIDOUGOU seraient bien utiles pour compléter l'ensemble.

Cependant, nos quatorze stations suffisent pour définir les données générales du climat.

Les stations pluviométriques sont beaucoup plus nombreuses. En utilisant les données des stations situées non seulement à l'intérieur du bassin, mais encore à l'extérieur et à distance assez faible des limites, on peut disposer de soixante stations pour une superficie de 250 000 km² environ, soit un peu moins d'une station pour 4 000 km². C'est suffisant pour le tracé des isohyètes en zone malienne, où les hauteurs de précipitations annuelles varient très progressivement, mais pour les bassins supérieurs des divers affluents, où les variations de pluviométrie sont grandes sur de faibles distances, le nombre de postes est beaucoup trop faible. Il est difficile de déterminer avec précision la hauteur de précipitation pour cette partie du bassin.

On trouvera la liste des postes pluviométriques avec l'étude des précipitations.

C - LES VENTS

Il est facile de déduire des considérations qui précèdent les grandes lignes du régime des vents :

Pendant la saison sèche domine l'Harmattan, vent de l'Est ou du Nord-Est.

Pendant la saison des pluies, c'est la Mousson, vent du Sud-Ouest ou du Sud.

(1) Cette nouvelle dénomination correspond à l'ancien "Climat Soudanien".

Dans la zone guinéenne méridionale, les jours de vent sont peu nombreux : pendant la saison des pluies, le vent est du secteur Sud un jour sur dix et pendant la saison sèche, il est du secteur Est un jour sur sept environ, d'après les relevés d'ODIENNE.

Dans la zone guinéenne septentrionale, la fréquence des jours de vent est un peu plus élevée. La direction de la mousson est du Sud-Ouest, tandis que l'Harmattan souffle du Nord-Est.

Dans la zone malienne, la direction des vents reste sensiblement la même, mais la fréquence augmente beaucoup, tout au moins en saison sèche. MOPTI est soumis à l'Harmattan 60 jours sur 100 et SEGOU 86 jours sur 100.

Le tableau ci-dessous donne la répartition des vitesses à 7 stations. La dispersion est assez grande car les sites des diverses stations correspondent à des conditions assez particulières. MOPTI, par exemple, doit être relativement abrité, alors qu'au contraire SEGOU est particulièrement exposé.

Stations	≤ 1 m/s	2 à 4 m/s	5 à 6 m/s	7 à 14 m/s	15 à 21 m/s
KANKAN	163 j	187 j	12 j	3 j	# 0
SIKASSO	256 j	109 j	0 j	0 j	0
BOUGOUNI	168 j	156 j	32 j	9 j	0
SIGUIRI	167 j	158 j	30 j	10 j	0
BAMAKO	92 j	216 j	46 j	11 j	# 0
SEGOU	61 j	218 j	70 j	16 j	0
MOPTI	158 j	144 j	45 j	17 j	# 0

En général, les vitesses sont assez faibles. Le plus fréquemment, les vitesses sont de l'ordre de 2 à 4 m/s (110 à 290 jours par an).

Au Nord de la ligne SIGUIRI - BOUGOUNI - SIKASSO, il y a 30 à 50 jours par an entre 5 à 6 m/s. Dans la même région, 10 à 17 jours entre 7 à 14 m/s (plus près de 7 que de 14). Les valeurs entre 15 et

20 m/s sont rares. Les vents sont beaucoup plus forts dans la zone malienne que dans la zone guinéenne. Il s'agit généralement de l'Harmattan. Il est difficile d'obtenir des chiffres précis pour le Sud du bassin.

Outre les vents réguliers, Mousson ou Harmattan, qui soufflent pendant plusieurs heures, il y a lieu de tenir compte des coups de vent très courts qui précèdent les tornades ; ils donnent lieu à des vitesses très fortes et ont un effet beaucoup plus dévastateur que ces vents réguliers.

D - LES TEMPERATURES

La température moyenne croît assez régulièrement du Sud au Nord

A MACENTA elle est de 25°
A KANKAN elle est de 26°
A SIGUIRI elle est de 26° 9
A BAMAKO elle est de 28° 5
A SEGOU elle est de 28° 6

Cette variation est peut-être un peu moins nette dans le bassin du BANI ; de façon générale, à latitude égale, les températures sont plus élevées sur le bassin du BANI que sur celui du NIGER.

L'influence de l'altitude est sensible au-dessus de 600 m et surtout au-dessus de 1000 m. BEYLA, par exemple, à plus de 600 m d'altitude, présente une température moyenne de 23° 7. Une forte hauteur pluviométrique réduit également la température moyenne.

Les variations journalières et saisonnières de température dépendent de deux facteurs principaux : l'angle d'incidence des rayons solaires qui passe par un minimum bien marqué en Décembre et Janvier et le degré hygrométrique de l'air dont l'accroissement s'accompagne d'une réduction des écarts thermiques.

Sur les graphiques ci-après ont été représentées les variations de moyennes mensuelles des températures diurnes, nocturnes et des écarts aux stations de BAMAKO et KANKAN.

Sur le graphique de BAMAKO, on constate un minimum en Décembre Janvier voisin de 33° (température diurne) ; en fait, ce minimum est généralement compris entre le 15 Décembre et le 15 Janvier. La moyenne nocturne de Janvier : $17^{\circ} 5$, est la valeur la plus basse de l'année. L'"effet d'hiver" est assez bien marqué. L'écart journalier est considérable.

Les températures diurnes et nocturnes croissent pendant la saison sèche jusqu'en Avril ; l'amplitude journalière, toujours forte, est maximale en Février avec $16^{\circ} 5$. En Avril, se situe le maximum diurne : $39^{\circ} 4$.

En Mai, l'humidité de l'air et les premières pluies diminuent légèrement les températures diurnes et surtout l'écart journalier. Cependant, par suite de l'humidité de l'air (la Mousson a remplacé l'Harmattan), cette période est la plus pénible de l'année.

La saison des pluies s'installe, les températures diurnes continuent à baisser, passent par un minimum de $30^{\circ} 1$ en Août, nettement inférieur au minimum de Décembre. L'amplitude journalière n'est plus que de $6^{\circ} 9$.

En Octobre et Novembre les pluies ont cessé, la température diurne augmente et passe par un maximum secondaire de 35° ; les températures nocturnes décroissent lentement.

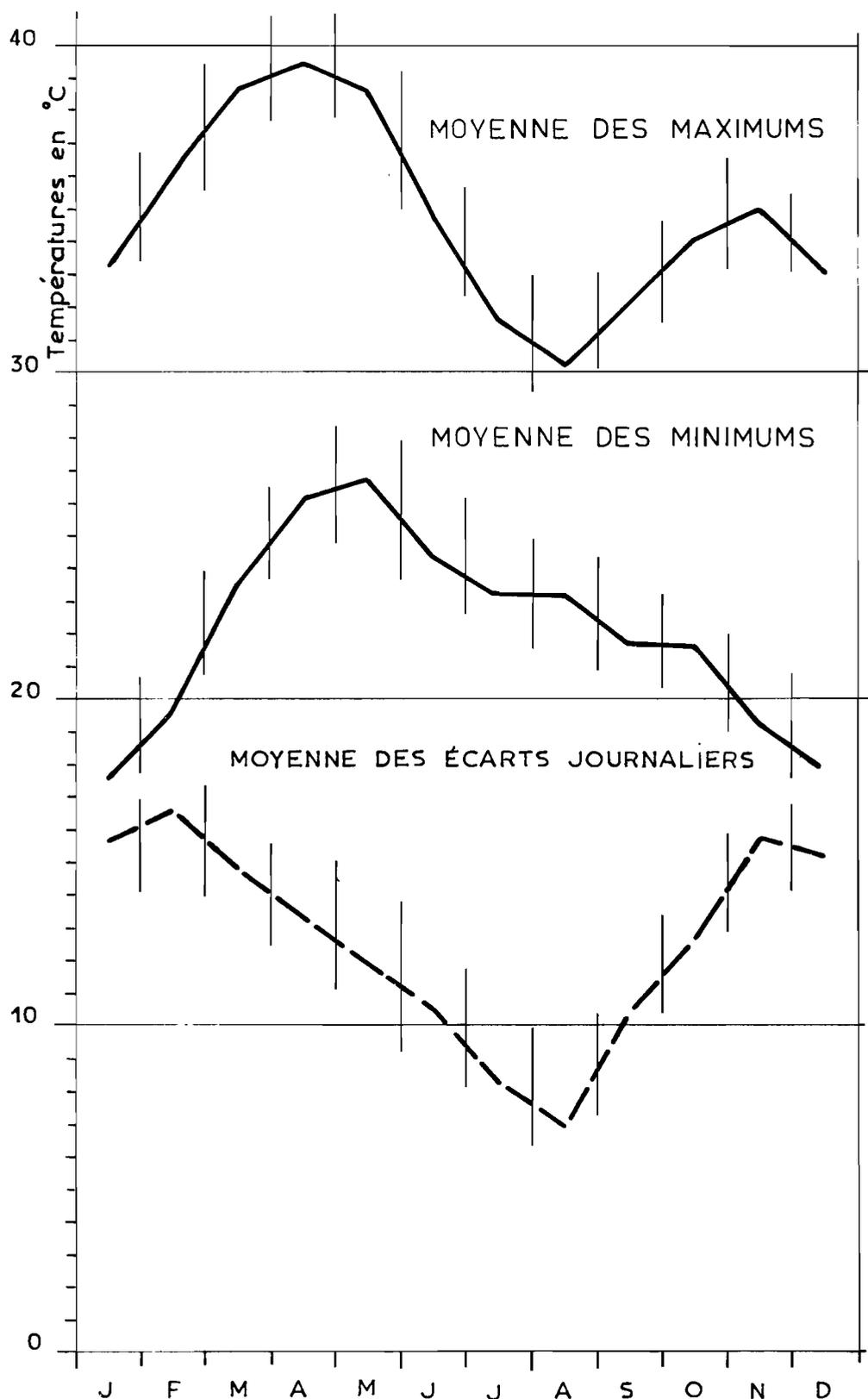
Les maximums et minimums absolus s'écartent nettement des valeurs données ci-dessus. La moyenne diurne de Mai 1933 a atteint 46° , la moyenne nocturne de Janvier 1927 : 9° . On trouve des valeurs journalières atteignant 50° ou descendant jusqu'à 5° .

Sur le graphique de KANKAN, on retrouve des variations analogues à celles de BAMAKO, mais dans l'ensemble, les températures sont inférieures de quelques degrés. Par contre, les écarts journaliers sont un peu plus élevés en saison sèche à KANKAN.

NIGER SUPERIEUR

Variations mensuelles des températures

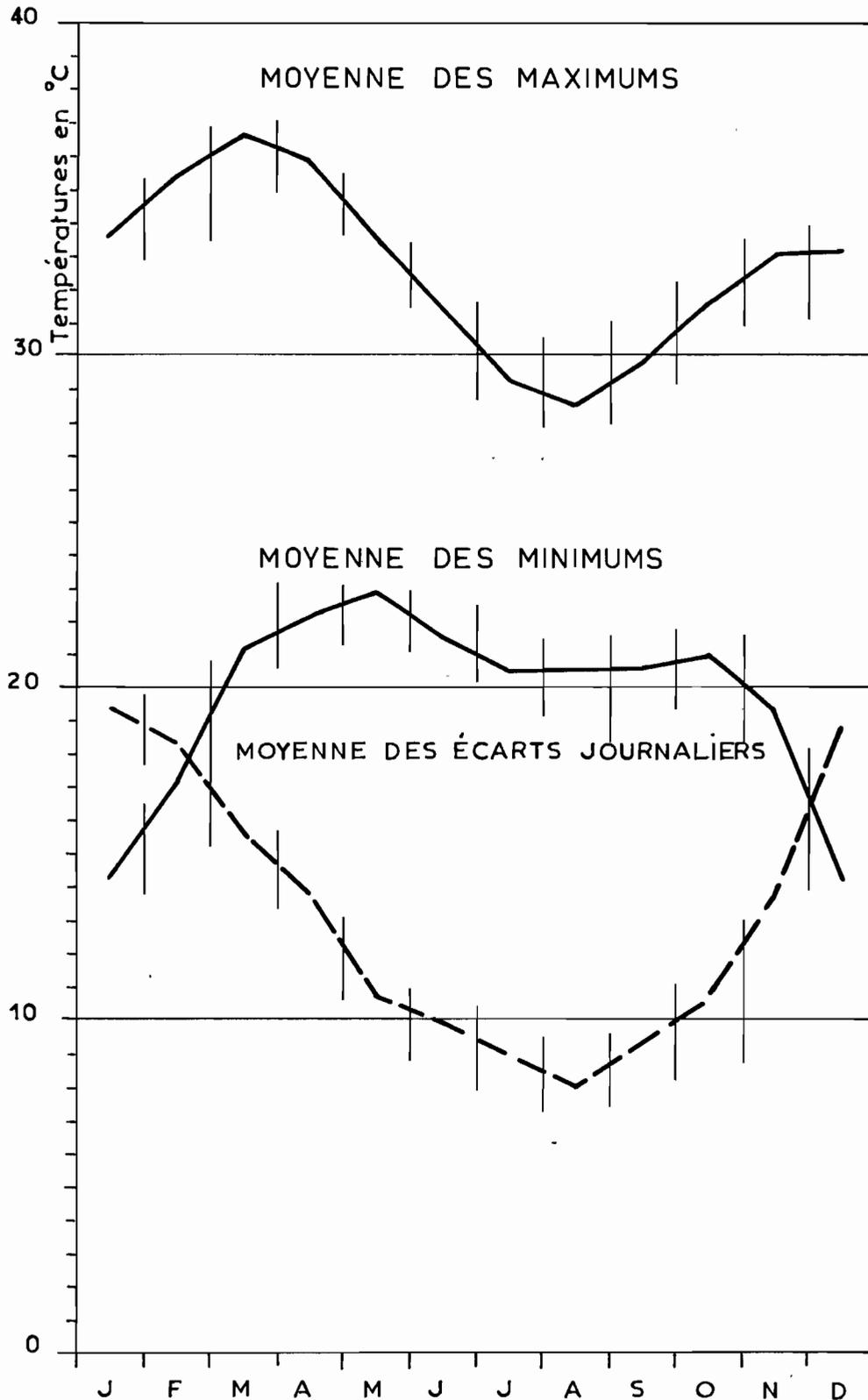
Station de BAMAKO-Moyennes sur la période 1926-49



NIGER SUPERIEUR

Variations mensuelles des températures

Station de KANKAN. Moyennes sur la période 1939-44



Dans l'extrême Sud du bassin, où la saison des pluies est plus prolongée, l'amplitude des variations saisonnières tend à s'atténuer sensiblement et n'est plus que de 6° à BEYLA pour les maximums diurnes. L'écart journalier reste toujours inférieur à 16°.

E - HYGROMETRIE - EVAPORATION

a) Humidité de l'air

Les moyennes annuelles croissent du Nord au Sud comme le montre le tableau suivant :

stations	Moyenne des maximums		Moyenne des minimums	
	\bar{U}_x (%)	\bar{e}_x (mb)	\bar{U}_n (%)	\bar{e}_n (mb)
BAMAKO	73	27,1	33	12,1
SIGUIRI	85	26,9	39	13,6
KANKAN	90	27,8	45	14,5
MACENTA	96	29,0	58	17,6

L'amplitude des variations saisonnières et journalières de l'humidité relative croît au contraire du Sud vers le Nord. Partout, les variations journalières sont maximales en Janvier-Février et minimales en Août-Septembre.

En saison des pluies, l'humidité relative est sensiblement la même sur l'ensemble du bassin. Le tableau ci-après précise ces indications qualitatives.

Stations	\bar{U}_x Février (%)	\bar{U}_n Février (%)	\bar{U}_x Août (%)	\bar{U}_n Août (%)
BAMAKO	43	10	96	62
SIGUIRI	63	17	99	63
KANKAN	78	23	97	66
MACENTA	95	44	96	74

b) Evaporation

L'évaporation a été mesurée sur bac COLORADO en différents points du bassin supérieur du NIGER :

- au KENIE, sur le NIGER à 30 km en aval de BAMAKO
- au DOUNFING, à proximité de BAMAKO
- à FOMI sur le NIANDAN
- à KANDALA sur le MILO
- à BOULA sur le Haut-MILO.

Les bacs COLORADO ont été installés dans des situations comparables, dans le lit majeur d'un grand cours d'eau, donc dans un microclimat relativement humide.

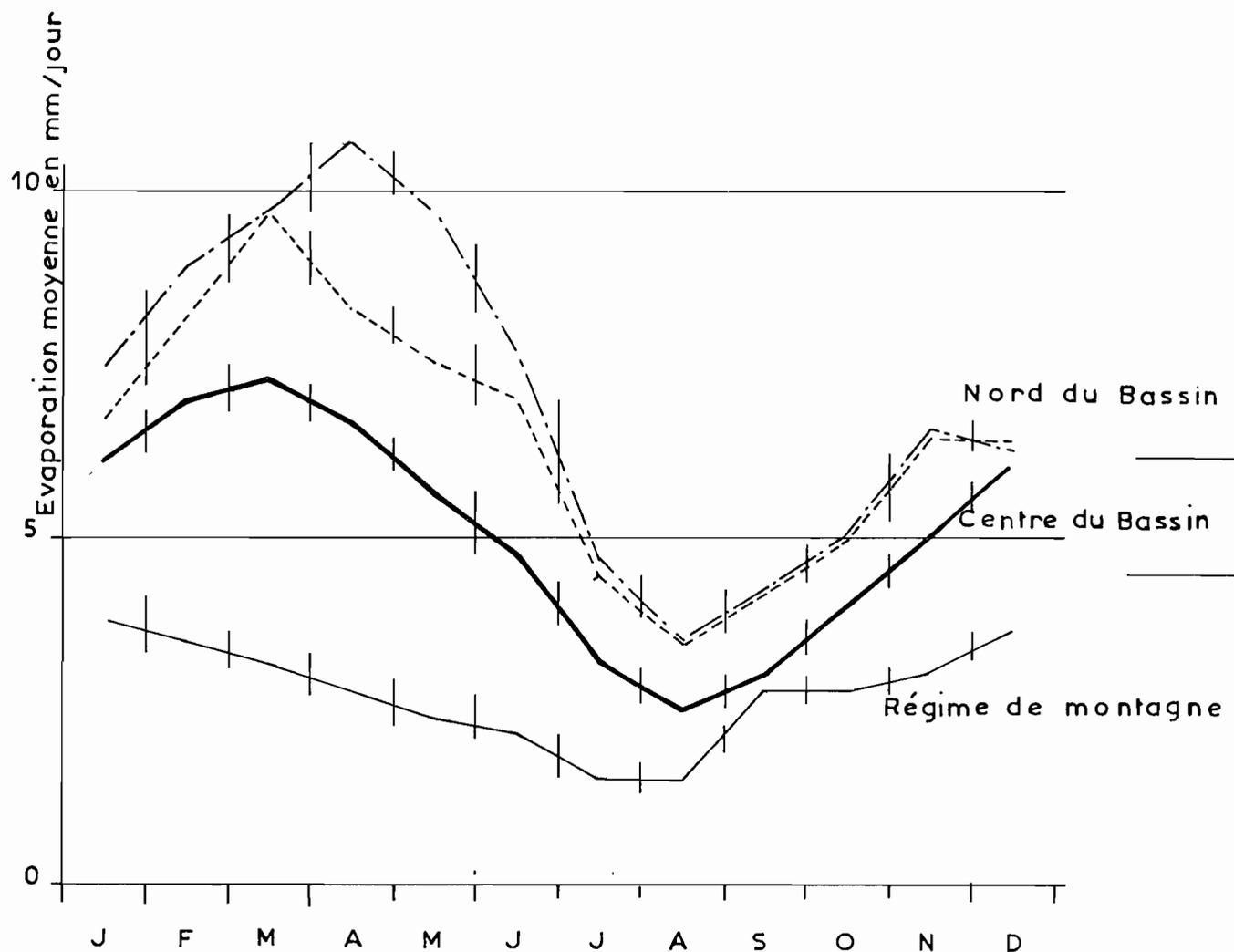
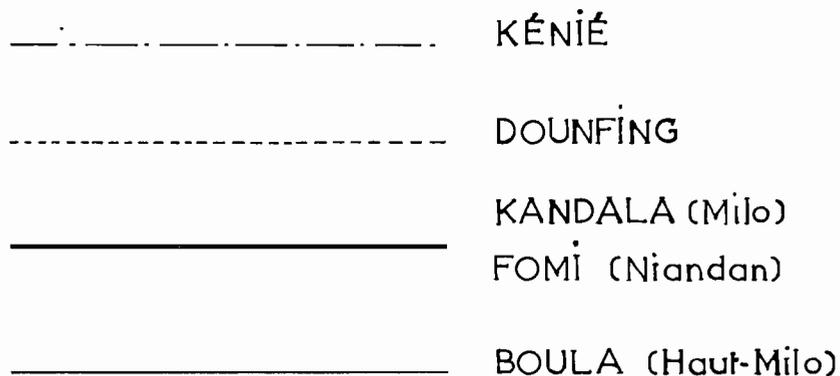
Les résultats obtenus sont donnés ci-dessous en millimètres/jour.

Mois	KENIE	DOUNFING	FOMI	KANDALA	BOULA	LOULOUNI	KOUMBAKA
Janvier	7,4	6,7		6,1	3,9		
Février	8,9	8,2		7,0	5,0		
Mars	9,7	9,7		7,3	5,3		
Avril	10,7	8,3		6,7	4,5		
Mai	9,7	(7,5)	5,6	5,1	4,7		
Juin	7,7	(7,0)	4,8	3,5	4,0	6,0	9,1
Juillet	4,7	(4,5)	3,2		3,0	5,4	5,8
Août	3,5	(3,5)				3,8	4,1
Septembre	4,2	4,2			3,4	4,0	4,2
Octobre	5,0	(5,0)			2,8	5,6	
Novembre	6,4	6,6			3,0	5,2	
Décembre	6,4	6,3			3,7		
Total annuel	2 550 mm/an	2 360 mm/an					
Période d'observ.	1954-55	1955-57	1952	1957-58	1957-58		

Gr. 7

NIGER SUPERIEUR

Variations mensuelles de l'évaporation sur bac colorado



L'évaporation annuelle croît du Sud au Nord. Vers les sources du MILO, elle est de 1 010 mm, soit environ de 850 mm sur grande retenue. Au centre du bassin, l'évaporation annuelle sur bac est voisine de 1 800mm, soit 1 500 à 1 600 mm sur grande retenue. Dans le Nord, vers BAMAKO, elle atteint 2 400 mm, soit 1 800 à 1 900 mm sur grande retenue.

Les variations saisonnières, pour ces différentes régions, sont représentées sur le graphique ci-joint. Le maximum de saison sèche est nettement marqué.

F - PRECIPITATIONS

1°) Hauteurs annuelles :

Les moyennes des hauteurs pluviométriques des 31 stations principales ont été calculées pour la même période, de 1923 inclus à 1957 inclus, en vue de la mise au point du réseau d'isohyètes.

Elles ont été classées ci-dessous suivant les différentes variantes de climat.

a) Climat guinéen (variante méridionale)

MACENTA	: 2 850 mm		KISSIDOUGOU	: 2 210 mm
---------	------------	--	-------------	------------

b) Climat guinéen (variante septentrionale)

KANKAN	: 1 710 mm		FARANAH	: 1 640 mm
ODIENNE	: 1 640 mm		TOUGUE	: 1 620 mm
KOUROUSSA	: 1 580 mm		BISSIKRIMA	: 1 510 mm
GOUALALA	: 1 480 mm		BOUNDIALI	: 1 400 mm
SIGUIRI	: 1 340 mm		BOUGOUNI	: 1 319 mm
SIKASSO	: 1 360 mm		BANFORA	: 1 212 mm

c) Climat malien (anciennement dit "soudanien")

BOBO-DIOULASSO	: 1 180 mm	NIENEBALE	: 950 mm
FALADIE	: 1 010 mm	KOUTIALA	: 1 000 mm
KATIBOUGOU	: 950 mm	BAMAKO	: 1 100 mm
BANAMBA	: 830 mm	NOUNA	: 830 mm
BAROUELI	: 800 mm	SAN	: 750 mm
SEGOU	: 740 mm	MARKALA	: 730 mm
DJENNE	: 690 mm	SOFARA	: 620 mm
KE-MACINA	: 600 mm	MOPTI	: 560 mm

La répartition sur les bassins du NIGER Supérieur et du BANI est représentée sur la carte IV ci-contre. La hauteur de précipitation moyenne annuelle sur le bassin arrêtee à KOULIKORO est de 1 600 mm. Sur le bassin du BANI elle est de 1 260 mm à DOUNA et de 1 160 mm à MOPTI.

Le haut bassin du NIGER bénéficie d'une large aire d'alimentation recevant plus de 1 700 mm. Cet avantage résulte d'une altitude élevée et de la relative proximité de la mer.

Le bassin du haut BANI est beaucoup moins favorisé et ne reçoit pas de précipitations supérieures à 1 650 mm.

2°) Variations saisonnières :

Les variations saisonnières des précipitations (en mm) sont faciles à suivre sur les tableaux ci-après où figurent les hauteurs moyennes mensuelles pour quelques stations particulièrement représentatives des diverses zones climatiques (période 1923-1956).

a) Stations guinéennes (variante méridionale)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KISSIDOUGOU	11	27	80	135	222	294	289	315	370	271	121	21
BEYLA	10	42	118	151	171	211	247	243	291	178	77	30

b) Stations guinéennes (variante septentrionale)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BOUNDIALI	5	16	43	78	122	174	248	310	230	136	37	9
KANKAN	3	13	23	77	133	218	299	378	349	163	32	4
DABOLA	2	5	17	59	144	227	268	374	304	185	28	7
BOUGOUNI	0	2	11	36	98	160	289	363	253	93	11	3

c) Stations maliennes

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BAMAKO	1	0	4	15	68	146	234	338	213	65	10	0
SAN	0	0	4	16	43	106	178	246	124	29	5	0
SEGOU	0	0	2	13	29	87	194	244	123	25	3	0

Les différences faibles entre les valeurs correspondantes de stations voisines, telles que SAN et SEGOU, sont un garant de l'exactitude de ces moyennes portant sur un peu plus de 30 ans.

a) Pour les stations de la première zone climatique il est difficile de bien apprécier le caractère de la saison sèche sur des valeurs moyennes. En fait, dans le cas général, les trois mois de Décembre, Janvier et Février ne présentent aucune précipitation ou de faibles averses totalisant 10 à 20 mm par mois, mais il est assez fréquent que l'un de ces trois mois, surtout Février, totalise 50 à 100 mm et même parfois plus. Les premières précipitations commencent presque toujours en Mars. La saison des pluies dure depuis Avril jusqu'à Novembre (inclus).

Aucune des valeurs mensuelles, même celles des mois d'Août et de Septembre, ne dépasse très sensiblement la valeur maximale des stations situées plus au Nord. Nous verrons qu'il en est de même pour les valeurs journalières.

b) Pour les stations de la seconde zone, la durée de la saison sèche passe insensiblement à 5 et même 6 mois. Les mois de Décembre, Janvier et Février ne présentent, en général, aucune précipitation à BOUNDIALI. A BOUGOUNI, le mois de Mars est dans le même cas. Au cours des deux mois encadrant cette période, les averses sont rares et de faible importance. Il n'est pas rare, cependant, qu'ils reçoivent 25 à 40 mm et même plus dans le Sud de cette zone.

En Janvier et Février, il arrive tous les 6 ou 7 ans qu'une averse de 10 à 30 mm vienne interrompre la période de sécheresse ; c'est "la pluie des mangues".

Les premières précipitations surviennent en Mars aux stations les plus méridionales, en Avril au Nord. La saison des pluies dure 6 mois, de Mai à Octobre ; trois mois : Juillet, Août, Septembre, reçoivent entre 230 et 350 mm, à peine moins que dans la zone précédente. La station de BOUGOUNI présente la transition entre les zones b et c et plus précisément entre KANKAN et BAMAKO (DABOLA, station du FOUTA DJALLON, présente des caractères un peu particuliers).

C'est le régime pluviométrique de cette seconde zone qui prédomine sur l'ensemble du bassin supérieur du NIGER.

c) Dans la dernière zone climatique, la saison sèche dure 6 à 7 mois. Elle est nettement plus rigoureuse que dans la zone guinéenne. En général, les précipitations sont nulles pendant 5 à 6 mois.

La pluie des mangues, beaucoup plus faible, est parfois sensible à BAMAKO, mais nettement plus rare à SAN.

La saison des pluies dure 4 mois : Juin, Juillet, Août, Septembre ; Juin étant nettement moins arrosé. Quelques précipitations faibles se produisent au début d'Octobre. Les limites de cette période sont beaucoup plus nettes que dans les cas précédents ; elles sont presque fixes d'une année à l'autre. Ce régime pluviométrique correspond à l'extrémité aval du bassin.

3°) Précipitations journalières :

Dans la zone malienne, toutes les averses sont de nature orageuse et sont couramment désignées sous le nom de "tornades".

Dans la zone guinéenne, seules les averses du début de la saison des pluies sont des tornades ; elles sont assez vite remplacées par des pluies de Mousson.

Les tornades, dont un diagramme-type est représenté sur le graphique 15, comportent une pointe de très forte intensité (30, 40, 50 et parfois plus de 100 mm/h) et de faible durée (20 minutes à 1/2 heure, quelquefois 1 heure) souvent suivie d'une traîne dont l'intensité est généralement inférieure à 10 mm/h.

En fait, les précipitations dites journalières sont le plus souvent constituées par une ou deux averses ne durant chacune que quelques heures.

Chaque tornade ne couvre qu'une superficie assez limitée.

Les "pluies de Mousson" durent au contraire plusieurs heures ; elles comportent parfois plusieurs pointes de 30 à 50 mm/h, un peu moins importantes que les pointes de tornades. Elles donnent lieu à des "pluies journalières" qui durent 8 à 10 h, parfois 15 h et même plus. Elles couvrent des étendues beaucoup plus vastes que les tornades.

La répartition des précipitations de diverses hauteurs peut être représentée par le tableau de fréquences suivant (moyennes sur une période de 10 ans, 1931 - 1940).

NOMBRE DE JOURS de PRECIPITATIONS par AN

Stations	entre 0,1 à 10 mm	entre 10 à 30 mm	entre 30 à 50 mm	50 mm
MACENTA	90	57	16	7
ODIENNE	70	29	10,5	3,5
KANKAN	64	34	9,5	5,5
BOUGOUNI	27	22	6	5
BAMAKO	32	19	8	3
SEGOU	37	17	3,5	1,5

Gr. 8

NIGER SUPERIEUR

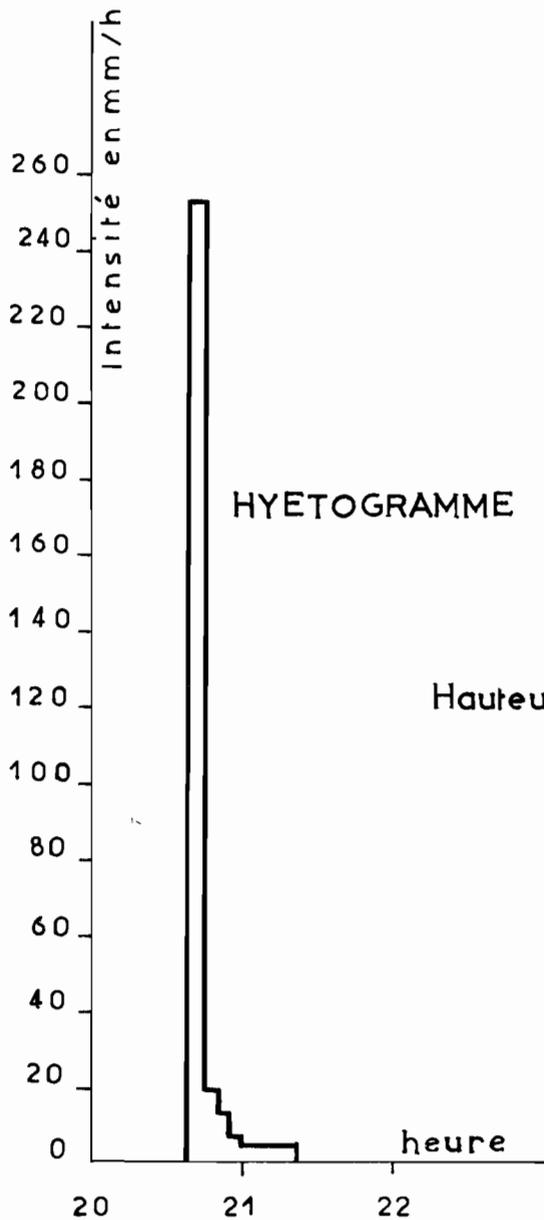
TYPES D'AVERSES

TORNADE TYPIQUE

HYETOGRAMME ENREGISTRÉ A KOUMBAKA (Près de Sofara)

LE 14 JUILLET 1957

Hauteur totale de la precipitation: 72,0 mm

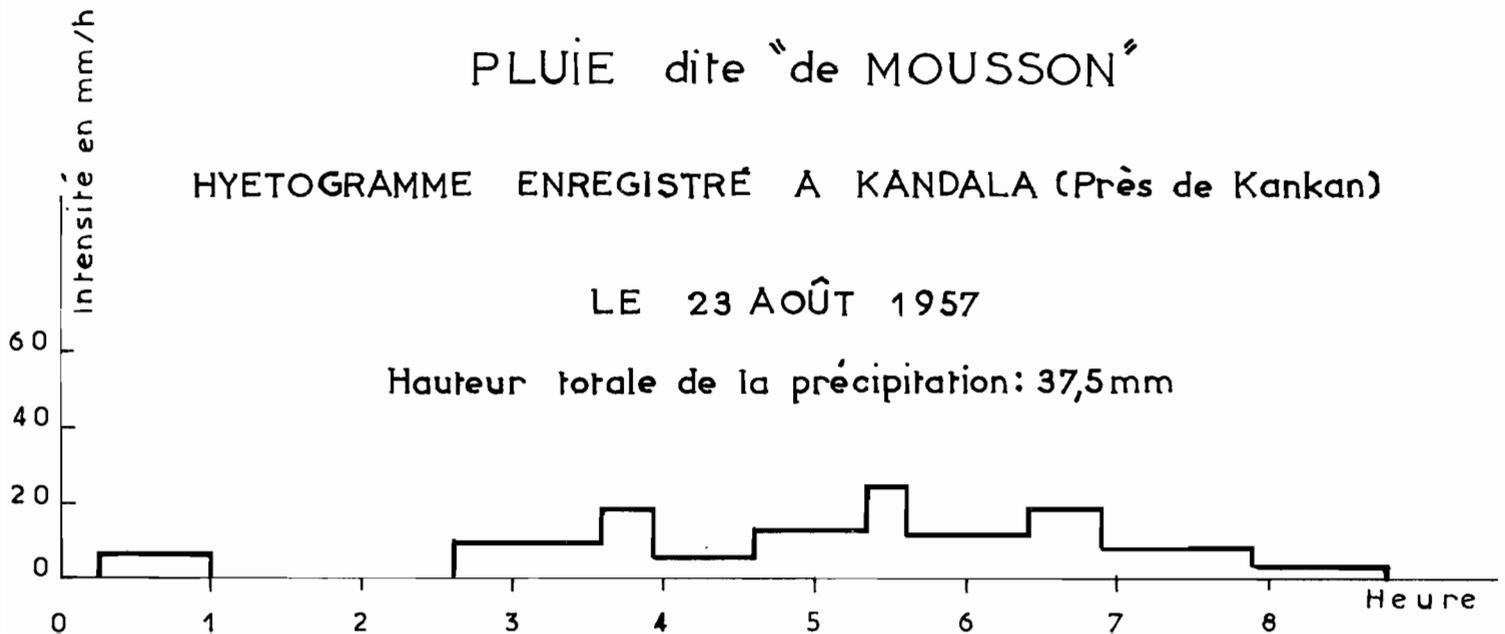


PLUIE dite "de MOUSSON"

HYETOGRAMME ENREGISTRÉ A KANDALA (Près de Kankan)

LE 23 AOÛT 1957

Hauteur totale de la précipitation: 37,5 mm



Le régime de MACENTA est très particulier. Les données de cette station figurent dans ce tableau uniquement parce qu'elles représentent une limite supérieure de fréquences de précipitations. Le nombre de précipitations de chaque classe croît du Nord au Sud. Les plus fréquentes sont évidemment les averses de 0,1 à 10 mm, mais le nombre des averses de 10 à 30 mm reste encore très honorable. Il est à peu près certain que pour toutes les stations c'est la classe 5 mm - 30 mm qui grouperait le plus grand nombre d'averses.

Tous les postes pluviométriques présentent un certain nombre de précipitations supérieures à 50 mm.

4°) Précipitations exceptionnelles :

Les précipitations "journalières" de fréquence décennale sont les plus faciles à atteindre. Sur une période de 30 ans et avec les 60 stations dont on dispose, il est possible d'aboutir à des chiffres relativement sûrs. Le maximum décennal croît du Nord au Sud de 110 mm à 180 mm.

Le centre du bassin reçoit des averses décennales de 150 mm environ. De façon générale, les valeurs observées à l'Est du bassin sont moins élevées qu'à l'Ouest, à latitude égale.

En fait comme il a été dit plus haut, les averses exceptionnelles, tout au moins dans la moitié Nord du bassin, ne durent pas 24 heures, mais 2 à 3 heures au maximum. Dans la moitié Sud, il s'agit de pluies de Mousson, beaucoup plus prolongées : à KANKAN, par exemple, l'averse décennale doit durer de 8 à 12 heures

Il est délicat d'estimer les hauteurs de pluies dont la période de retour est supérieure à 10 ans. On trouve, en effet, des relevés de pluies très fortes qui peuvent provenir soit de véritables averses exceptionnelles, soit d'erreurs d'observations difficiles à déceler, de sorte qu'indépendamment des erreurs d'échantillonnage, on risque d'aboutir à des valeurs inexactes par suite de données de base insuffisamment sûres.

Citons simplement l'averse du 27 Août 1954 à BAMAKO dont les caractéristiques ont été les suivantes :

- hauteur : 135 mm
- durée : 2 heures 1/2
- intensité maximale : 150 à 200 mm/h

La période de retour de cette averse dépasse 10 ans, mais elle n'est pas véritablement exceptionnelle. Des pluies de 200 à 250 mm ne paraissent pas impossibles.

Pour plus de détails sur cette question, on pourra se reporter à l'"Etude Générale des Averses Exceptionnelles en Afrique Occidentale" de Y. BRUNET-MORET. Cette étude ne concerne pas cependant la partie du bassin du NIGER située sur le territoire de la GUINEE.

5°) Irrégularité interannuelle :

On peut la caractériser par un rapport d'irrégularité K dont nous donnons la définition ci-après :

Si l'on classe les hauteurs de précipitations annuelles d'une station donnée par ordre croissant, K est le rapport entre les valeurs du dernier et du premier décile.

Sur la période d'observations 1923 - 1956, on trouve pour les stations principales, les valeurs suivantes :

KISSIDOUGOU	K = 1,47	BEYLA	K = 1,68
DABOLA	K = 1,55	BOUNDIALI	K = 1,67
KANKAN	K = 1,52	BOUGOUNI	K = 1,78
BAMAKO	K = 1,59	SAN	K = 1,73
		SEGOU	K = 1,84

Ces coefficients sont de valeur relativement faible, ce qui laisse présager que les débits varieront relativement peu d'une année à l'autre. L'irrégularité croît du Sud au Nord et, de façon moins nette, de l'Ouest à l'Est.

C H A P I T R E I I I

HYDROMETRIE

=====

A - EQUIPEMENT ET MESURES HYDROMETRIQUES

Le NIGER Supérieur est avec le SENEGAL le cours d'eau le mieux connu d'AFRIQUE Occidentale. Les premières observations remontent au début du siècle.

Les différentes stations hydrométriques installées sur le Haut-NIGER, le BANI et leurs affluents ont été portées dans le tableau I ci-après.

Outre les coordonnées géographiques et la superficie du bassin versant au droit des différentes stations, on a donné des indications succinctes sur l'installation des échelles limnimétriques, la continuité des observations et la valeur des étalonnages. On trouvera également les courbes d'étalonnage des stations principales (1).

Pour tout détail complémentaire sur les échelles anciennes installées par différents organismes (Chemin de Fer CONAKRY-NIGER, Compagnie Générale des Colonies, Office du NIGER, Electricité de France etc....), on se reportera à la monographie originale publiée de 1958 à 1962. On y trouvera également la liste complète des jaugeages effectués jusqu'en 1957. Pour obtenir les résultats de jaugeages et les relevés limnimétriques postérieurs à 1957 ou 1958, on pourra s'adresser à BAMAKO au Service de l'Hydraulique qui est responsable de l'exploitation du réseau hydrométrique du NIGER, même pour le haut bassin, situé sur le territoire de la République de GUINEE.

(1) Voir en annexe "Mise à jour des données de KOULIKORO".

TABLEAU I

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du NIGER SUPERIEUR
 =====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>NIGER</u>	1 - FARANAH	10° 02' N 10° 45' W 3 180 km ²	Echelle installée en Juin 55. Zéro échelle : 417,19 (IGN). Observations à peu près continues jusqu'à fin 1958.	Onze jaugeages entre 3 et 170 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant sauf en hautes eaux.
	2 - KOUROUSSA	10° 39' N 9° 53' W 18 000 km ²	Echelle actuelle installée en 1954. Altitude zéro : 355,49 m (IGN). Observations régulières jusqu'à fin 1958.	Vingt-deux jaugeages entre 13 et 1 600 m ³ /s Etalonnage satisfaisant sauf en très basses eaux.
	3 - NOURA-SOUBA	10° 55' N 9° 28' W -	Echelle installée en Mars 55. Altitude zéro : 347,94. Observations régulières jusqu'en 1960.	Néant
	4 - TIGUIBERI (près Siguiri)	11° 26' N 9° 10' W 70 000 km ²	Dernière échelle installée en 52. Observations régulières jusqu'en 1958.	Six jaugeages entre 50 et 3 930 m ³ /s. Etalonnage abandonné au profit de DIALAKORO.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du NIGER SUPERIEUR

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	5 - DIALAKORO	11° 27' N 8° 54' W 71 000 km ²	Echelle installée en 54. Observations régulières jusqu'en 1958.	Quatorze jaugeages entre 50 et 4 000 m ³ /s. Etalonnage acceptable.
	6 - KENIEROBA	12° 06' N 8° 19' W 113 000 km ²	Echelle installée en 1953. pour la prévision des crues. Observations assez régulières jusqu'à fin 59.	Néant
	7 - BAMAKO	12° 38' N 8° 00' W 117 000 km ²	Echelle installée en 1948 Altitude zéro : 316.36 (IGN) Observations régulières de 1948 à fin 1954.	Néant
	8 - SOTUBA	12° 38' N 7° 56' W	Echelle actuelle installée en 53. Altitude zéro : 308.27 (IGN) Observations irrégulières	Quatorze mesures de basses eaux. Station utilisée unique- ment pour les étiages (fond rocheux stable) Etalonnage satisfaisant en basses eaux.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du NIGER SUPERIEUR

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations Limnimétriques	Etalonnage
<u>NIGER</u> (Suite)	9 - TIENFALLA (Kenié)	12° 42' N 7° 45' W	Altitude zéro : 302,47 (IGN) Observations abandonnées.	Néant
	10- NIAMANA (Kenié)	12° 45' N 7° 44' W	Altitude zéro dernière échelle : 294,80. Observations abandonnées.	Néant
	11- <u>KOULIKORO</u>	12° 52' N 7° 33' W 120 000 km ²	Première échelle installée en 1907. Altitude zéro : 290,08 (IGN) Observations continues depuis 1908.	Etalonnage très satisfai- sant. Station principale du NIGER Supérieur.
<u>NIANDAN</u>	12- KISSIDOUYOU	9° 15' N 10° 01' W	Echelle actuelle instal- lée en 1957. Relevés réguliers jusqu'à fin 58.	Quatorze jaugeages entre 3 et 205 m ³ /s.
	13- MOLOKORO	10° 31' N 9° 43' W	Echelle installée en 1949. Observations abandonnées.	Cinq jaugeages utilisés pour étalonnage des basses eaux à BARO.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du NIGER SUPERIEUR

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>NIANDAN</u> (suite)	14- BARO	10° 37' N 9° 42' W 12 600 km ²	Dernière échelle posée en 1954. Altitude zéro : 416,28 (IGN) Observations régulières depuis 1947 jusqu'à fin 58.	47 jaugeages. Etalonnage satisfaisant
<u>MILO</u>	15- KONSANKORO	9° 00' N 9° 00' W 1 000 km ²	Echelle installée en Mars 55. Observations intermittentes. Altitude zéro : 510,06 (IGN)	29 jaugeages entre 4 et 70 m ³ /s.
	16- KANKAN	10° 23' N 9° 18' W 9 900 km ²	Dernière échelle installée en 49. zéro : 361,43 (IGN). Observations régulières depuis 1947 jusqu'à fin 1962.	30 jaugeages entre 11 et 825 m ³ /s.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du NIGER SUPERIEUR

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>SANKARANI</u>	17- MANDIANA	10° 37' N 8° 41' W 21 900 km ²	Echelle installée en Mai 54. Zéro : 353,89 (IGN) Observations régulières jusqu'à fin 58.	18 Jaugeages entre 35 et 930 m ³ /s.
	18- GOUALA	11° 58' N 8° 14' W 35 300 km ²	Echelle installée en Avril 53. Observations régulières de Janvier 55 à Décembre 60, intermittentes ensuite.	33 jaugeages entre 7 et 1950 m ³ /s (précision médiocre)
<u>TINKISSO</u>	19- TINKISSO	11° 14' N 10° 36' W 6 400 km ²	Echelle installée en Juin 55. Zéro : 369,04 (IGN) Observations régulières jusqu'à fin 1958.	10 jaugeages entre 2 et 275 m ³ /s
	20- OUARAN	11° 21' N 9° 24' W 16 400 km ²	Echelle installée en 1954. Observations sporadiques	18 jaugeages entre 6 et 1 170 m ³ /s. Station influencée par remous du NIGER.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du BANI

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>BAOULE</u>	1 - BEREDOUYOU	9° 30' N 7° 25' W 290 km ²	Echelle installée en Août 62. Observations régulières	17 jaugeages entre 0,4 et 26 m ³ /s. Etalonnage assez satisfaisant.
	2 - SAMATIGUELA	9° 50' N 7° 34' W 1 810 km ²	Echelle installée en Août 62. Observations régulières	20 jaugeages entre 0,4 et 115 m ³ /s
	3 - DJIRILA	10° 07' N 7° 37' W 3 970 km ²	Echelle installée en Octobre 62 Observations régulières	22 jaugeages entre 0,9 et 190 m ³ /s.
	4 - BOUGOUNI	11° 23' N 7° 29' W 15 700 km ²	Echelle installée en Mars 56.	27 jaugeages entre 1 et 500 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant.
	5 - DIOILA	12° 31' N 6° 50' W 32 500 km ²	Echelle installée en 1953. Observations régulières de Mai 53 à fin 58.	26 jaugeages entre 1 et 1 200 m ³ /s. Etalonnage variable en basses eaux (modification radier), assez satisfaisant en moyennes et hautes eaux.

RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du BANI

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>BAGOE</u>	6 - GUINGUERINI	9° 32' N 6° 36' W 1 042 km ²	Echelle actuelle installée en Décembre 1960. Observations assez régulières depuis 1955. Zéro : 356,10 (IGN).	38 jaugeages entre 0,01 et 140 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant.
	7 - TOMBOUGOU	9° 35' N 6° 30' W 2 580 km ²	Echelle actuelle installée en Février 1961. Observations assez régulières depuis 1955. Zéro : 349,03 (IGN).	35 jaugeages entre 0,1 et 380 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant sauf en très hautes eaux.
	8 - KOUTO	9° 54' N 6° 22' W 4 740 km ²	Echelle installée en Juin 1960.	50 jaugeages environ entre 0,3 et 320 m ³ /s Etalonnage satisfaisant sauf en très hautes eaux.
	9 - PANKOUROU	11° 27' N 6° 33' W 31 800 km ²	Echelle installée en 1956. Observations régulières de Juin 56 à fin 58.	26 jaugeages entre 3 et 1 300 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant

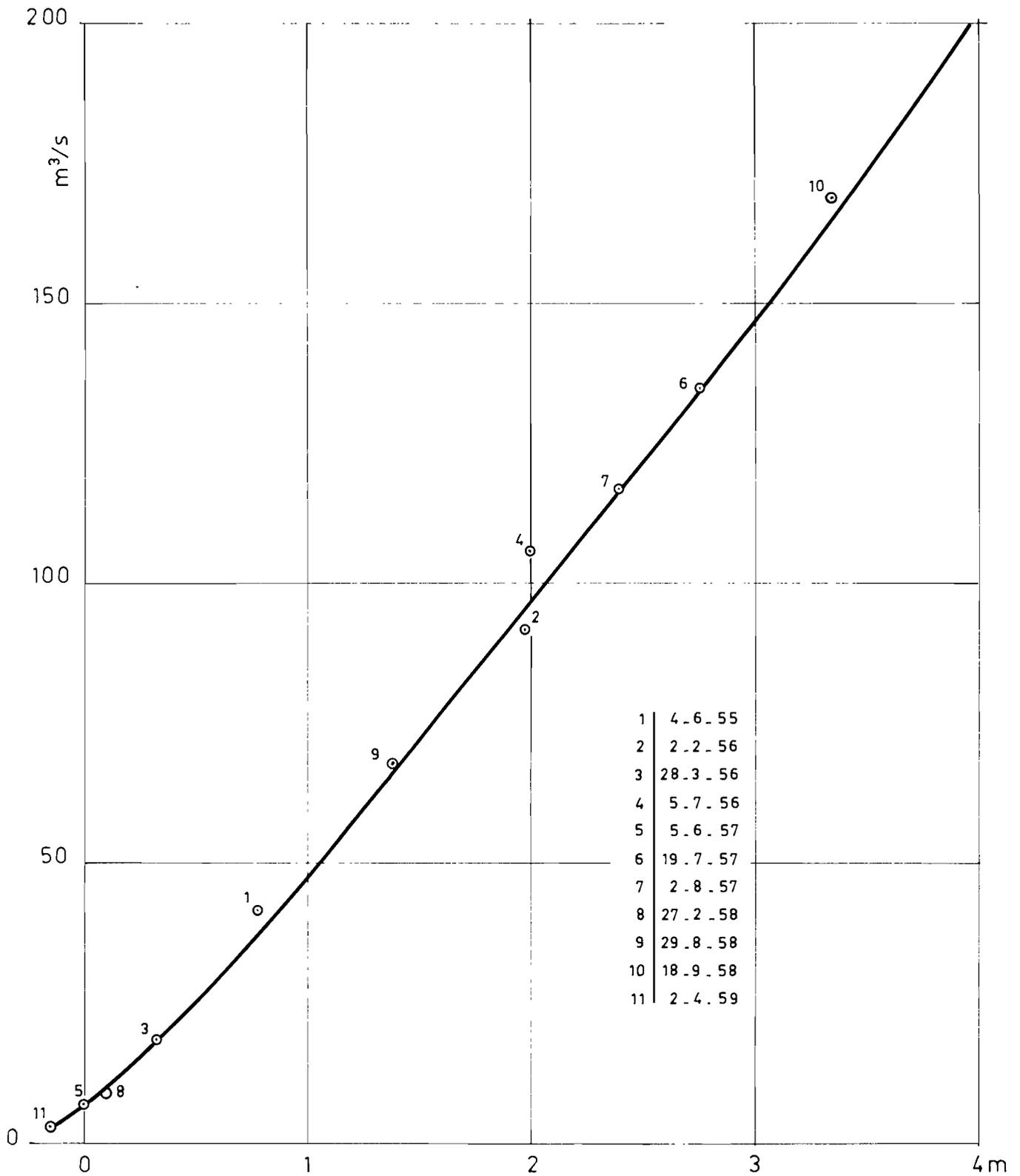
RESEAU HYDROMETRIQUE du BASSIN du BANI

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées Superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>BANIFING</u>	10- KOUORO	12° 01' N 5° 42' W 14 300 km ²	Echelle installée en 1957. Observations très intermittentes.	19 jaugeages entre 4 et 380 m ³ /s.
<u>BANI</u>	11- DOUNA	13° 11' N 5° 57' W 102 000 km ²	Echelle actuelle installée en Avril 1954. 14 années d'observations complètes (1923 à 28, 1931 et 1951 à 57). 10 années incomplètes (1922 1929-30, 1932, 1934-37, 1949-50).	26 jaugeages entre 16 et 3 300 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant. Station principale du BANI.
	12- BENENY-KEGNY	13° 22' N 4° 52' W 116 000 km ²	Echelle actuelle installée en Avril 1954. Observations régulières depuis Août 1951 jusqu'à fin 1959. Altitude zéro : 265,92 (IGN)	23 jaugeages entre 44 et 2 400 m ³ /s. Etalonnage non univoque. Précision assez médiocre.
	13- SOFAYA	14° 05' N 4° 05' W 129 000 km ²	Echelle actuelle installée en Juin 1952. Altitude zéro : 262,76. Observations régulières depuis Juillet 1952 jusqu'à Décembre 1958.	18 jaugeages entre 20 et 1 400 m ³ /s Etalonnage non univoque.

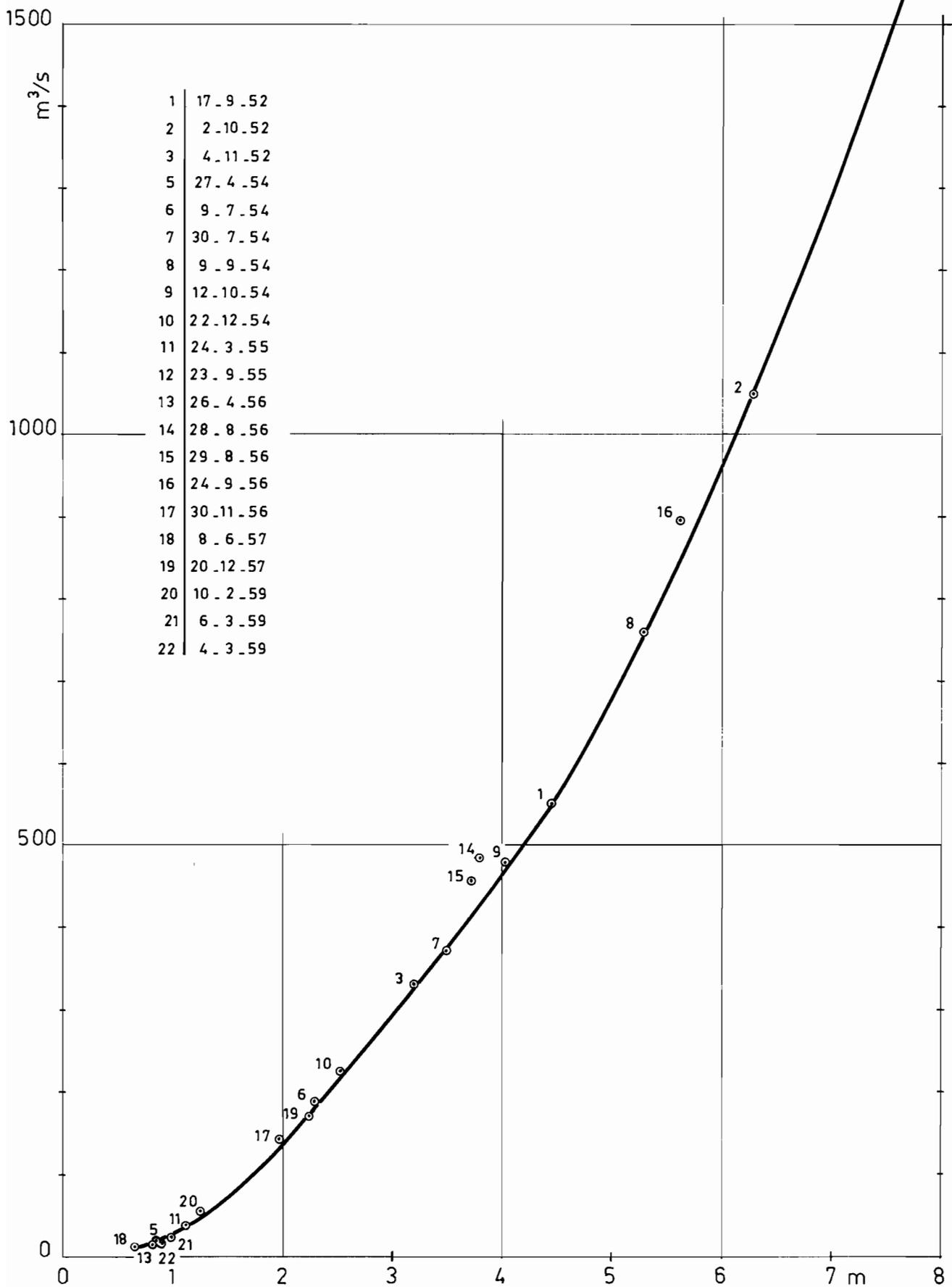
Le NIGER à FARANAH

Courbe d'étalonnage



Le NIGER à KOUROUSSA

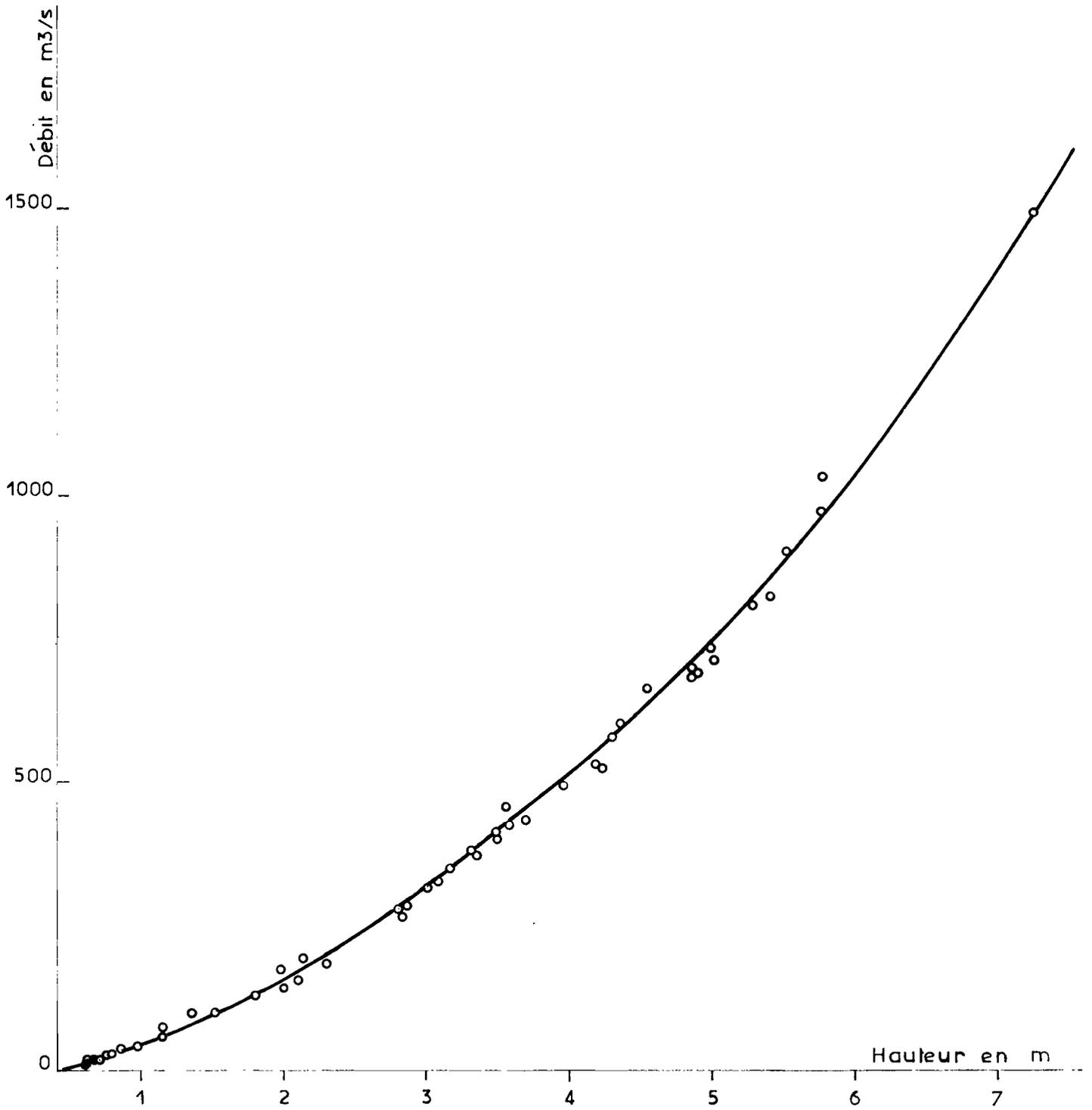
Courbe d'étalonnage



Gr-9

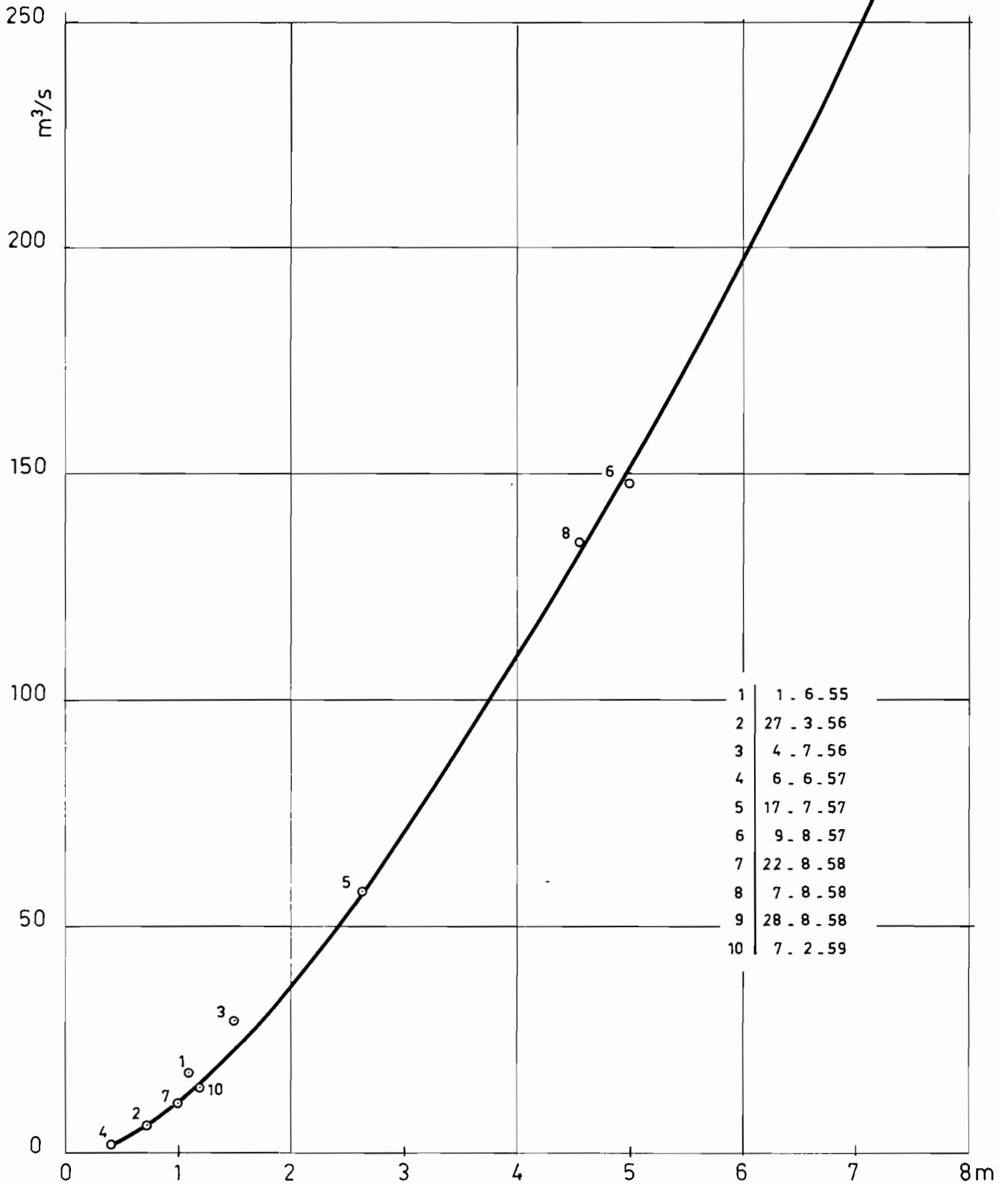
Le NIANDAN à BARO

Courbe d'étalonnage



Le TINKISSO à TINKISSO

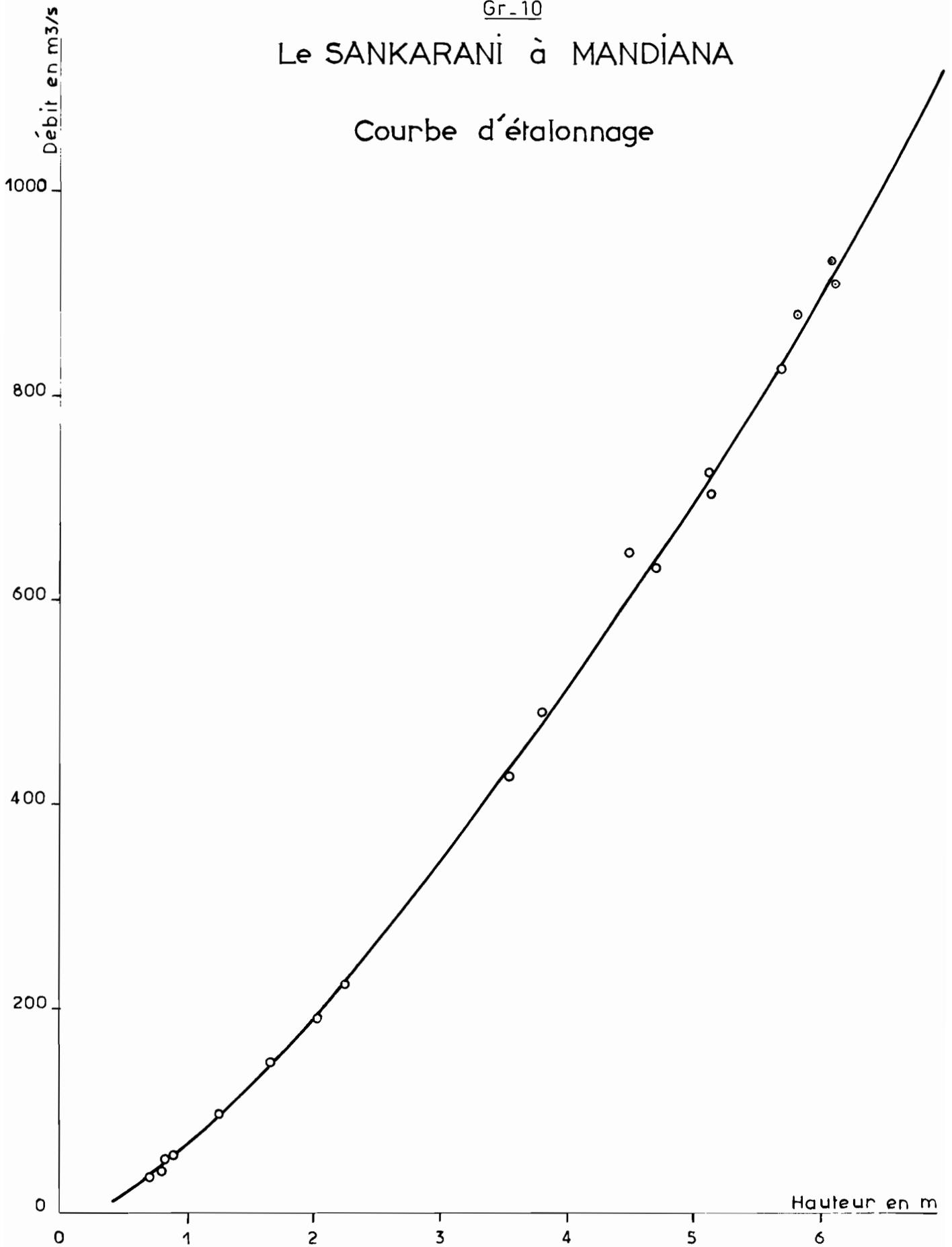
Courbe d'étalonnage



Gr-10

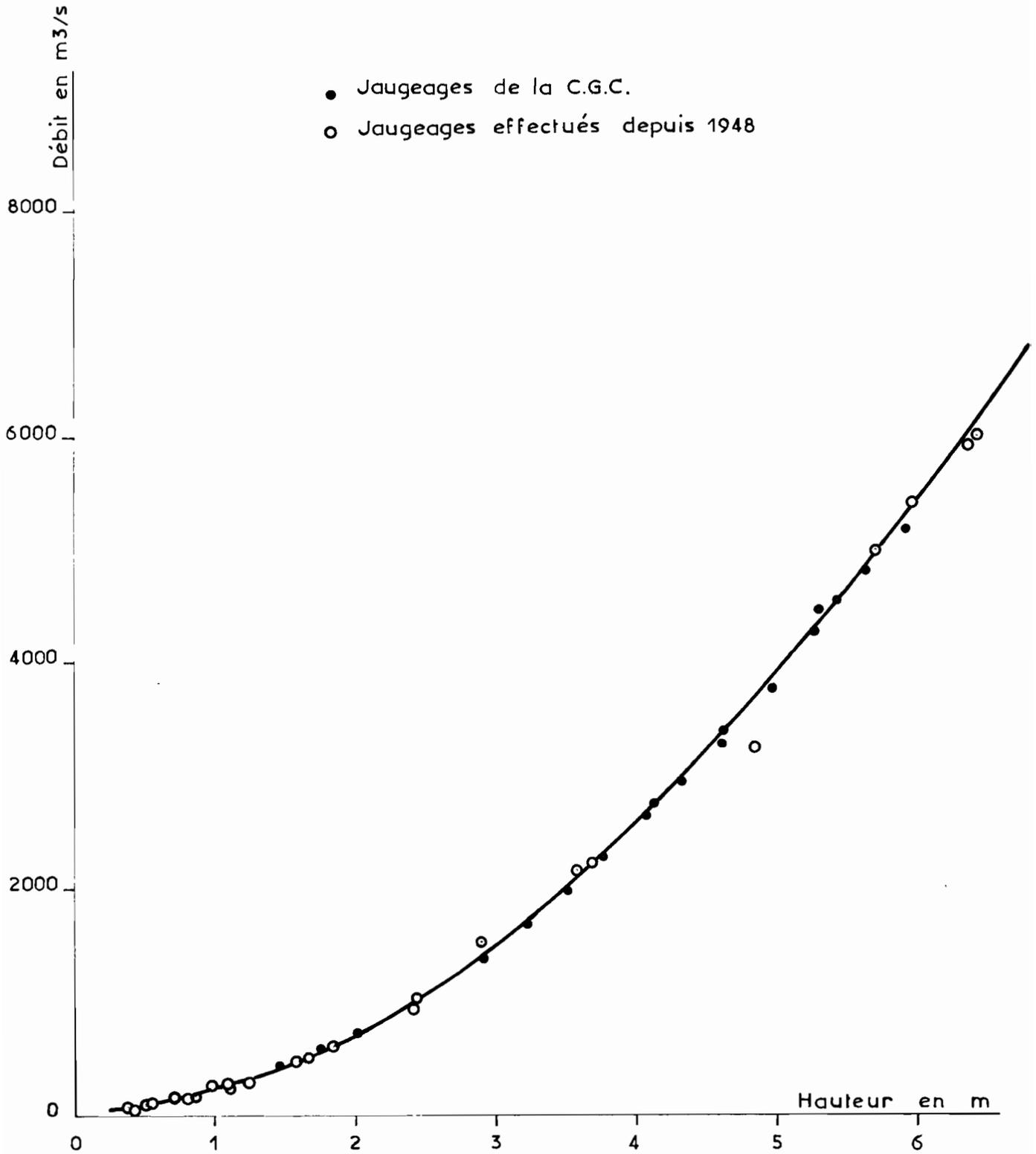
Le SANKARANI à MANDIANA

Courbe d'étalonnage

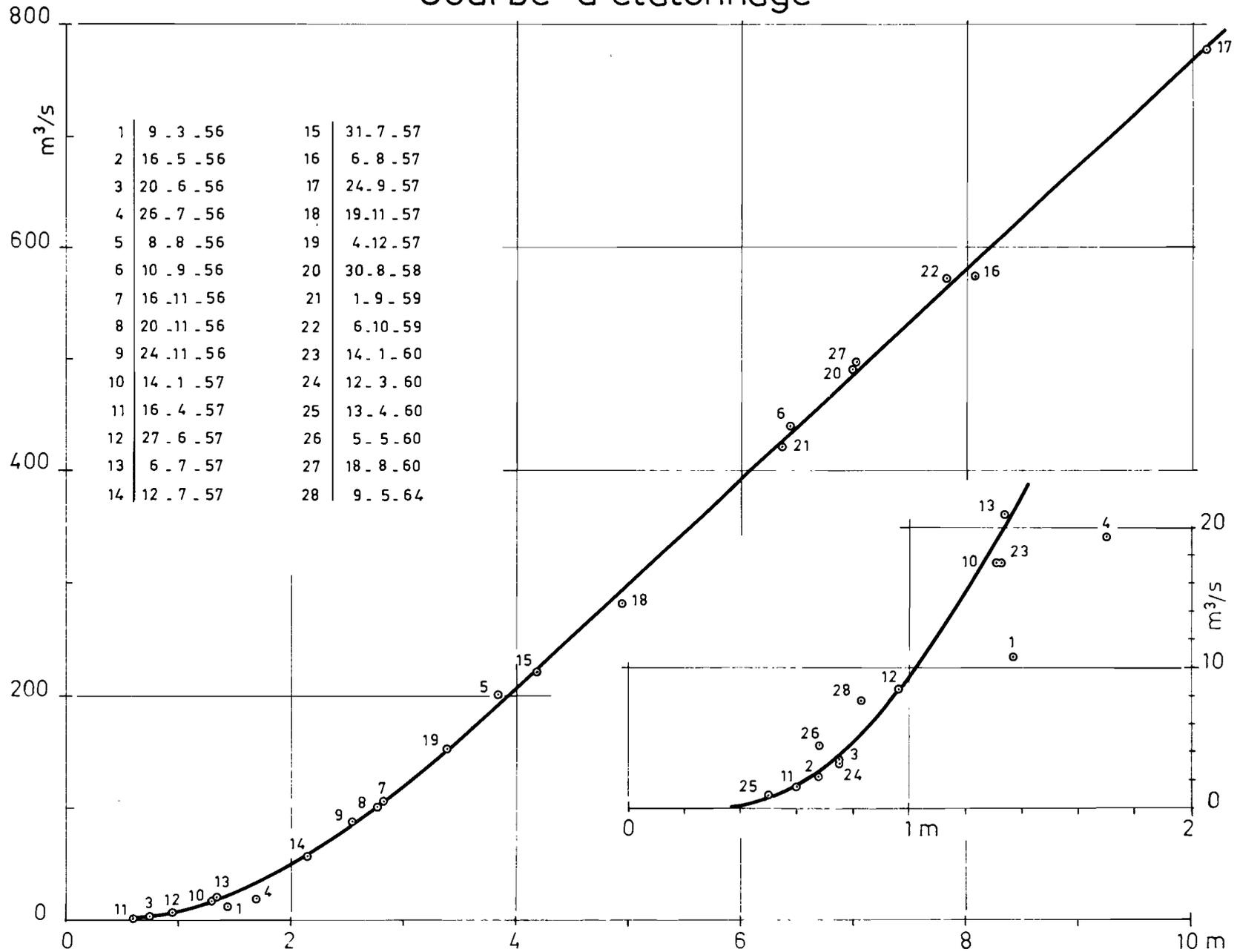


Le NIGER à KOULIKORO

Courbe d'étalonnage



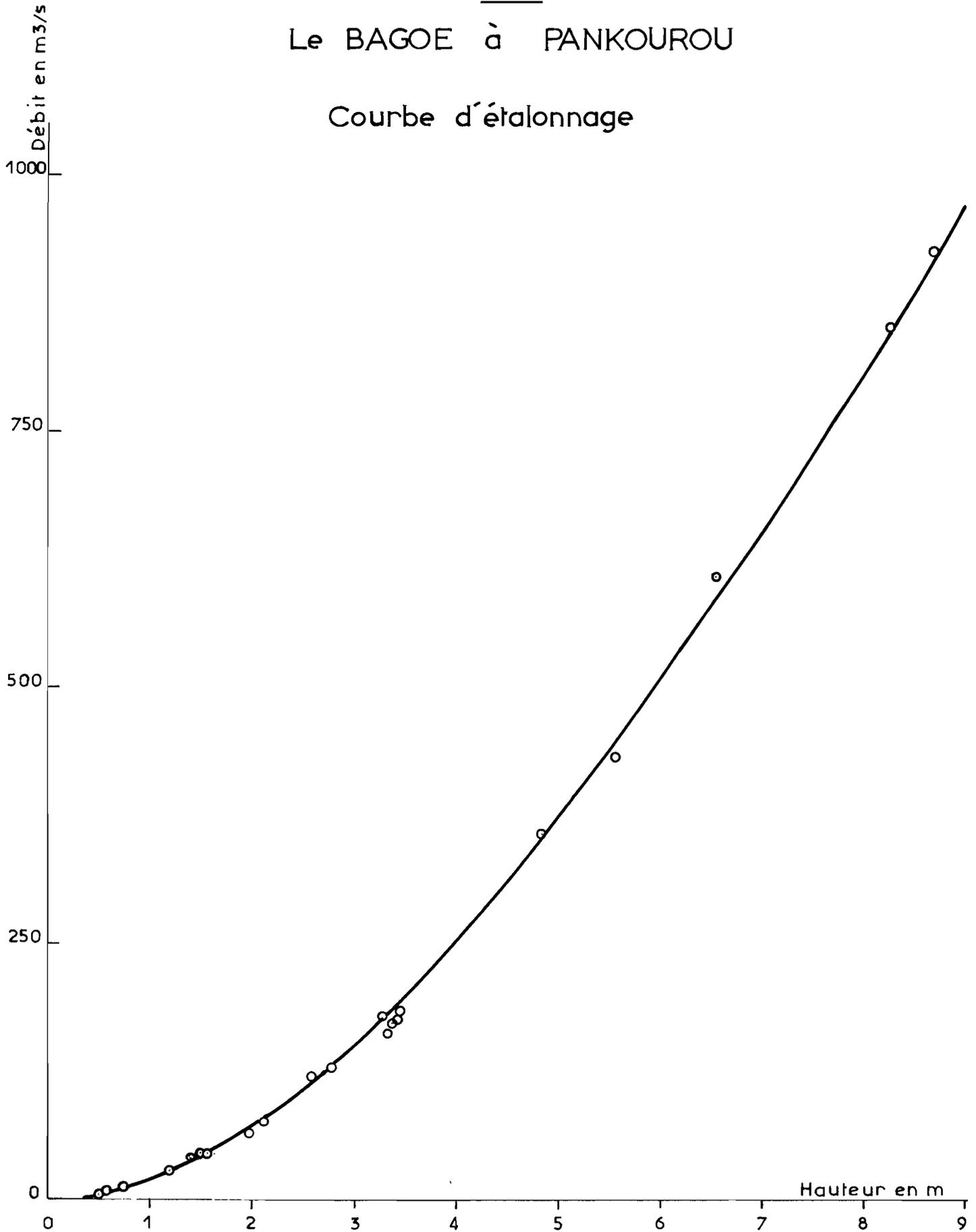
Le BAULÉ à BOUGOUNI

 Courbe d'étalonnage


Gr-12

Le BAGOE à PANKOUROU

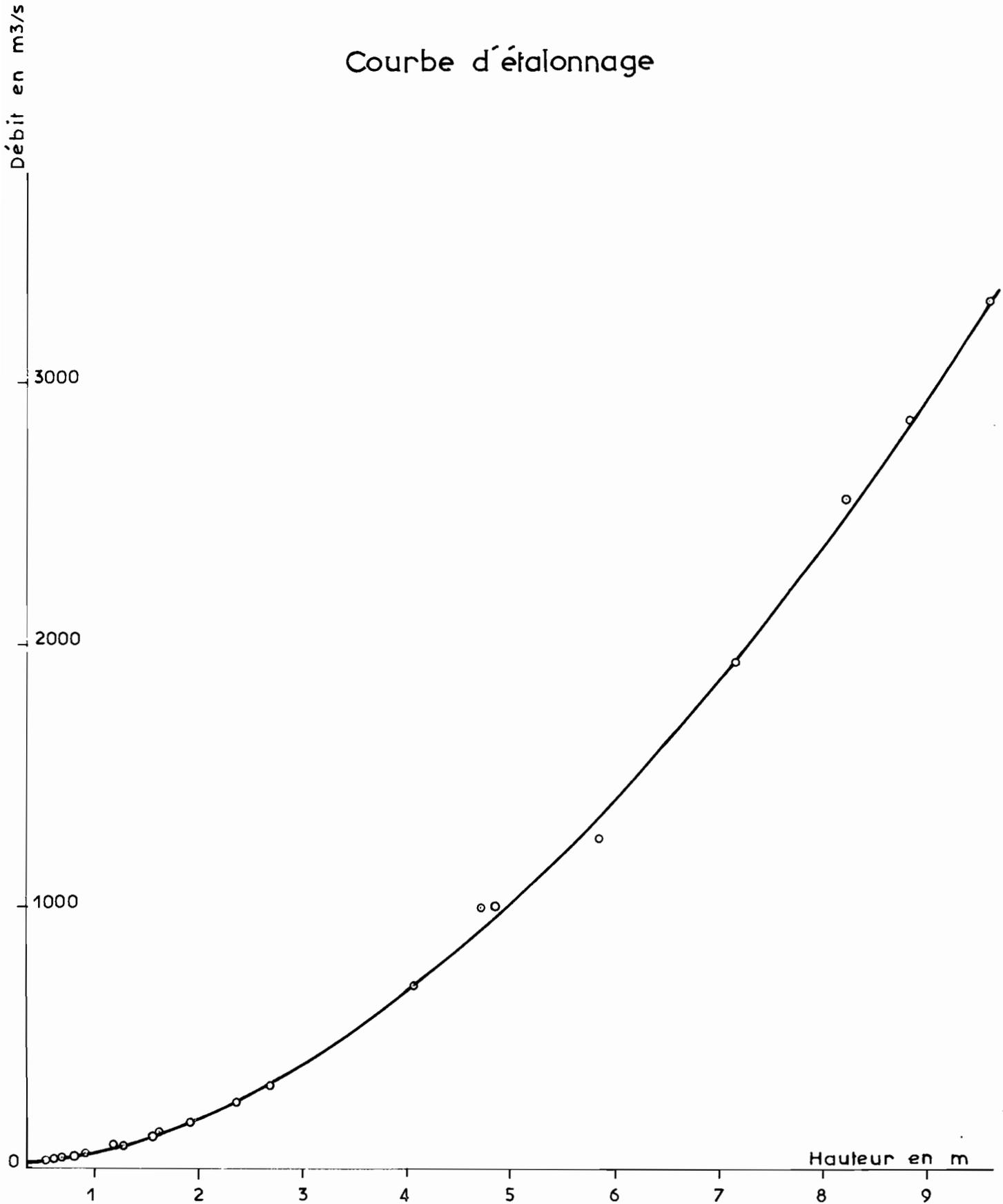
Courbe d'étalonnage



Gr.13

Le BANI à DOUNA

Courbe d'étalonnage



B - GENERALITES sur les DEBITS OBSERVES -

L'étalonnage du réseau hydrométrique a permis de traduire en débits journaliers l'ensemble des relevés de hauteurs d'eau qui ont été recueillis à la plupart des stations depuis leur création.

Ces débits journaliers constituent une documentation volumineuse qu'il n'a pas été possible de reproduire intégralement ici, mais que l'on trouvera dans le tome III - partie A - de la première monographie.

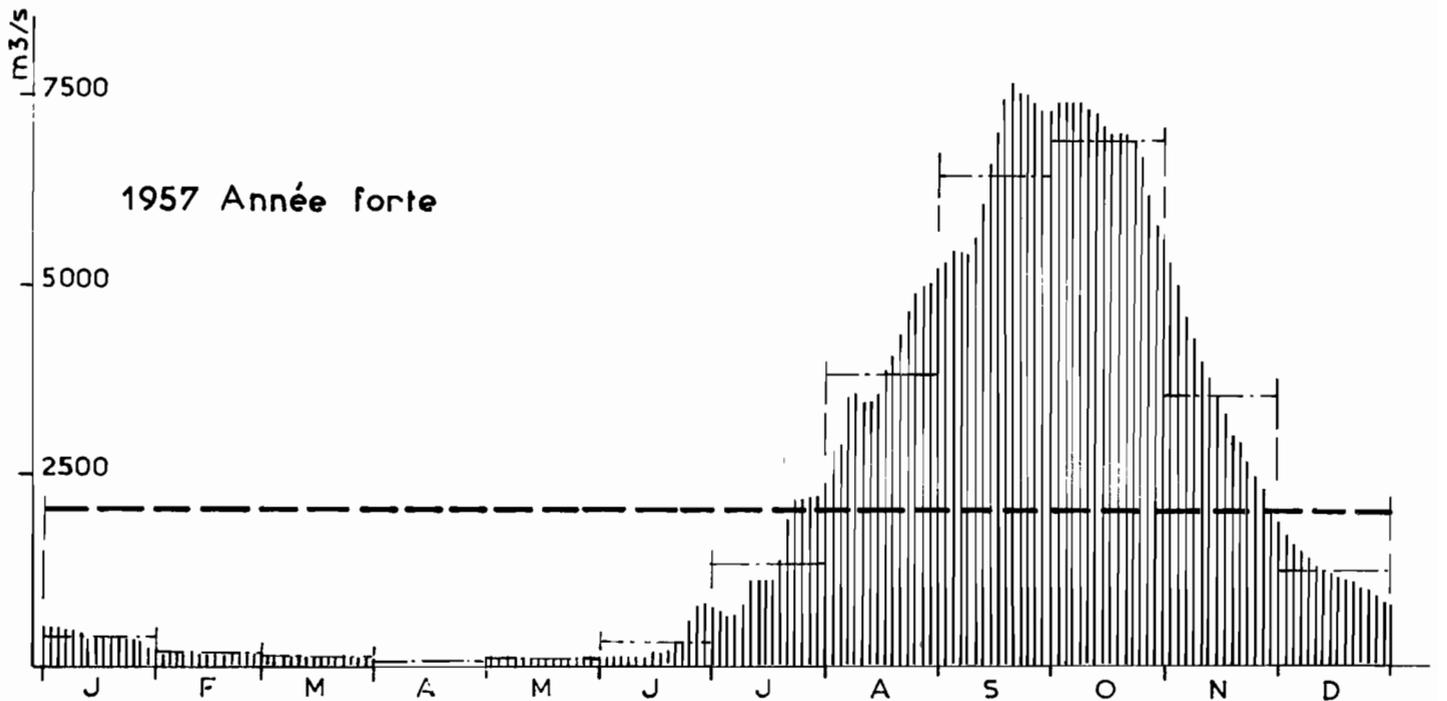
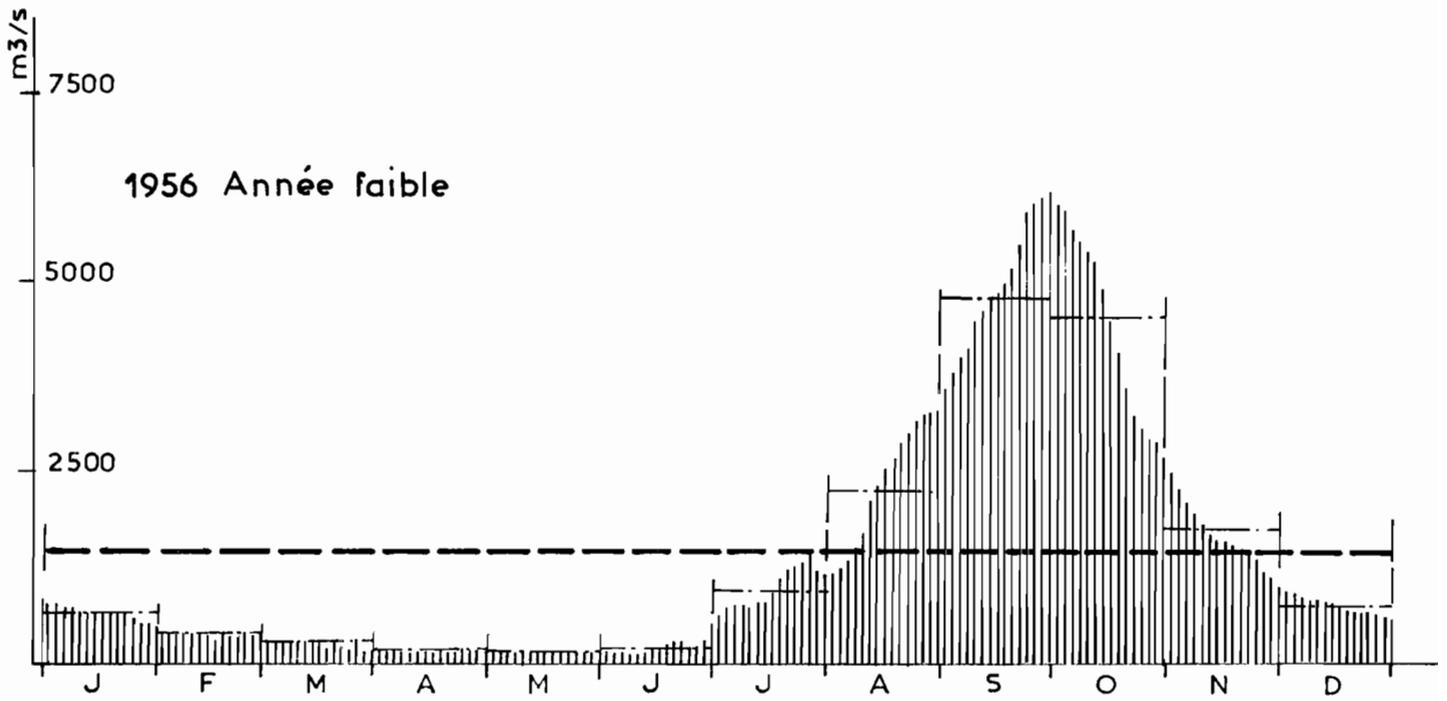
On trouvera ci-joint, à titre d'exemple, quelques graphiques illustrant les variations saisonnières des débits de cinq stations au cours des années 1956 et 1957, qui ont été l'une inférieure et l'autre supérieure à la normale. On trouvera également en annexe une série de tableaux donnant pour dix-neuf stations les débits les plus représentatifs de leur régime (débits mensuels et annuels, débits d'étiage absolu, débits de crue et débits caractéristiques DCC, DC3, DC6, DC9 et DCE).

Les variations saisonnières du débit sur tout le bassin du NIGER Supérieur et sur celui du BANI correspondent au régime "tropical de transition". Celui-ci se caractérise par une saison de hautes eaux bien individualisée, qui dure au moins quatre mois (de la mi-Juillet à la mi-Novembre environ) et qui est suivie d'une saison de basses eaux longue et sévère (minimum en Avril généralement). L'étiage est toutefois moins rigoureux et moins prolongé que dans le régime tropical pur, qui apparaît lorsque la pluviosité annuelle descend au-dessous de 1 250 mm.

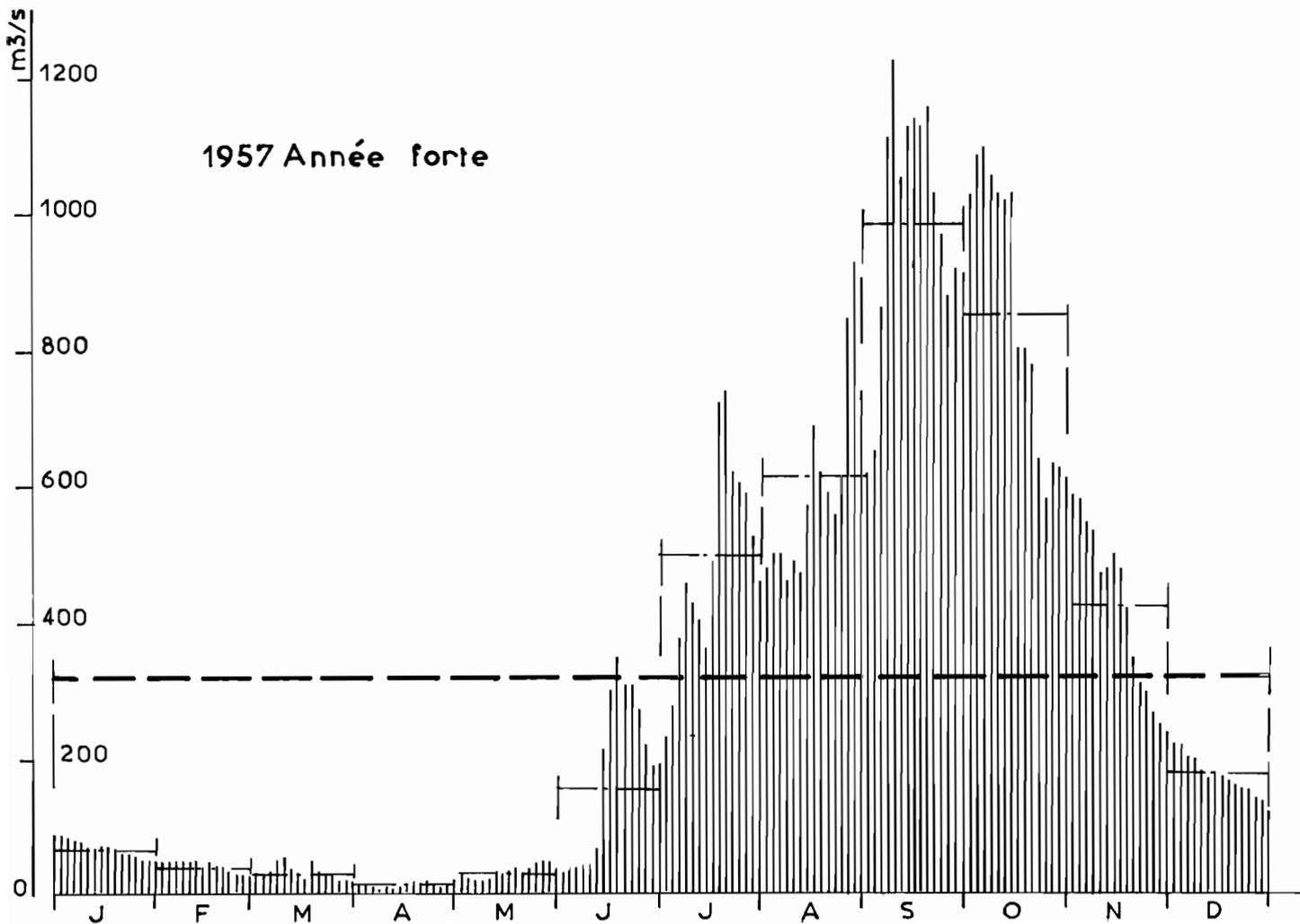
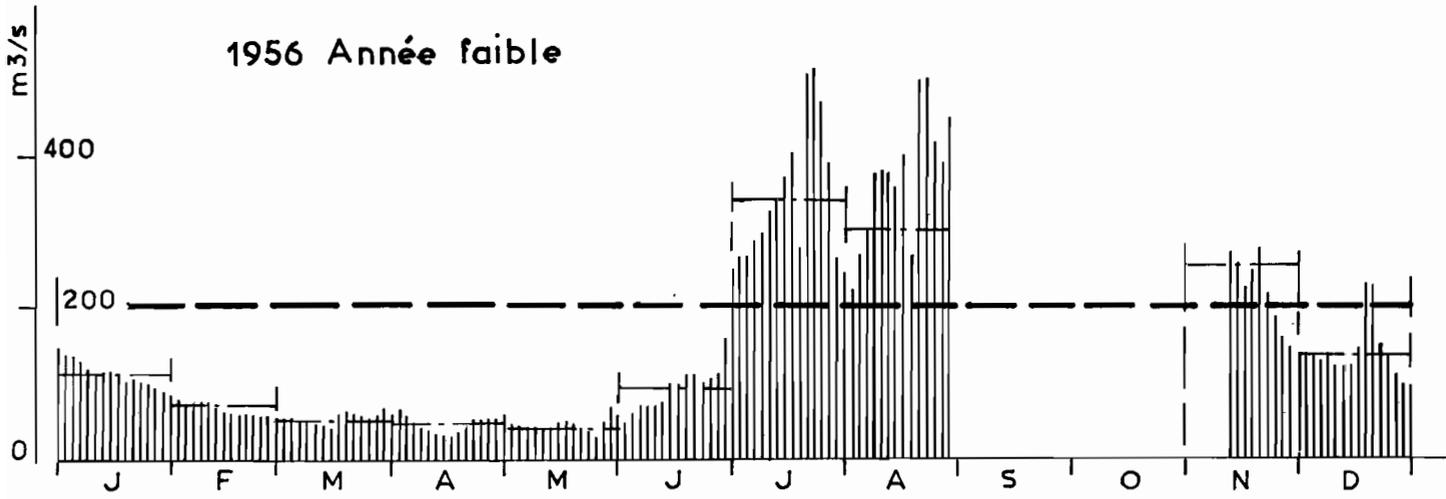
C'est ainsi, qu'en fait, la partie septentrionale des bassins du NIGER Supérieur et du BANI empiète sur le domaine du régime tropical pur dont la limite peut être figurée schématiquement par la ligne SIGUIRI - SIKASSO. On note, en effet, qu'au Nord de cette ligne les débits d'étiage des petits affluents tombent à des valeurs très faibles, sinon nulles. Cette influence est à peine perceptible sur le NIGER lui-même mais elle est plus sensible sur le BANI, dont l'une des branches principales, le BANIFING, coule entièrement dans le domaine du régime tropical pur. On note ainsi des débits spécifiques d'étiage plus faibles à DOUNA qu'à KOULIKORO, mais la durée des hautes eaux sur le BANI Inférieur n'en est pas raccourcie pour autant, à cause de l'effet amortisseur des débordements.

Gr.14

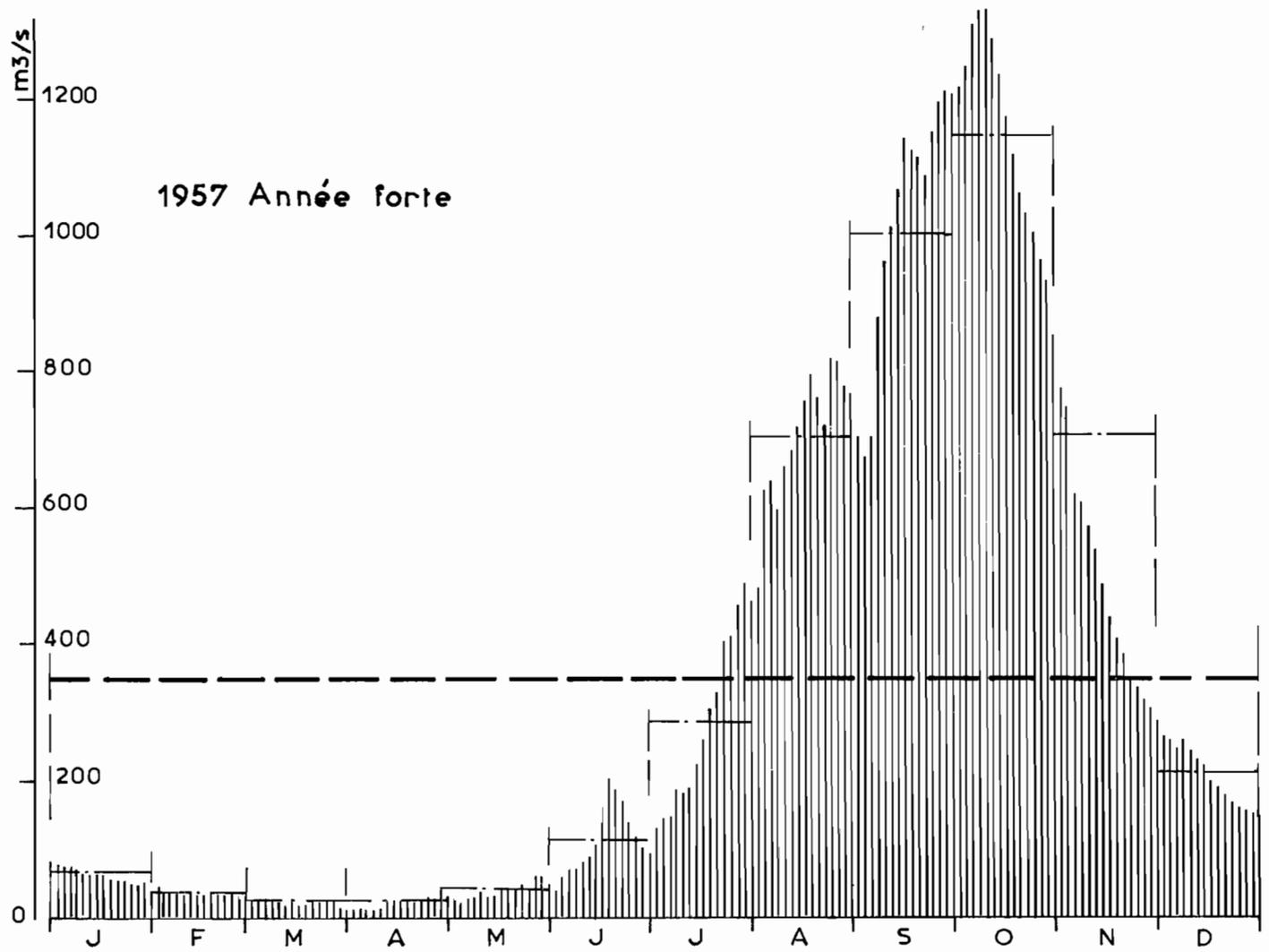
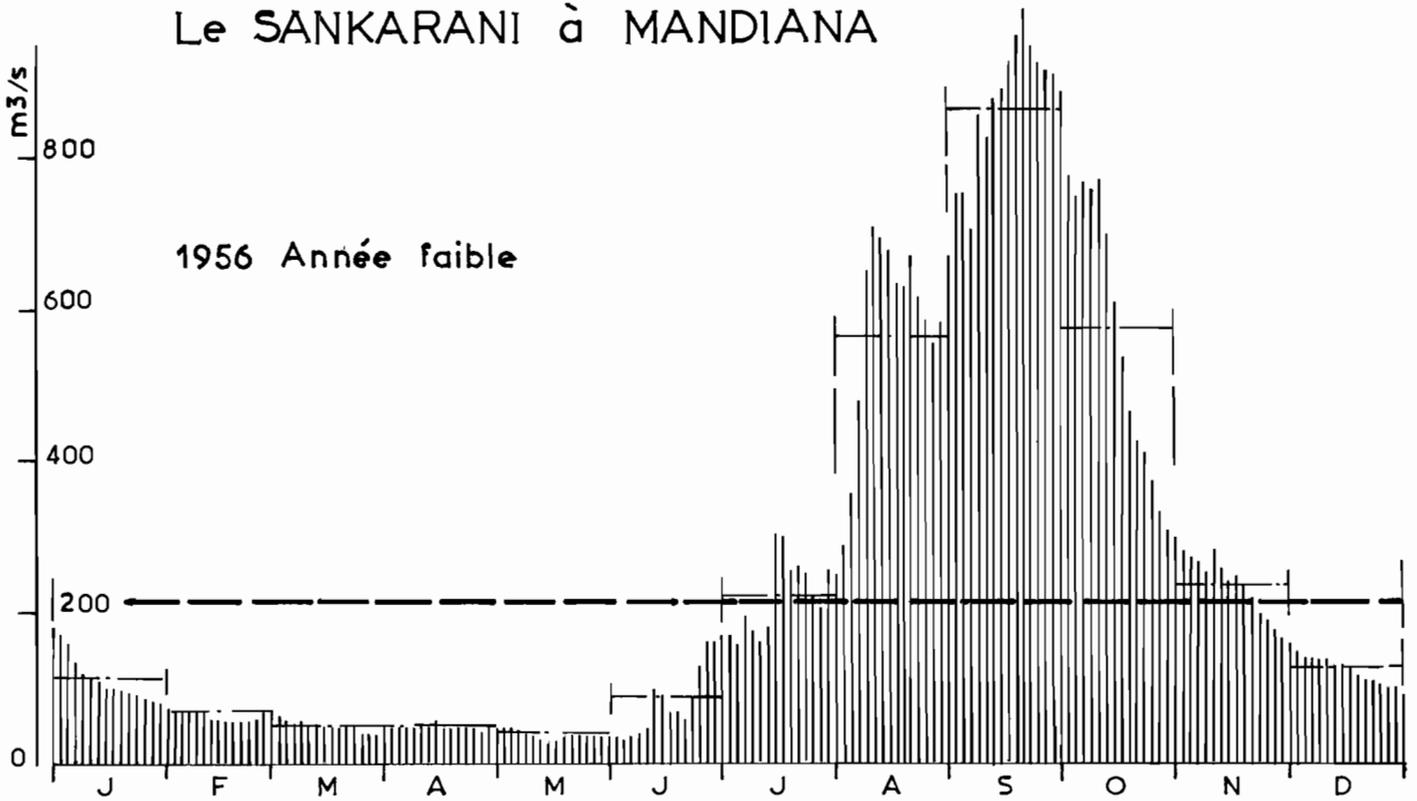
Le NIGER à KOULIKORO



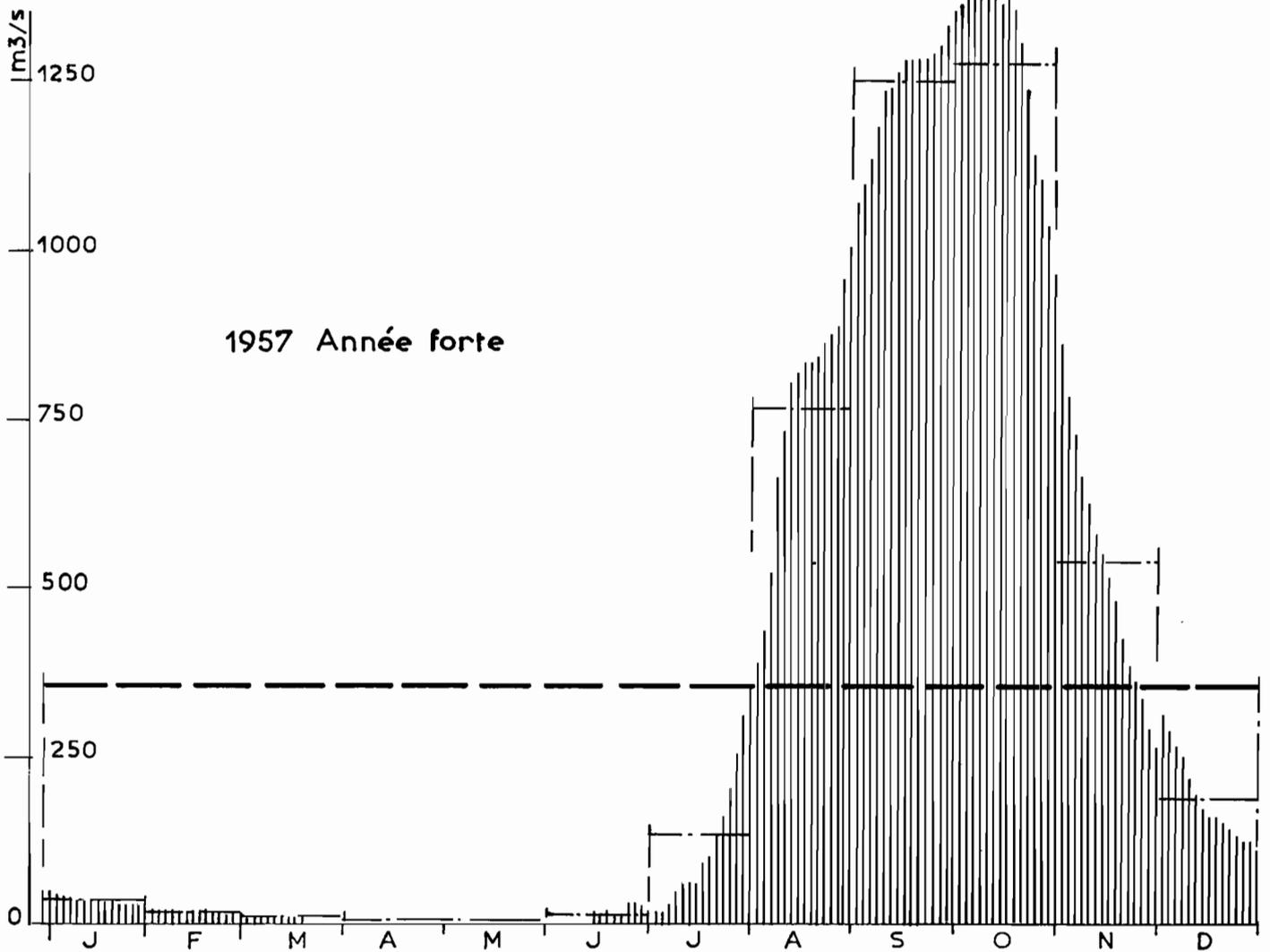
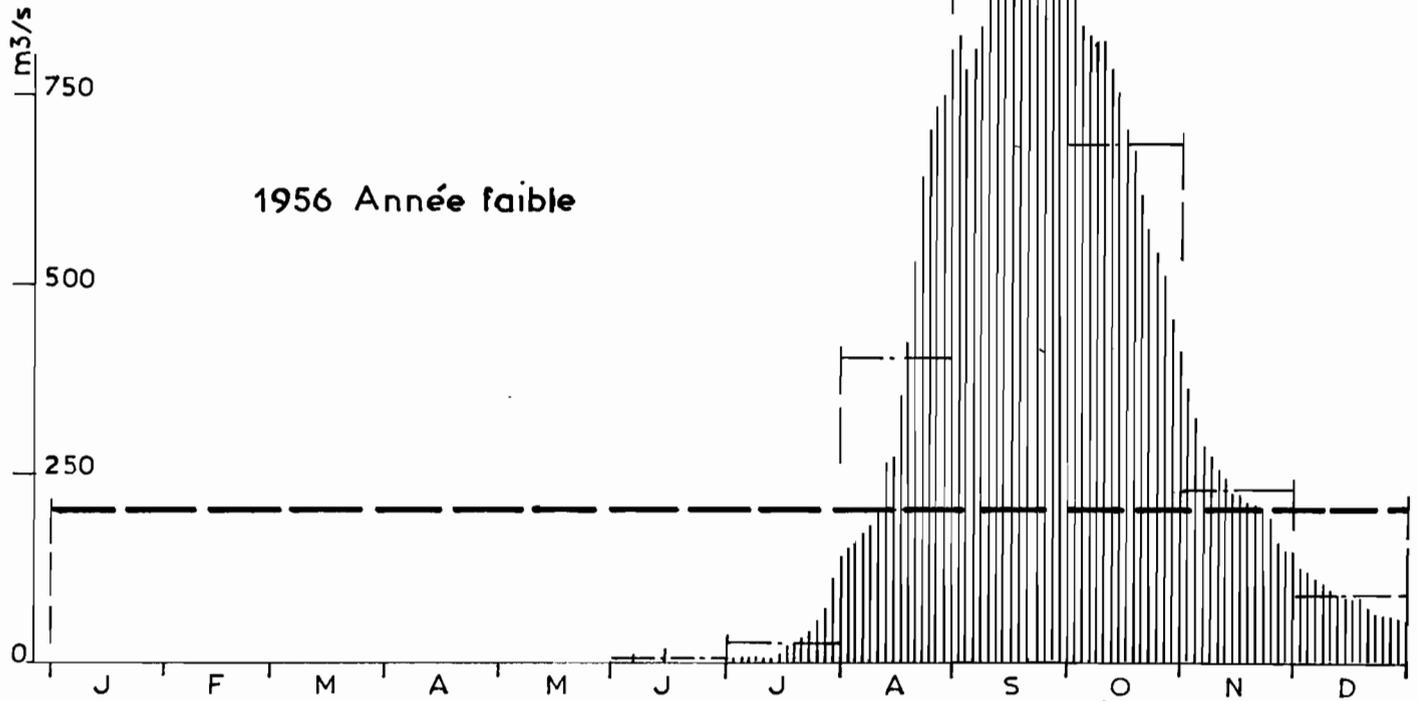
Le NIANDAN à BARO



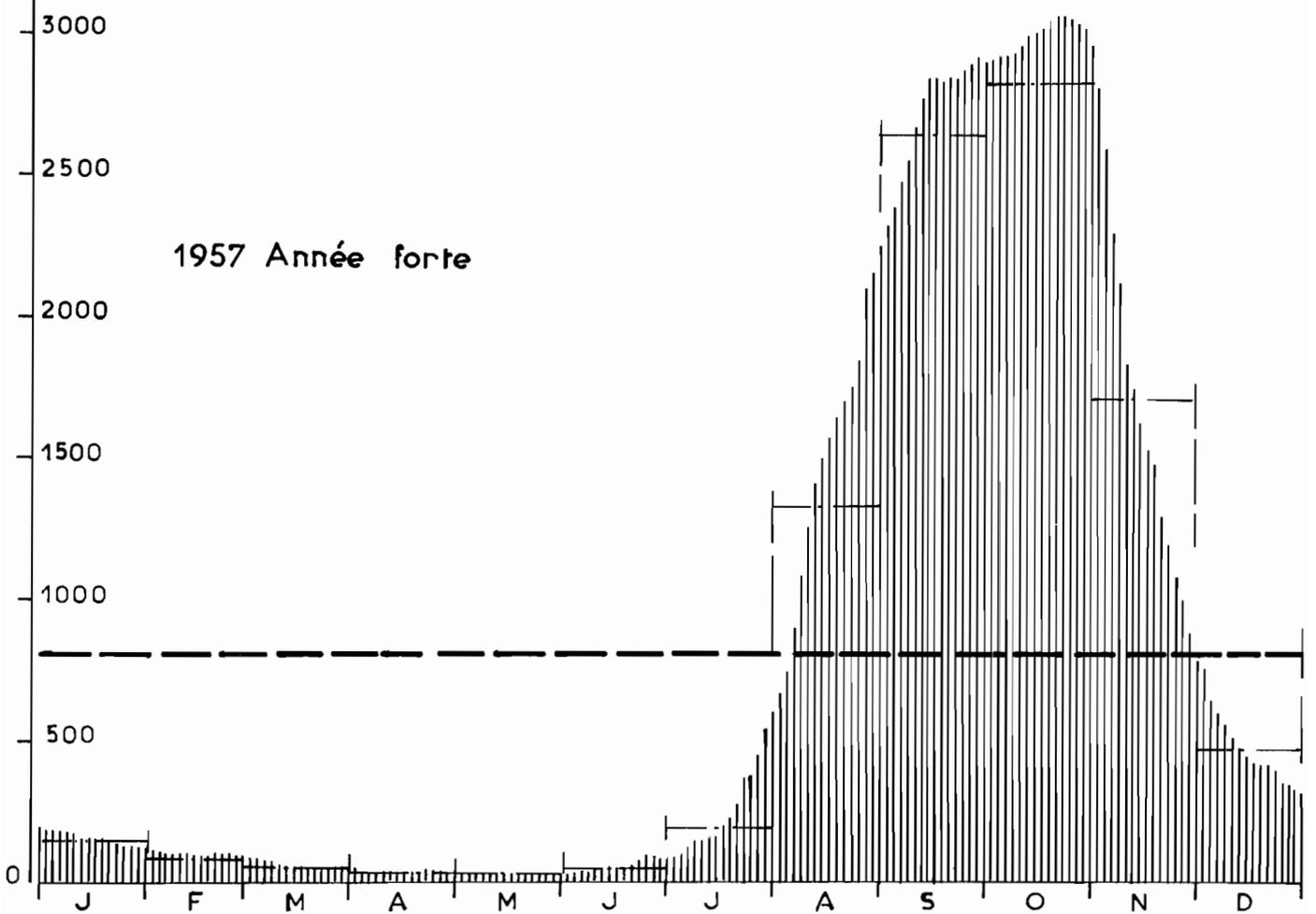
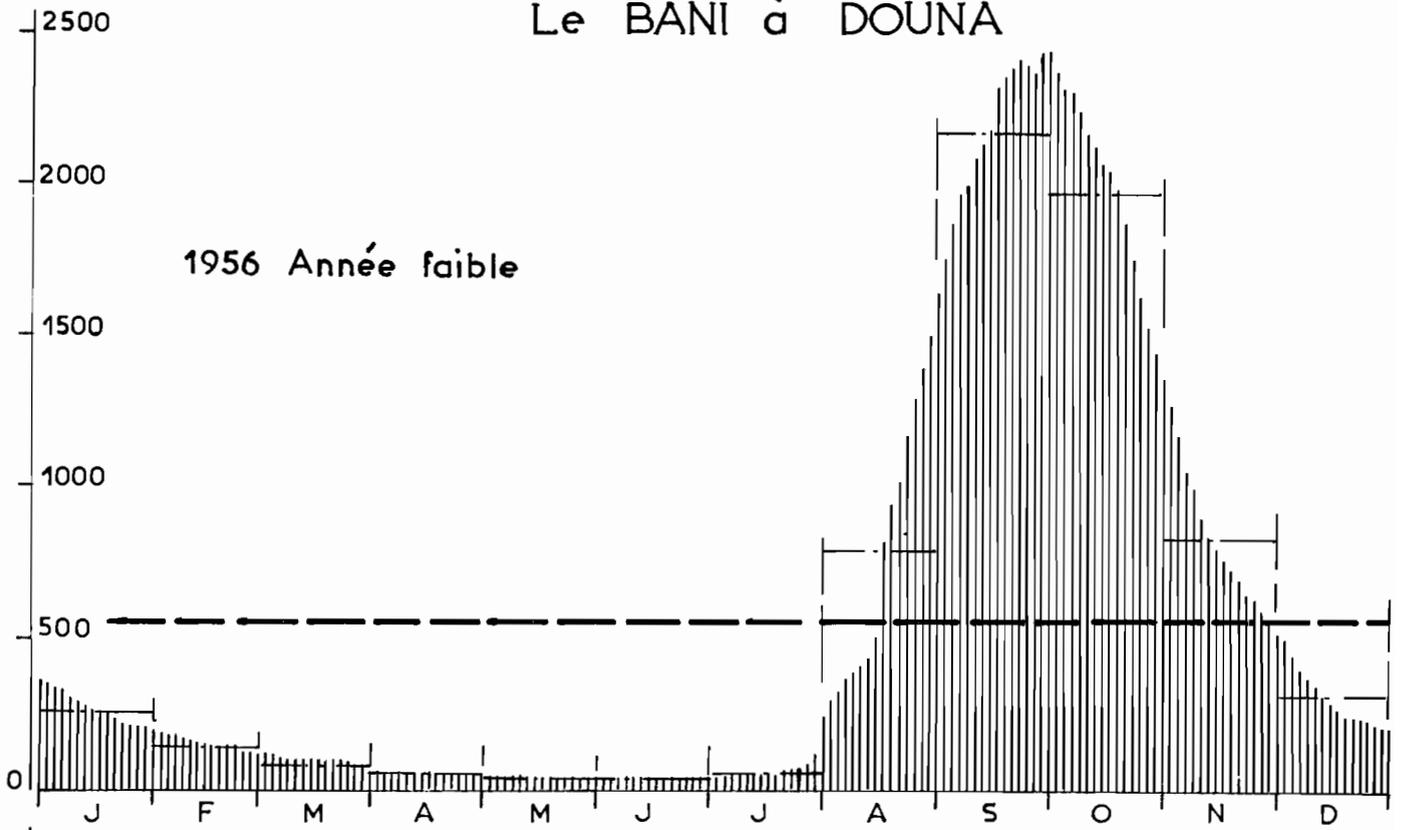
Le SANKARANI à MANDIANA



Le BAGOE à PANKOUROU



Le BANI à DOUNA



Sur la bordure méridionale du bassin du NIGER Supérieur, d'où sont issus la plupart de ses affluents, l'altitude et l'augmentation concomitante de la pluviosité donnent lieu à un régime hydrologique assez particulier que l'on désigne sous le nom de "régime tropical de montagne". La saison des hautes eaux s'étend sur quatre à six mois, les crues sont assez brutales et de petites pointes de débits peuvent même s'observer pendant la saison sèche. Ces modifications du régime hydrologique s'accompagnent d'une extension notable de la couverture forestière sous la forme de galeries et d'îlots forestiers denses.

C H A P I T R E I V

Les MODULES (1)

=====

A - RECHERCHE de CORRELATIONS

La recherche de corrélations est utile pour procéder à l'"homogénéisation" de données hydrologiques issues de plusieurs stations hydrométriques. Nous entendons par là l'opération qui consiste à ramener à une même période de référence les données relatives à diverses stations. Cette opération facilite les comparaisons et procure un certain gain d'information pour les stations les moins favorisées quant à la durée des observations, à condition toutefois que les corrélations soient suffisamment étroites.

La station de KOULIKORO qui contrôle la plus grande partie du bassin supérieur du NIGER et dont les observations limnimétriques remontent à 1907, est tout à fait indiquée pour servir de station de référence dans l'étude des modules. On est ainsi amené à prendre comme période de référence celle qui s'étend de 1907 à 1957 (à partir de 1958, on ne dispose que de relevés incomplets). Les périodes d'observations des différentes stations hydrométriques citées au chapitre précédent seront donc étendues à cette période de 51 ans et, pour ce faire, on utilisera l'une des deux méthodes de corrélation qui suivent.

Précisons que pour faciliter les comparaisons entre bassins, on substituera aux modules les lames d'eau écoulées annuellement (exprimées en millimètres).

On établira d'abord, bassin par bassin, une corrélation entre les précipitations moyennes et les lames d'eau annuelles, dans la mesure tout au moins où la détermination de la pluviométrie moyenne est possible. Ceci n'est le cas ni pour les bassins trop petits et mal pourvus en pluviomètres (MILO à KONSANKORO, par exemple), ni pour les années

(1) Voir en annexe "mise à jour des données de KOULIKORO".

antérieures à 1923, les relevés pluviométriques étant alors à peu près inexistantes.

Pour étendre les périodes d'observations au-delà de 1923, on établira pour chaque station une corrélation entre ses modules et ceux de KOULIKORO. Cette méthode ne tient pas compte de la pluviosité particulière de chaque bassin, à l'inverse de la précédente ; elle donne néanmoins des résultats acceptables.

a) Corrélation pluies-lames d'eau annuelles

On admet généralement que les lames d'eau écoulées sont liées aux précipitations annuelles par une fonction parabolique de la forme :

$$H = a P^2$$

Il se trouve cependant qu'en régime tropical de transition pour lequel les précipitations sont relativement abondantes, on peut adopter une relation linéaire, ce qui simplifie beaucoup les calculs.

Cette approximation apparaît très acceptable. La dispersion des points expérimentaux est plus inquiétante. Cette dispersion est due en partie aux légères erreurs sur la détermination des débits et des précipitations moyennes, mais surtout à l'intervention de multiples facteurs secondaires qu'il est impossible d'analyser en détail. Parmi ces facteurs il faut noter en premier lieu la distribution des pluies dans le temps.

On se contentera donc d'estimer au mieux les paramètres d'une formule linéaire de corrélation que nous avons mise sous la forme :

$$H = K (P - P_0)$$

H désignant la lame d'eau annuelle écoulée exprimée en mm et P la pluviométrie moyenne de l'année également exprimée en mm.

Le calcul de P correspondant à chaque année pour chaque bassin a été effectué en traçant et en planimétrant les réseaux d'isohyètes annuelles de 1923 à 1957.

Le tracé de chaque réseau d'isohyètes a été établi à partir du tableau des précipitations dressé pour le calcul de la pluviométrie interannuelle, en se conformant toujours aux mêmes directives générales, de façon à rendre le plus aléatoires possible les erreurs d'estimation.

Les résultats pluviométriques sont réunis dans le tableau II pour le NIGER Supérieur et dans le tableau III pour le bassin du BANI.

On peut admettre vraisemblablement que les écarts entre valeurs calculées et valeurs réelles sont distribués suivant la loi normale des erreurs. Dans ce cas, l'estimation "au mieux" des paramètres peut se faire par la méthode des moindres carrés.

Les résultats du calcul des paramètres sont groupés dans le tableau IV, tandis que les droites de corrélation ont été représentées sur les graphiques 19 et 20.

On ne cherchera pas à attribuer aux paramètres K et Po une signification physique précise. On notera seulement que lorsque K est voisin de 1 (NIGER à FARANAH), Po correspond au déficit d'écoulement.

On remarquera que les valeurs de K sont plus fortes pour le bassin du NIGER, hormis le SANKARANI et le TINKISSO, que pour celui du BANI. La station de SOFARA a notamment une valeur de K très faible qui s'explique par l'effet régulateur des zones marécageuses que traverse le BANI.

b) Corrélation entre les lames d'eau écoulées aux différentes stations et à KOULIKORO.

On a vu que la relation pluies-lames d'eau ne permet pas de reconstituer les lames d'eau à chaque station pour la totalité de la période de 51 ans sur laquelle portent les relevés à KOULIKORO, d'où la nécessité de rechercher les corrélations entre les lames d'eau à KOULIKORO et aux autres stations. A priori, cette corrélation est de qualité inférieure à la précédente car elle ne tient pas compte des variations de pluviosité propres à chaque bassin. Seuls les résultats obtenus en comparant les modules simultanés justifient l'emploi purement empirique de cette méthode.

TABLEAU II

BASSIN du NIGER SUPERIEUR

Pluviométries moyennes annuelles
pour chaque bassin partiel
(en mm)

Année	NIGER				NIAND.	MILO	SANKARANI		TINKIS.
	FARAN.	KOUROUS.	DIALAK.	KOULIK.	BARO	KANKAN	MANDIA.	GOUAL.	TINKIS.
1957	2 060	1 905	1 810	1 750	2 030	1 960	1 850	1 770	1 740
1956	1 710	1 585	1 560	1 450	1 750	1 575	1 375	1 355	1 525
1955	1 890	1 775	1 775	1 610	2 120	1 908	1 565	1 485	1 740
1954	2 230	2 105	1 955	1 820	2 145	2 100	1 875	1 775	1 785
1953	2 365	2 035	1 830	1 735	2 125	1 965	1 850	1 735	1 565
1952	1 840	1 665	1 590	1 510	1 895	1 735	1 590	1 515	1 425
1951	2 240	2 000	1 850	1 735	2 080	1 975	1 850	1 790	1 865
1950	1 530	1 480	1 490	1 465	1 640	1 505	1 365	1 435	1 570
1949	1 800	1 630	1 660	1 585	2 070	1 970	1 740	1 645	1 440
1948	1 795	1 745	1 780	1 625	1 890	2 000	1 630	1 580	1 720
1947	1 500	1 385	1 570	1 490	1 970	2 105	1 670	1 525	1 220
1946	1 920	1 800	1 695	1 590	1 850	1 820	1 670	1 570	1 665
1945	1 950	1 755	1 617	1 565	1 850	1 800	1 680	1 620	1 555
1944	1 700	1 460	1 490	1 390	1 860	1 910	1 450	1 370	1 280
1943	1 765	1 745	1 620	1 520	1 785	1 755	1 630	1 500	1 760
1942	1 820	1 630	1 495	1 420	1 745	1 750	1 490	1 430	1 455
1941	1 790	1 520	1 510	1 460	1 920	1 890	1 720	1 600	1 427
1940	1 880	1 670	1 520	1 400	1 830	1 710	1 400	1 330	1 300

TABLEAU II

BASSIN du NIGER SUPERIEUR

Pluviométries moyennes annuelles
pour chaque bassin partiel

(suite)

Année	NIGER				NIAND.	MILO	SANKARANI		TINKIS.
	FARAN.	KOUROUS.	DIALAK.	KOULIK.	BARO	KANKAN	MANDIA.	GOUAL.	TINKIS.
1939	1 615	1 500	1 515	1 450	1 820	1 780	1 600	1 500	1 420
1938	2 140	1 910	1 820	1 640	2 260	2 010	1 570	1 520	1 650
1937	1 930	1 725	1 700	1 560	2 100	1 905	1 620	1 540	1 480
1936	1 805	1 640	1 700	1 635	2 050	1 935	1 685	1 632	1 400
1935	1 900	1 670	1 510	1 450	1 680	1 630	1 410	1 390	1 435
1934	2 015	1 815	1 665	1 530	1 900	1 795	1 540	1 435	1 525
1933	2 050	1 810	1 850	1 765	2 240	2 400	1 965	1 800	1 500
1932	2 075	1 965	1 875	1 765	2 155	2 170	1 880	1 750	1 635
1931	1 870	1 680	1 670	1 630	1 995	2 040	1 745	1 680	1 455
1930	1 850	1 790	1 810	1 635	2 075	2 055	1 620	1 550	1 725
1929	1 890	1 755	1 754	1 700	1 970	2 010	1 835	1 735	1 650
1928	1 960	1 820	1 870	1 760	2 235	2 195	1 800	1 740	1 630
1927	1 922	1 835	1 815	1 685	1 755	1 995	1 777	1 690	1 880
1926	1 900	1 710	1 615	1 550	1 950	1 930	1 720	1 605	1 420
1925	2 125	1 900	1 890	1 740	2 030	2 225	1 915	1 740	1 400
1924	1 800	1 725	1 785	1 685	2 015	1 965	1 820	1 695	1 945
1923	2 040	1 745	1 690	1 550	2 125	1 965	1 610	1 505	1 490

TABLEAU III
BASSIN du BANI

Pluviométries moyennes annuelles
pour chaque bassin partiel
(en mm)

Année	BAOULE		BAGOE	BANIF	BANI		
	BOUGOUNI	DIOILA	PANKOUROU	KOUORO	DOUNA	BEN. KEGNY	SOFARA
1957	1 775	1 535	1 565	1 205	1 410	1 340	1 300
1956	1 355	1 240	1 240	1 080	1 155	1 115	1 070
1955	1 420	1 280	1 460	1 420	1 385	1 340	1 300
1954	1 760	1 530	1 615	1 365	1 475	1 415	1 380
1953	1 720	1 455	1 570	1 440	1 400	1 345	1 290
1952	1 500	1 415	1 465	1 100	1 270	1 200	1 140
1951	1 650	1 450	1 650	1 410	1 465	1 415	1 353
1950	1 485	1 455	1 620	1 300	1 450	1 390	1 350
1949	1 525	1 285	1 285	1 045	1 190	1 140	1 080
1948	1 440	1 205	1 330	1 130	1 165	1 110	1 060
1947	1 265	1 120	1 150	958	1 030	1 010	960
1946	1 565	1 305	1 370	1 190	1 230	1 185	1 140
1945	1 615	1 340	1 380	1 088	1 230	1 175	1 135
1944	1 265	1 090	1 200	1 100	1 080	1 050	1 025
1943	1 370	1 240	1 225	1 130	1 180	1 150	1 120
1942	1 350	1 255	1 235	1 080	1 165	1 125	1 090
1941	1 480	1 340	1 370	1 058	1 180	1 140	1 090
1940	1 290	1 130	1 120	935	1 040	990	960

TABLEAU III

BASSIN du BANI

Pluviométries moyennes annuelles
pour chaque bassin partiel

(suite)

Année	BAOULE		BAGOE	BANIF.	BANI		
	BOUGOUNI	DIOILA	PANKOUROU	KOUORO	DOUNA	BEN.KEGNY	SOFARA
1939	1 495	1 305	1 435	1 200	1 290	1 240	1 200
1938	1 440	1 295	1 335	1 130	1 235	1 210	1 120
1937	1 495	1 300	1 405	1 135	1 235	1 175	1 150
1936	1 500	1 375	1 330	1 170	1 270	1 220	1 175
1935	1 355	1 335	1 395	1 267	1 290	1 225	1 160
1934	1 290	1 060	1 265	1 100	1 075	1 035	1 000
1933	1 600	1 385	1 585	1 285	1 380	1 325	1 285
1932	1 590	1 340	1 390	1 100	1 220	1 160	1 115
1931	1 620	1 460	1 555	1 280	1 420	1 340	1 280
1930	1 420	1 210	1 310	1 110	1 160	1 090	1 070
1929	1 695	1 445	1 615	1 315	1 410	1 335	1 280
1928	1 610	1 425	1 420	1 280	1 310	1 245	1 190
1927	1 525	1 400	1 485	1 322	1 380	1 315	1 270
1926	1 490	1 260	1 370	1 140	1 190	1 140	1 065
1925	1 490	1 260	1 460	1 230	1 260	1 210	1 170
1924	1 610	1 455	1 450	1 280	1 400	1 325	1 275
1923	1 410	1 205	1 395	1 110	1 200	1 155	1 120

TABLEAU IV

NIGER SUPERIEUR et BANI

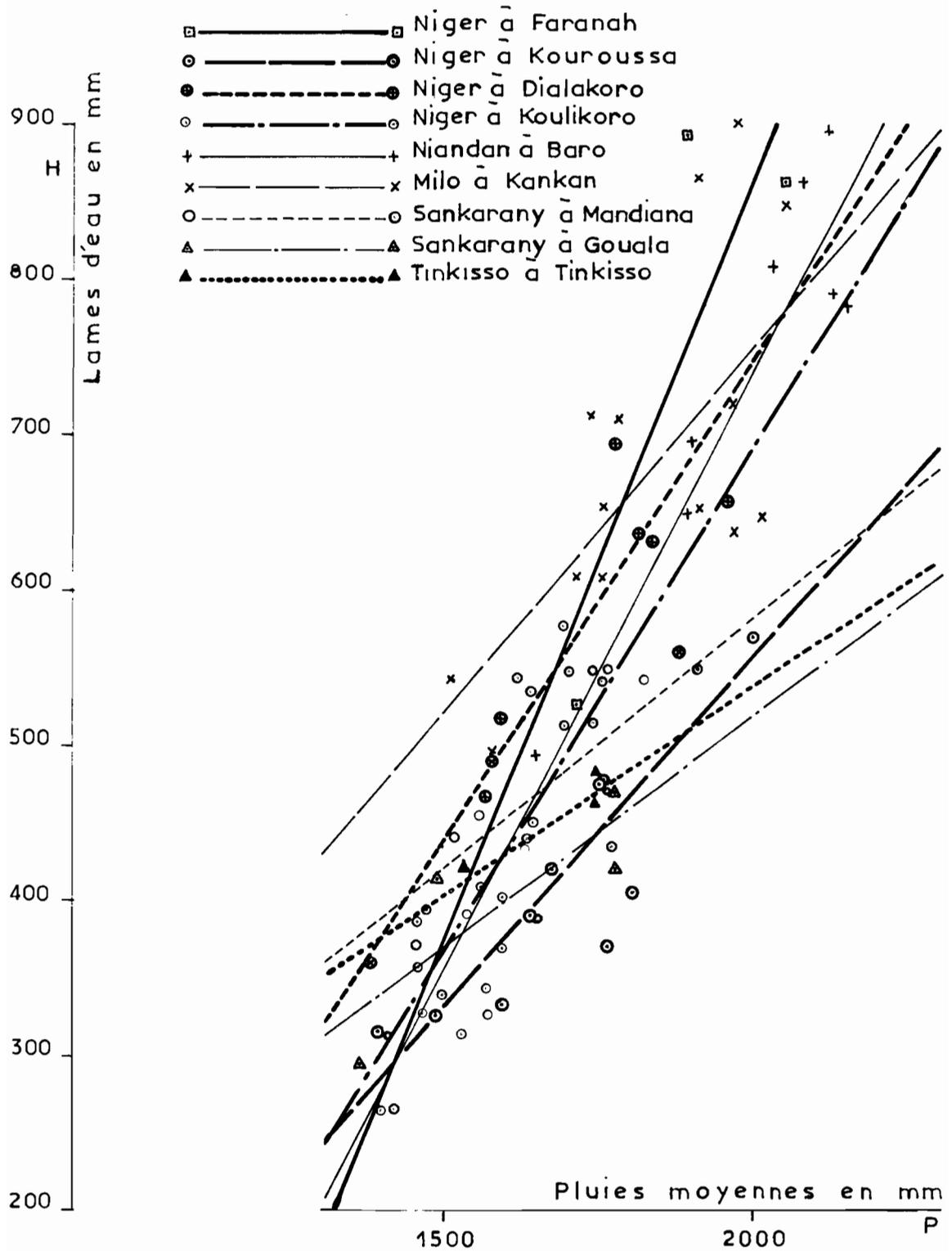
CORRELATIONS PLUIES - LAMES D'EAU

Ajustement de la formule $H = K (P - P_0)$

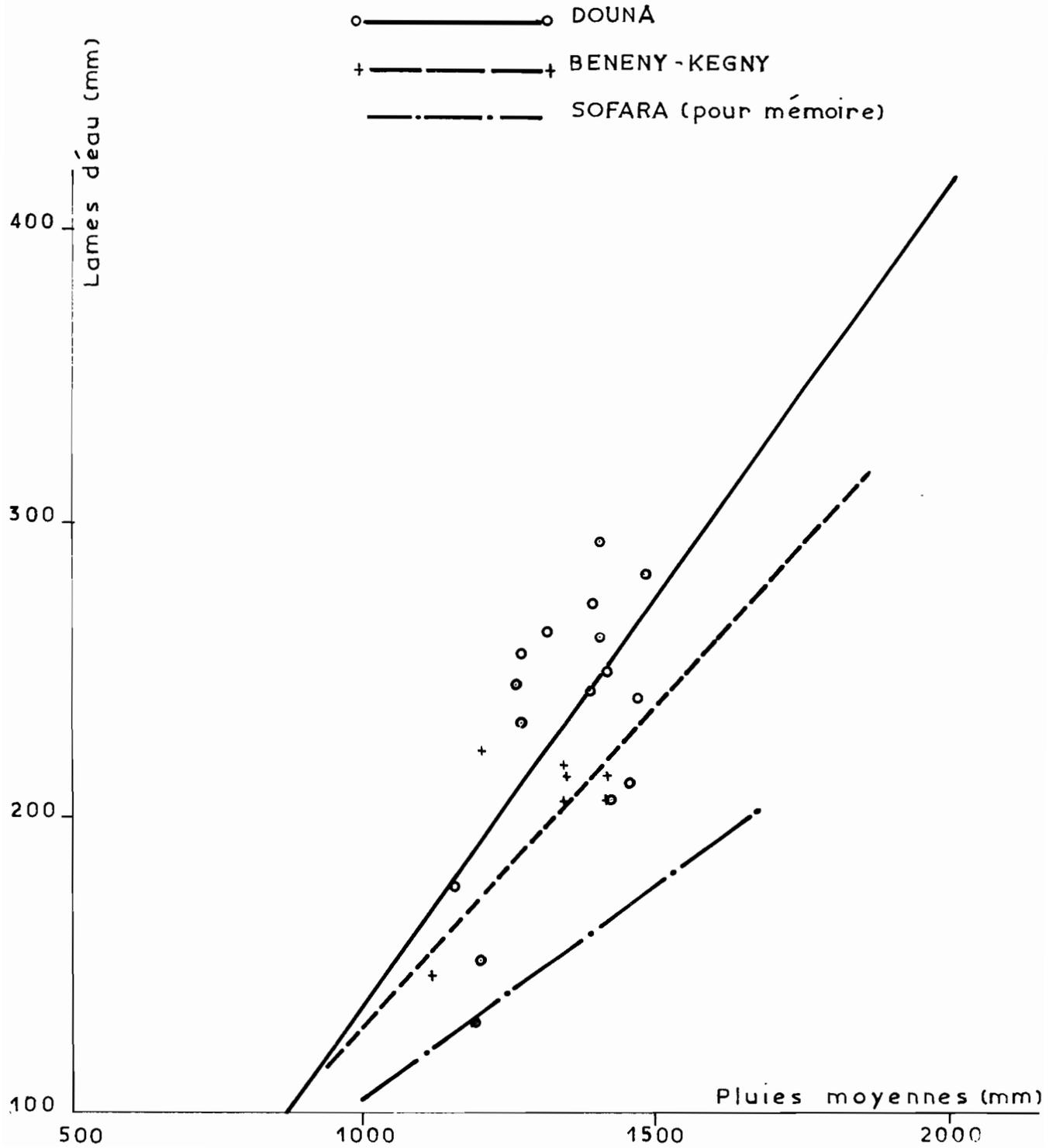
Rivière	Station	Lame d'eau	Surf. B.V km ²
NIGER	FARANAH	$H = 0,98 (P - 1\ 108)$	3 180
	KOUROUSSA	$H = 0,438 (P - 740)$	18 000
	DIALAKORO	$H = 0,625 (P - 800)$	71 000
	KOULIKORO	$H = 0,651 (P - 932)$	120 000
NIANDAN	BARO	$H = 0,77 (P - 1\ 030)$	12 600
MILO	KANKAN	$H = 0,473 (P - 387)$	9 900
SANKARANI	MANDIANA	$H = 0,320 (P - 172)$	21 900
	GOUALA	$H = 0,298 (P - 256)$	35 300
TINKISSO	TINKISSO	$H = 0,27 P$	6 400
BAOULE	BOUGOUNI	$H = 0,484 (P - 920)$	15 700
	DIOILA	$H = 0,307 (P - 593)$	32 500
BAGOE	PANKOUROU	$H = 0,465 (P - 801)$	31 800
BANI	DOUNA	$H = 0,285 (P - 522)$	101 600
	BENENY-KEGNY	$H = 0,223 (P - 423)$	116 000
	SOFARA	$H = 0,147 (P - 290)$	129 400

NIGER SUPERIEUR

Corrélations Pluies-Lames d'eau écoulées



CORRELATIONS PLUIES-LAMES D'EAU ÉCOULÉES



Là encore, la surface du bassin intervient pour la validité des coefficients estimés ; plus les bassins comparés ont des superficies dissemblables, moins les résultats sont précis. Les différences entre les diverses zones climatiques interviennent également, surtout lorsque l'on compare les observations aux stations du BANI avec celles de KOULIKORO. Néanmoins, l'expérience montre que les corrélations sont généralement acceptables. Il faut en déduire que nous nous trouvons dans un cas particulièrement favorable, ce que laissait prévoir le caractère relativement homogène de la pluviosité annuelle dans toute la zone couvrant l'ensemble des deux bassins, malgré des hauteurs pluviométriques variant de 600 à plus de 2 000 mm.

Il est inutile, dans l'application de cette méthode, encore plus que pour l'étude des corrélations pluies-lames d'eau, de rechercher des formes analytiques compliquées. Aussi avons-nous admis une relation linéaire de la forme :

$$H = K_1 (H_k - H_o)$$

dans laquelle H désigne la lame d'eau écoulée pendant une année donnée à une station quelconque et H_k la lame d'eau écoulée la même année à KOULIKORO. K_1 et H_o sont les paramètres d'ajustement. Ces paramètres ont été calculés par la méthode des moindres carrés.

On trouvera ci-après les différentes formules de corrélations obtenues :

Bassin du NIGER :

NIGER à FARANAH	H_{mm}	=	2,07	($H_{k \text{ mm}}$	- 117)
NIGER à KOUROUSSA	H_{mm}	=	1,07	($H_{k \text{ mm}}$	- 23)
NIGER à DIALAKORO	H_{mm}	=	1,21	$H_{k \text{ mm}}$	
NIGER à KOULIKORO				Station de référence	
NIANDAN à BARO	H_{mm}	=	1,5	$H_{k \text{ mm}}$	
MILO à KANKAN	H_{mm}	=	0,97	($H_{k \text{ mm}}$	+ 300)
SANKARANI à MANDIANA	H_{mm}	=	0,93	($H_{k \text{ mm}}$	+ 15)
SANKARANI à GOUALA	H_{mm}	=	0,82	($H_{k \text{ mm}}$	- 12)
TINKISSO à TINKISSO	H_{mm}	=	0,30	($H_{k \text{ mm}}$	+ 1 032)

Bassin du BANI :

BAOULE à BOUGOUNI	H_{mm}	=	1,2	($H_{k mm}$ - 193)
BAOULE à DIOILA	H_{mm}	=	0,70	($H_{k mm}$ - 145)
BAGOE à PANKOUROU	H_{mm}	=	0,89	($H_{k mm}$ - 144)
BANI à DOUNA	H_{mm}	=	0,33	($H_{k mm}$ + 200)
BANI à BENENY-KEGNY	H_{mm}	=	0,377	($H_{k mm}$ + 25)
BANI à SOFARA	H_{mm}	=	0,18	($H_{k mm}$ + 304)

Les droites de corrélations et les points représentatifs des couples d'observations simultanées figurent sur les graphiques n°19 (NIGER) et n°20 (BANI).

c) Homogénéisation des lames d'eau

Les formules de corrélation, établies au premier et au second paragraphe de ce chapitre, vont permettre d'étendre les données enregistrées à chaque station à une période uniforme de 51 ans (1907-1957) qui correspond à la durée des observations hydrométriques à KOULIKORO.

De 1923 à 1957, les lames d'eau écoulées annuelles, non directement observées, ont été calculées à partir des corrélations pluies-débits.

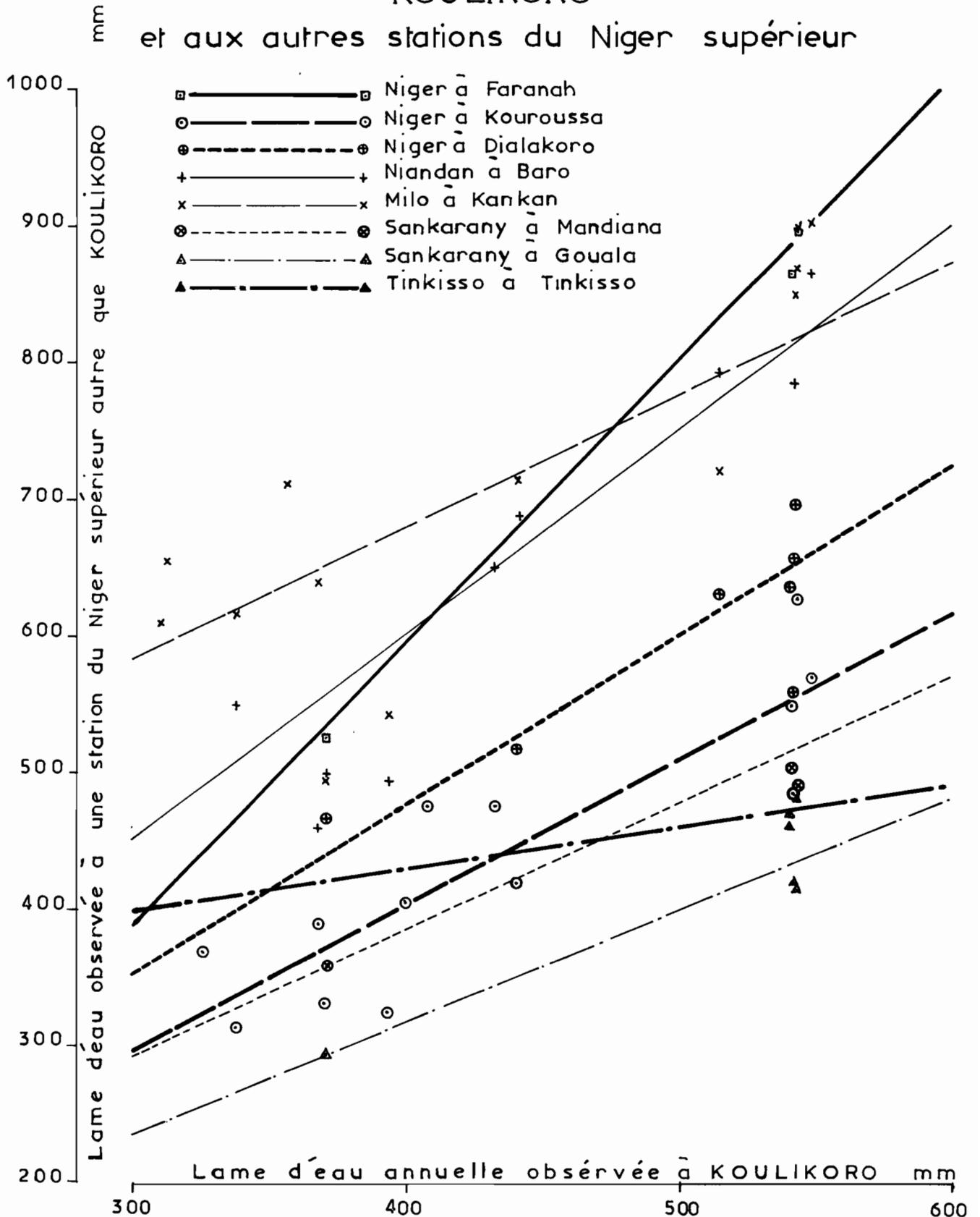
De 1907 à 1922, les renseignements pluviométriques sont insuffisants pour permettre la reconstitution des lames d'eau : on a fait appel aux formules de corrélation du second type.

Le tableau V contient les lames d'eau observées (soulignées) et calculées concernant les différents bassins du NIGER Supérieur.

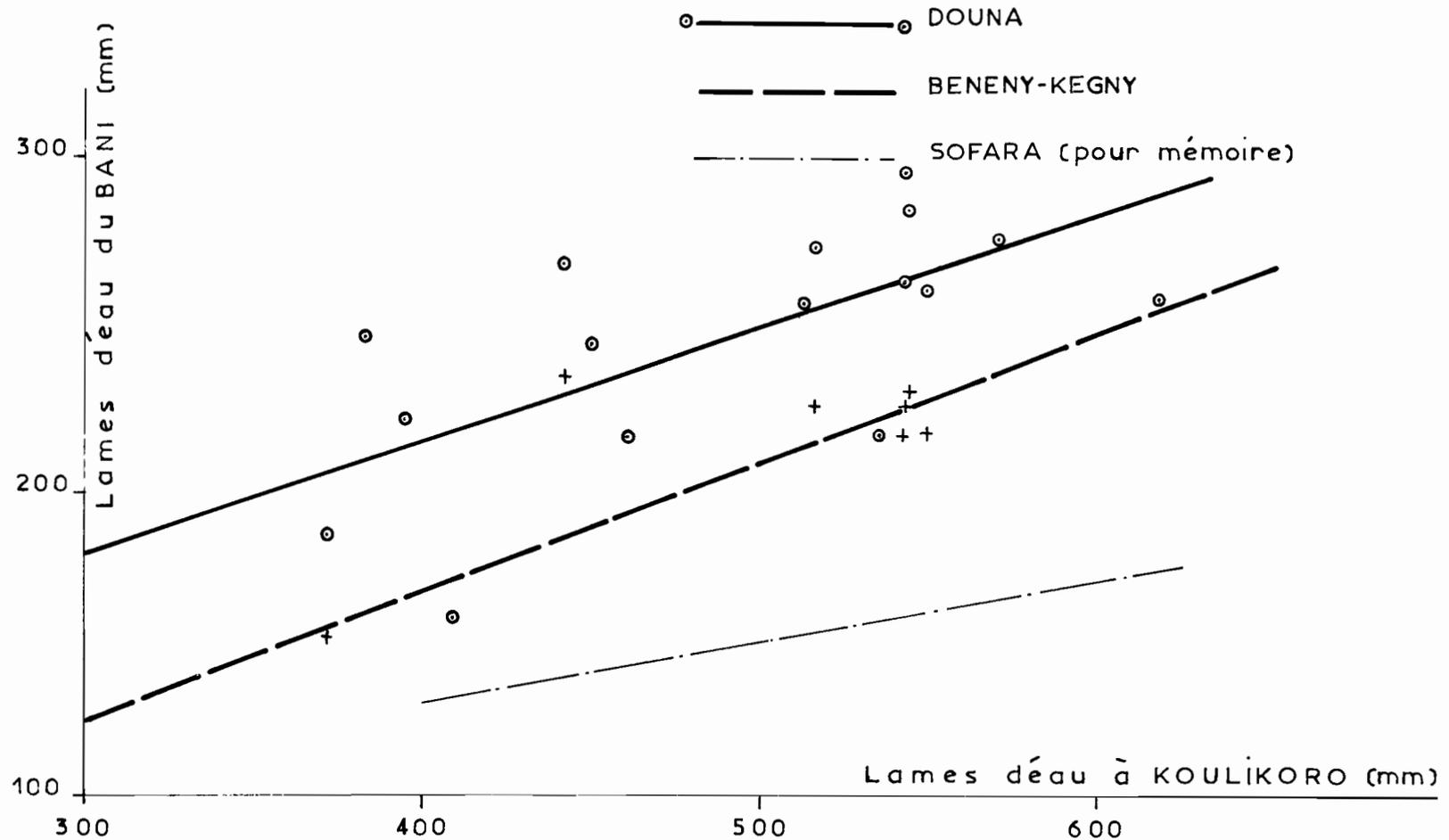
Les résultats relatifs au BANI sont consignés dans le tableau VI.

NIGER SUPERIEUR

Correlations entre les lames d'eau annuelles observées à
KOULIKORO
et aux autres stations du Niger supérieur

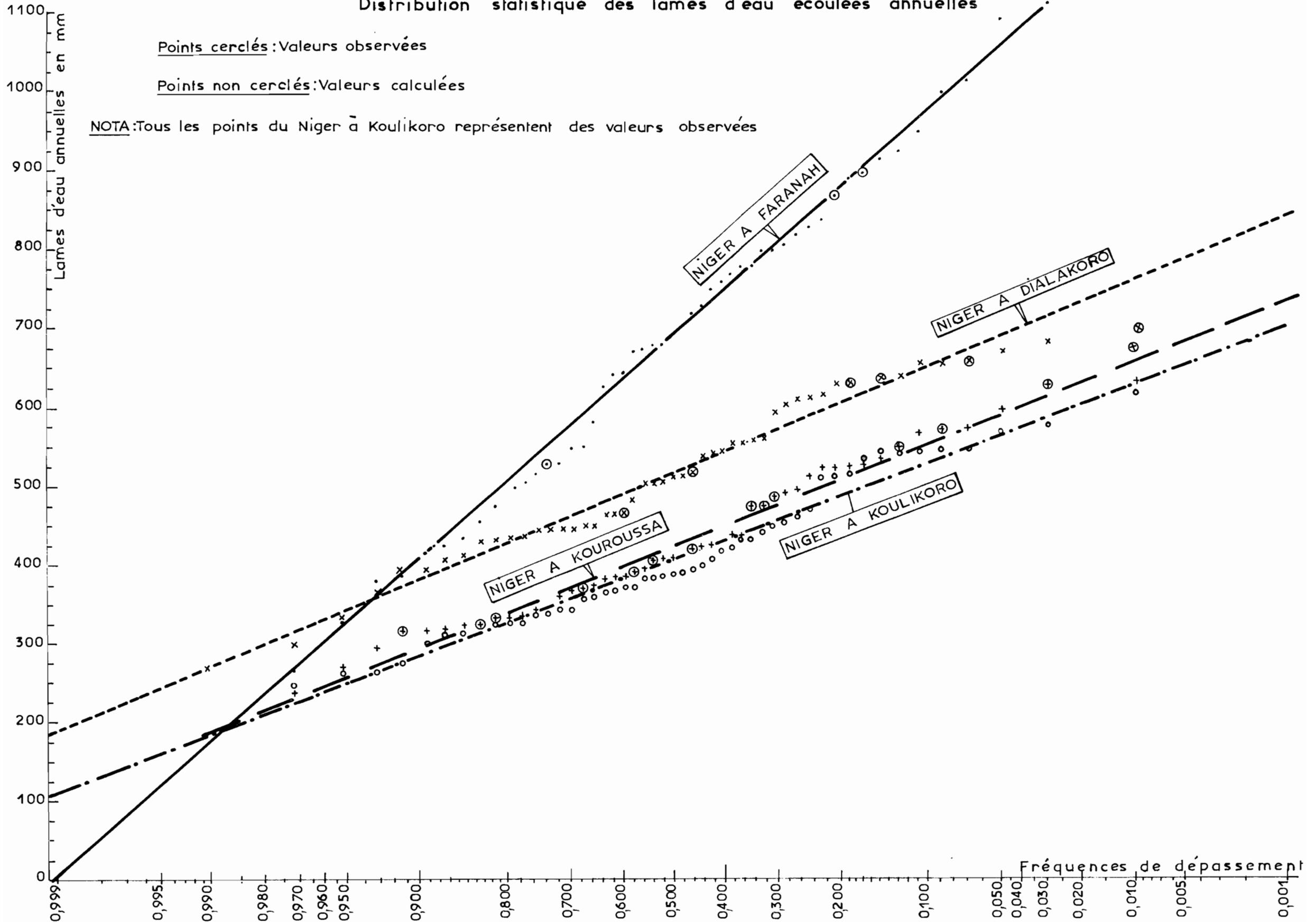


CORRELATIONS ENTRE LAMES D'EAU ÉCOULÉES A KOULIKORO ET AUX STATIONS DU BANI



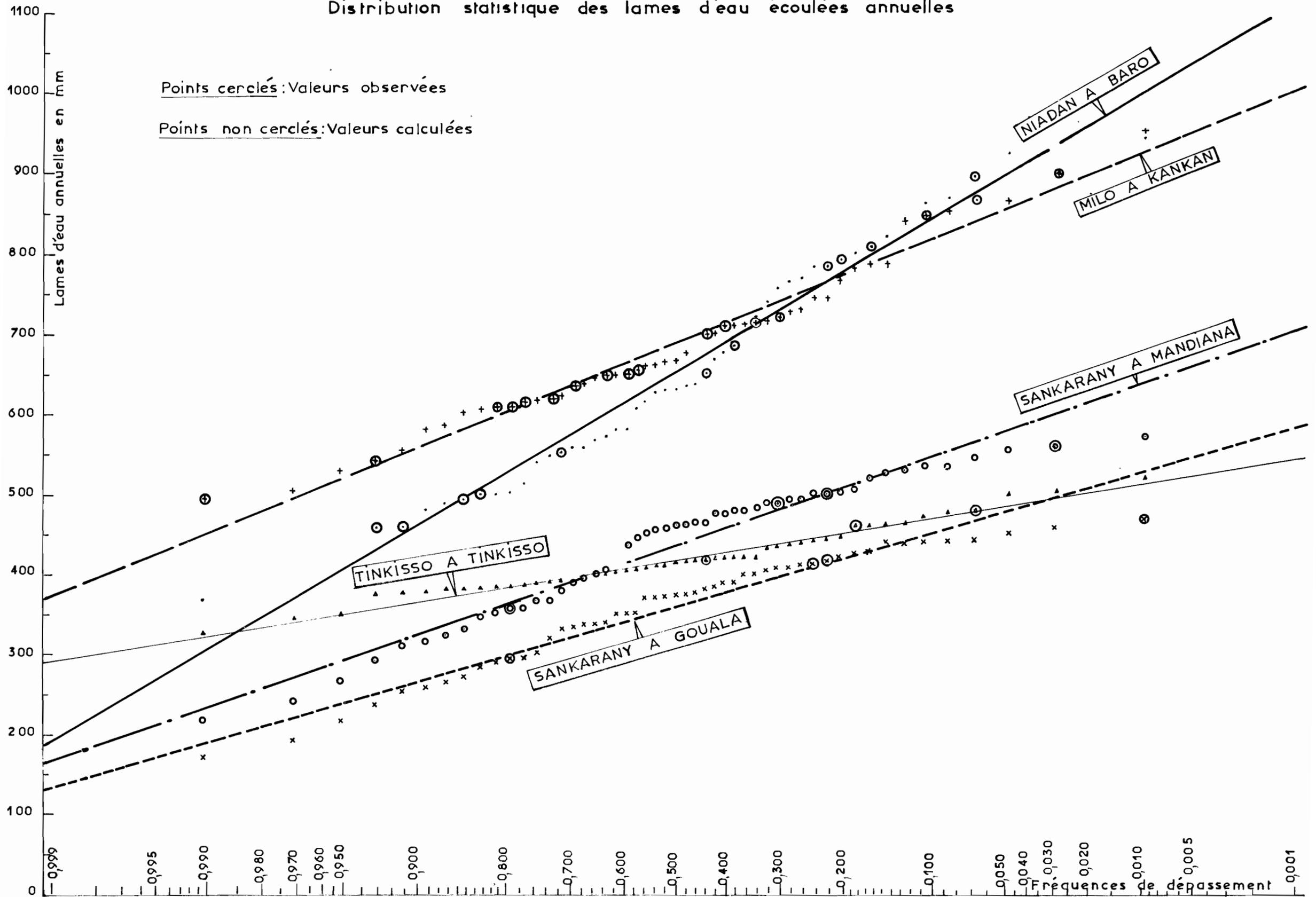
Bassin du NIGER SUPERIEUR_Cours principal

Distribution statistique des lames d'eau écoulées annuelles



Bassin du NIGER SUPERIEUR - Affluents -

Distribution statistique des lames d'eau écoulées annuelles



Bassin du BANI_Affluents_

Distribution statistique des lames d'eau écoulées annuelles

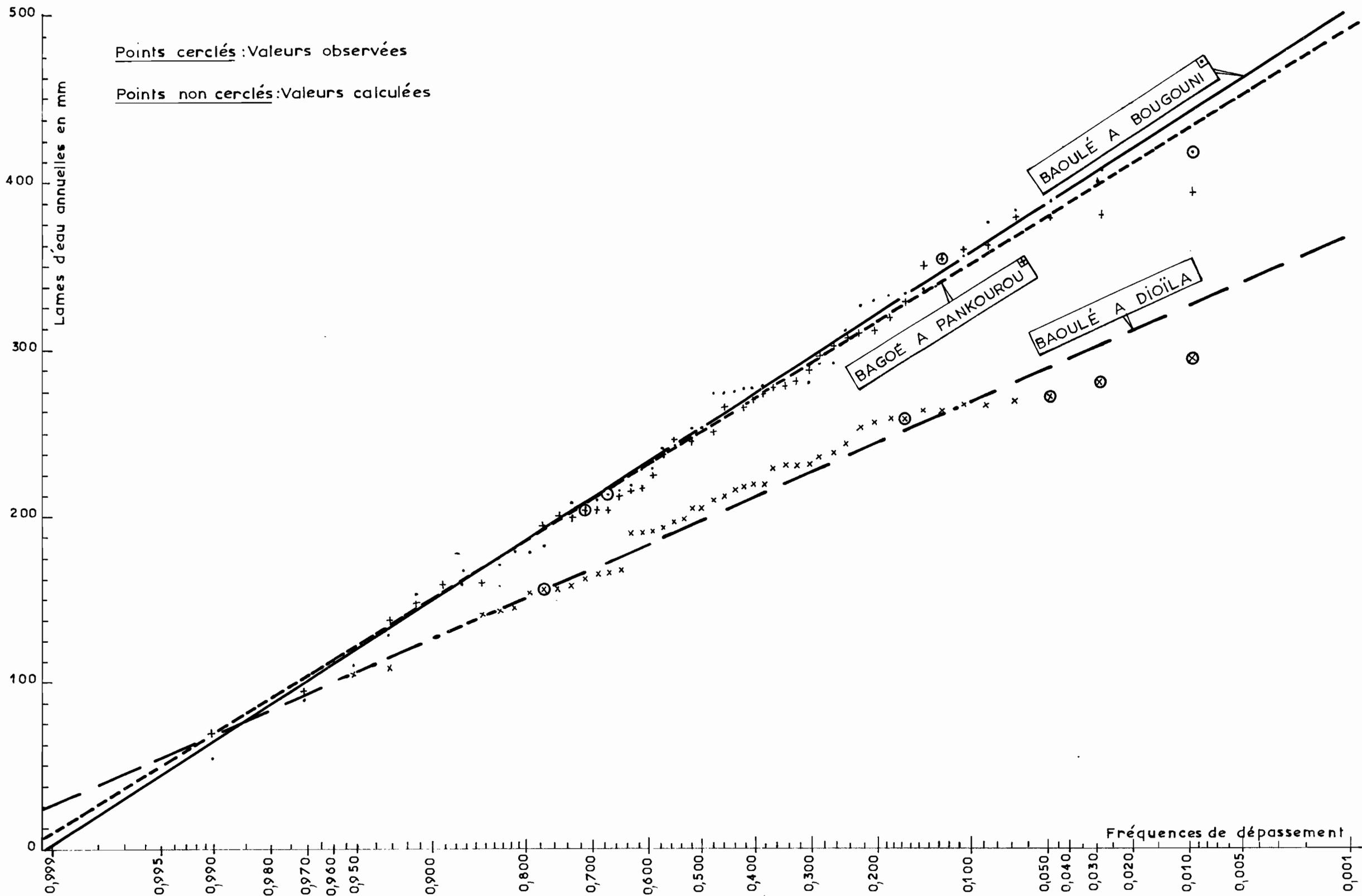


TABLEAU V

BASSIN du NIGER SUPERIEURLames d'eau écoulees annuellement
sur chaque bassin versant partiel.

(en mm)

Année	NIGER				NIAND.	MILO	SANKARANI		TINKIS.
	FARAN.	KOUROUS.	DIALAK.	KOULIK.	BARO	KANKAN	MANDIA.	GOUAL.	TINKIS.
1957	<u>865</u>	<u>549</u>	<u>636</u>	<u>541</u>	<u>810</u>	<u>701</u>	<u>503</u>	<u>470</u>	<u>462</u>
1956	<u>526</u>	<u>332</u>	<u>467</u>	<u>371</u>	(500)	<u>494</u>	<u>359</u>	<u>294</u>	<u>421</u>
1955	<u>895</u>	<u>628</u>	<u>697</u>	<u>543</u>	<u>898</u>	<u>867</u>	<u>490</u>	<u>414</u>	<u>482</u>
1954	1020	<u>485</u>	<u>657</u>	<u>542</u>	<u>785</u>	<u>849</u>	<u>560</u>	<u>419</u>	482
1953	1233	<u>632</u>	<u>631</u>	<u>515</u>	<u>793</u>	<u>721</u>	<u>537</u>	<u>441</u>	422
1952	717	<u>420</u>	<u>517</u>	<u>441</u>	<u>687</u>	<u>714</u>	<u>454</u>	<u>375</u>	385
1951	1110	<u>570</u>	<u>656</u>	<u>548</u>	<u>865</u>	<u>902</u>	<u>537</u>	<u>457</u>	503
1950	414	<u>325</u>	<u>431</u>	<u>394</u>	<u>494</u>	<u>542</u>	<u>382</u>	<u>352</u>	424
1949	678	<u>390</u>	<u>538</u>	<u>368</u>	<u>459</u>	<u>638</u>	<u>502</u>	<u>414</u>	389
1948	673	<u>475</u>	<u>613</u>	<u>432</u>	<u>650</u>	<u>618</u>	<u>467</u>	<u>395</u>	464
1947	384	<u>315</u>	<u>481</u>	<u>338</u>	<u>550</u>	<u>615</u>	<u>479</u>	<u>378</u>	329
1946	796	<u>405</u>	<u>559</u>	<u>400</u>	<u>632</u>	<u>678</u>	<u>479</u>	<u>392</u>	449
1945	826	<u>370</u>	<u>511</u>	<u>326</u>	<u>632</u>	<u>668</u>	<u>482</u>	<u>407</u>	419
1944	580	<u>316</u>	<u>431</u>	<u>263</u>	<u>639</u>	<u>654</u>	<u>409</u>	<u>332</u>	346
1943	644	<u>491</u>	<u>513</u>	<u>313</u>	<u>582</u>	<u>654</u>	<u>467</u>	<u>371</u>	475
1942	697	<u>386</u>	<u>434</u>	<u>265</u>	<u>551</u>	<u>609</u>	<u>486</u>	<u>350</u>	393
1941	669	<u>342</u>	<u>444</u>	<u>325</u>	<u>678</u>	<u>711</u>	<u>496</u>	<u>401</u>	385
1940	757	<u>407</u>	<u>450</u>	<u>311</u>	<u>616</u>	<u>609</u>	<u>393</u>	<u>320</u>	351

TABLEAU V

BASSIN du NIGER SUPERIEUR

Lames d'eau écoulées annuellement
sur chaque bassin versant partiel
(suite)

Année	NIGER				NIAND.	MILO	SANKARANI		TINKIS.
	FARAN.	KOUROUS.	DIALAK	KOULIK.	BARO	KANKAN	MANDIA	GOUAL.	TINKIS.
1939	497	333	447	<u>357</u>	609	<u>711</u>	457	371	383
1938	1012	572	638	<u>388</u>	946	<u>648</u>	447	376	446
1937	805	432	563	<u>343</u>	824	718	464	383	399
1936	683	394	563	<u>449</u>	725	732	432	409	378
1935	777	407	444	<u>385</u>	501	587	396	338	387
1934	889	525	541	<u>390</u>	670	666	438	351	412
1933	923	522	656	<u>432</u>	932	957	574	461	405
1932	947	597	672	<u>469</u>	866	843	547	446	442
1931	747	412	544	<u>460</u>	743	782	504	424	393
1930	727	512	631	<u>534</u>	804	788	464	386	466
1929	767	496	596	<u>547</u>	724	767	532	441	445
1928	836	527	606	<u>569</u>	927	855	522	443	440
1927	798	534	634	<u>512</u>	559	713	514	427	507
1926	777	425	509	<u>454</u>	708	729	496	402	383
1925	997	566	681	<u>617</u>	770	869	557	442	378
1924	678	432	616	<u>577</u>	759	746	528	429	525
1923	914	<u>475</u>	556	<u>408</u>	842	746	460	372	402
1922	550	385	463	<u>383</u>	574	662	370	340	424
1921	327	270	333	<u>275</u>	413	557	270	216	392
1920	433	324	394	<u>326</u>	489	607	317	258	407

TABLEAU V

BASSIN du NIGER SUPERIEUR

Lames d'eau écoulées annuellement
sur chaque bassin versant partiel
(suite et fin)

Année	NIGER				NIAND.	MILO	SANKARANI		TINKIS.
	FARAN.	KOUROUS.	DIALAK.	KOULIK.	BARO	KANKAN	MANDIA	GOUAL.	TINKIS.
1919	528	373	450	<u>372</u>	558	652	360	295	421
1918	635	430	513	<u>424</u>	636	702	408	338	437
1917	546	383	461	<u>381</u>	571	661	368	301	424
1916	515	367	442	<u>366</u>	549	646	354	290	419
1915	503	360	436	<u>360</u>	540	640	349	285	418
1914	265	238	298	<u>246</u>	369	530	243	192	384
1913	217	213	267	<u>221</u>	<u>459</u>	505	220	171	376
1912	475	344	416	<u>344</u>	516	625	333	272	412
1911	625	424	507	<u>419</u>	629	697	404	334	436
1910	454	335	407	<u>336</u>	504	617	326	266	410
1909	817	523	619	<u>512</u>	767	788	490	410	463
1908	422	319	388	<u>321</u>	482	602	312	254	406
1907	379	296	363	<u>300</u>	450	582	293	236	400

TABLEAU VI
BASSIN du BANI

Lames d'eau écoulées annuellement
sur chaque bassin versant partiel
(en mm)

Année	BAOULE		BAGOE	BANI		
	BOUGOUNI	DIOILA	PANKOUROU	DOUNA	BEN-KEGNY	SOFARA
1957	<u>417</u>	<u>269</u>	<u>353</u>	<u>251</u>	<u>206</u>	<u>141</u>
1956	<u>213</u>	<u>155</u>	<u>202</u>	<u>177</u>	<u>147</u>	<u>116</u>
1955	242	<u>257</u>	306	<u>272</u>	<u>219</u>	<u>158</u>
1954	407	<u>292</u>	378	<u>284</u>	<u>215</u>	<u>153</u>
1953	387	<u>278</u>	358	<u>262</u>	<u>215</u>	<u>148</u>
1952	281	252	309	<u>257</u>	<u>224</u>	<u>144</u>
1951	354	263	395	<u>249</u>	<u>207</u>	156
1950	274	264	381	<u>212</u>	216	156
1949	293	212	225	190	160	116
1948	252	188	246	183	154	113
1947	167	162	162	144	132	99
1946	312	218	264	201	171	125
1945	336	229	270	201	169	124
1944	167	152	185	160	141	108
1943	218	198	197	188	162	122
1942	208	208	202	183	157	118
1941	271	229	265	188	160	118
1940	179	165	148	148	127	99

TABLEAU VI

BASSIN du BANI

Lames d'eau écoulées annuellement
sur chaque bassin versant partiel
(suite)

Année	BAOULE		BAGOE	BANI		
	BOUGOUNI	DIOILA	PANKOUROU	DOUNA	BEN-KEGNY	SOFARA
1939	278	218	295	219	182	134
1938	252	215	248	203	176	122
1937	278	217	281	203	169	126
1936	281	235	246	<u>233</u>	178	130
1935	211	228	276	219	180	128
1934	179	143	216	158	138	104
1933	329	243	364	244	202	146
1932	324	229	274	198	164	121
1931	339	266	350	<u>206</u>	200	145
1930	242	189	237	182	151	115
1929	375	262	378	252	204	145
1928	334	255	288	<u>264</u>	184	132
1927	293	247	318	<u>245</u>	200	144
1926	276	204	264	<u>130</u>	161	114
1925	276	204	306	<u>246</u>	176	129
1924	334	264	302	<u>295</u>	202	145
1923	238	188	276	<u>152</u>	164	122
1922	228	167	213	235	154	124
1921	(110)	(105)	117	163	111	104
1920	160	127	162	180	132	113

TABLEAU VIBASSIN du BANI

Lames d'eau écoulées annuellement
sur chaque bassin versant partiel
(suite et fin)

Année	BAOULE		BAGOE	BANI		
	BOUGOUNI	DIOILA	PANKOUROU	DOUNA	BEN-KEGNY	SOFARA
1919	215	159	203	196	150	122
1918	277	195	249	213	170	130
1917	226	165	211	199	153	123
1916	208	155	198	194	148	121
1915	200	142	192	192	145	120
1914	(90)	(90)	91	154	100	99
1913	(55)	(65)	68	145	91	94
1912	181	140	178	186	139	117
1911	271	192	245	211	168	130
1910	170	134	171	184	136	115
1909	382	257	328	242	202	147
1908	154	123	158	179	130	112
1907	128	109	139	172	122	109

B - ETUDE DES FREQUENCES

Nous disposons ainsi, pour chacune des 15 stations étudiées du NIGER Supérieur et du BANI, d'un échantillonnage de valeurs portant sur une période de 51 ans. Notons au passage que certains résultats bruts provenant des calculs précédents ont dû être légèrement retouchés : ceci concerne uniquement les très faibles modules du BAOULE pour lesquels il n'est plus possible d'admettre une corrélation linéaire avec les modules de KOULIKORO.

Pour chacune des stations, les lames d'eau ont été classées par ordre décroissant et les fréquences expérimentales au dépassement calculées d'après la formule :

$$F = \frac{n - \frac{1}{2}}{N}$$

dans laquelle n est le rang de classement de la valeur dont on détermine la fréquence et N le nombre d'unités contenues dans l'échantillon.

On trouvera, à titre d'exemple, sur le tableau VII, le classement des lames d'eau du NIGER à KOULIKORO, avec leur fréquence expérimentale.

L'expérience nous a montré que les modules ou lames d'eau des cours d'eau à régime tropical ou tropical de transition sont sensiblement distribués suivant la loi normale des écarts (loi de GAUSS). Cette constatation se confirme pour le NIGER Supérieur et ses affluents. La loi de distribution statistique est alors définie par deux paramètres : la moyenne et l'écart-type.

Le calcul très classique de ces deux paramètres conduit aux résultats du tableau VIII. On a également porté les lames d'eau correspondant aux fréquences décennale et centenaire.

Le tableau IX donne des résultats équivalents sous une forme différente, en faisant apparaître les modules et volumes d'eau annuels.

TABLEAU VII

Classement des lames d'eau annuelles
du NIGER à KOULIKORO

Fréquence de dépassement	lame d'eau (mm)		Fréquence de dépassement	lame d'eau (mm)
0,00980	<u>617</u>		0,50000	<u>388</u>
0,02941	<u>577</u>		0,51961	<u>385</u>
0,04902	<u>569</u>		0,53922	<u>383</u>
0,06863	<u>548</u>		0,55882	<u>381</u>
0,08824	<u>547</u>		0,57843	<u>372</u>
0,10784	<u>543</u>		0,59804	<u>371</u>
0,12745	<u>542</u>		0,61765	<u>368</u>
0,14706	<u>541</u>		0,63725	<u>366</u>
0,16667	<u>534</u>		0,65686	<u>360</u>
0,18627	<u>515</u>		0,67647	<u>357</u>
0,20588	<u>512</u>		0,69608	<u>344</u>
0,22549	<u>512</u>		0,71569	<u>343</u>
0,24510	<u>469</u>		0,73529	<u>338</u>
0,26471	<u>460</u>		0,75490	<u>336</u>
0,28431	<u>454</u>		0,77451	<u>326</u>
0,30392	<u>449</u>		0,79412	<u>326</u>
0,32353	<u>441</u>		0,81373	<u>325</u>
0,34314	<u>432</u>		0,83333	<u>321</u>
0,36275	<u>432</u>		0,85294	<u>313</u>
0,38235	<u>424</u>		0,87255	<u>311</u>
0,40196	<u>419</u>		0,89216	<u>300</u>
0,42157	<u>408</u>		0,91176	<u>275</u>
0,44118	<u>400</u>		0,93137	<u>265</u>
0,46078	<u>394</u>		0,95098	<u>263</u>
0,48039	<u>390</u>		0,97059	<u>246</u>
			0,99020	<u>221</u>

TABLEAU VIII

BASSIN du NIGER SUPERIEUR et du BANI
Etude statistique des lames d' eau

Rivières	Stations	Superf. B.V. km 2	H médiane mm	σ mm	H décennale humide mm	H décennale sèche mm	H centenaire humide mm
NIGER	FARANAH	3 180	687	223,4	973	405	1 206
NIGER	KOUROUSSA	18 000	423	100,5	552	290	656
NIGER	DIALAKORO	71 000	516	105,2	650	380	760
NIGER	KOULIKORO	120 000	406	96,3	529	280	629
NIANDAN	BARO	12 600	653	149,4	844	460	1 000
MILO	KANKAN	9 900	690	102,6	821	560	928
SANKARANI	MANDIANA	21 900	437	87,5	549	325	640
SANKARANI	GOUALA	35 300	360	73,4	454	270	530
TINKISSO	TINKISSO	6 400	420	41,0	473	365	515
BAOULE	BOUGOUNI	15 700	252	81,7	356	150	442
BAOULE	DIOILA	32 500	198	54,5	268	125	325
BAGOE	PANKOUROU	31 800	249	78,2	349	150	430
BANI	DOUNA	101 600	205	38,2	254	165	294
BANI	BEN-KEGNY	116 000	166	31,7	205	125	240
BANI	SOFARA	129 400	125	16,3	145	105	163

TABLEAU IX

Bassin du NIGER Supérieur et du BANI

Modules et volumes annuels

Cours d'eau	Station	Modules (m ³ /s)				Volumes annuels (10 ⁹ m ³ /s)			
		Médian	Décennal humide	Décennal sec	centenaire humide	Médian	Décennal humide	Décennal sec	Centenaire humide
NIGER	FARANAH	69	98	41	121	2,18	3,09	1,29	3,83
NIGER	KOUROUSSA	241	315	165	374	7,6	9,92	5,21	11,8
NIGER	DIALAKORO	1 160	1 465	850	1 715	36,7	46,2	27,0	54,0
NIGER	KOULIKORO	1 545	2 010	1 065	2 400	48,7	63,3	33,6	75,5
NIANDAN	BARO	261	337	184	400	8,23	10,6	5,8	12,6
MILO	KANKAN	216	257	176	292	6,85	8,13	5,55	9,19
SANKARANI	MANDIANA	303	380	225	445	9,57	12,0	7,1	14,0
SANKARANI	GOUALA	402	508	300	594	12,7	16,0	9,5	18,7
TINKISSO	TINKISSO	85	95	74	105	2,69	3,03	2,34	3,30
BAOULE	BOUGOUNI	125	179	74	220	3,95	5,59	2,35	6,94
BAOULE	DIOILA	204	278	128	332	6,44	8,71	4,05	10,5
BAGOE	PANKOUROU	250	352	151	435	7,90	11,1	4,77	13,7
BANI	DOUNA	660	816	530	950	20,8	25,8	16,8	29,9
BANI	BEN-KEGNY	610	751	460	880	19,5	23,8	14,5	27,8
BANI	SOFARA	512	600	430	670	16,2	18,8	13,6	21,1

La distribution statistique des lames d'eau, ainsi que les courbes ajustées de la loi de GAUSS figurent sur les graphiques 23 et 24 pour le bassin du NIGER Supérieur et sur les graphiques 25 et 26 pour le bassin du BANI. Les abscisses de ces graphiques sont à échelle gaussique ; elles indiquent les fréquences de dépassement. Avec une telle représentation, les courbes sont des droites. Leur pente et leur position sur le graphique ont une signification physique dont nous parlerons au chapitre traitant de l'irrégularité interannuelle.

Nous donnons ci-dessous les modules moyens correspondant pour chaque station à sa période d'observation :

Bassin du NIGER :

NIGER à FARANAH	76 m3/s
NIGER à KOUROUSSA	250 m3/s
NIGER à DIALAKORO	1350 m3/s
<u>NIGER à KOULIKORO</u> (station de référence)	1545 m3/s
NIANDAN à BARO	267 m3/s
MILO à KANKAN	214 m3/s
SANKARANI à MANDIANA	332 m3/s
TINKISSO à TINKISSO	92 m3/s

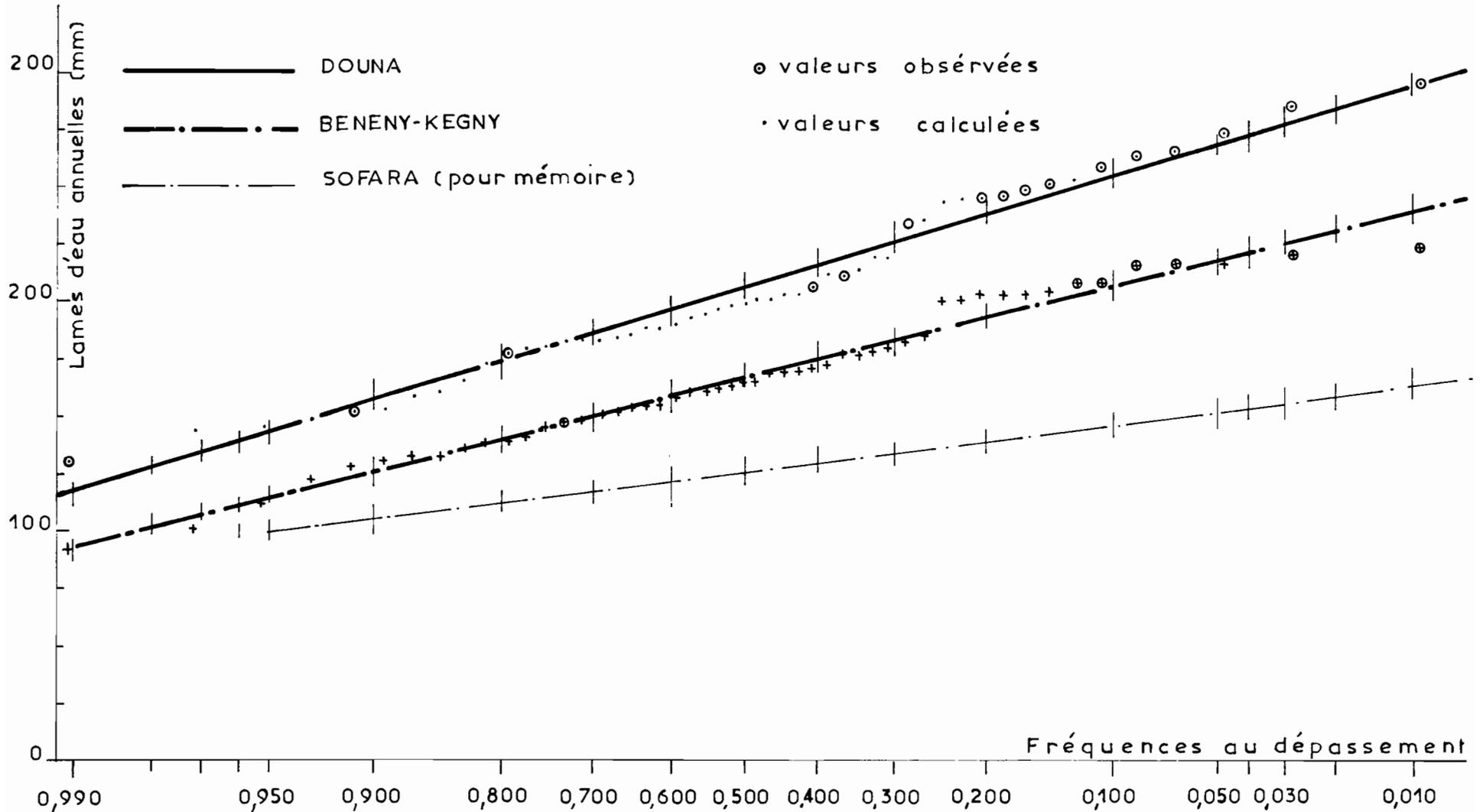
Bassin du BANI :

BAOULE à BOUGOUNI	157 m3/s
BAOULE à DIOILA	257 m3/s
BAGOE à PANKOUROU	280 m3/s
BANI à DOUNA	735 m3/s
BANI à BENENY-KEGNY	754 m3/s
BANI à SOFARA	586 m3/s

La comparaison de ces valeurs avec les modules médians du tableau IX met en relief l'intérêt des méthodes de corrélation. Les stations en service depuis peu d'années fournissent des résultats d'observation beaucoup trop élevés, dus à la forte hydraulicité des années 1951 à 1957. La différence s'atténue pour les stations observées depuis longtemps (NIGER à KOUROUSSA, NIANDAN à BARO, MILO à KANKAN)

DISTRIBUTION STATISTIQUE DES LAMES D'EAU ÉCOULÉES ANNUELLES

STATIONS DU BANÏ



Nous citerons incidemment les résultats obtenus en COTE d'IVOIRE sur le bassin supérieur de la BAGOE dont les observations hydrométriques ont débuté vers 1955, mais qui a été plus particulièrement étudié par l'ORSTOM de 1960 à 1962, c'est-à-dire durant une période que nous n'avons pas pu considérer pour les autres stations :

Station	Superficie du bassin (Km ²)	Module (m ³ /s)			Lame d'eau médiane (mm)
		Médian	Décennal sec	Décennal humide	
BAGOE à					
GUINGUERINI	1 042	12	(8)	(16,5)	365
TOMBOUGOU	2 580	28,5	(21)	(42)	350
KOUTO	4 740	41	(30)	(55)	275

C - INTERVALLES DE CONFIANCE

Il reste à évaluer la précision avec laquelle ont été déterminés les lames d'eau et les modules moyens. Autrement dit, on se propose maintenant d'évaluer les écarts qu'ils présenteraient par rapport aux valeurs moyennes vraies qui pourraient être déduites de périodes d'observation pratiquement infinies, c'est-à-dire portant sur plusieurs siècles.

Nous envisagerons seulement le cas de la station de KOULIKORO. Le problème serait, en effet, beaucoup plus compliqué pour les autres stations, car il faudrait tenir compte des écarts aléatoires résultant des différentes corrélations adoptées.

Sur 51 années d'observation, la lame d'eau moyenne \bar{H} de KOULIKORO a été estimée à 406 mm et son écart-type σ à 96,3 mm. Un calcul classique nous permet de déterminer l'erreur-type d'échantillonnage :

$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{96,3}{\sqrt{51}} = 13,5 \text{ mm}$$

La lame d'eau moyenne vraie a 95 chances sur 100 d'être comprise entre $\bar{H} - 2s$ et $\bar{H} + 2s$, soit entre 379 et 433 mm.

En convertissant les lames d'eau en débits, on obtient pour le module de KOULIKORO l'intervalle de confiance à 95 % suivant :

$$1\ 545 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 105 \text{ m}^3/\text{s}$$

Autrement dit, si l'on pouvait considérer une période d'observation de durée infinie sans variation climatique, il y aurait 95 chances sur 100 pour que le module interannuel soit compris entre 1 440 m³/s et 1 650 m³/s.

On doit essentiellement retenir de ce calcul que l'erreur-type sur le module de KOULIKORO est de l'ordre de 7 %. Pour la plupart des autres stations étudiées la marge d'imprécision est certainement plus grande et se situe vraisemblablement entre 10 et 20 %.

Cependant, pour les stations du BANI Inférieur qui bénéficient d'une bonne régularisation naturelle, on peut admettre que la précision est équivalente à celle de KOULIKORO.

On peut encore calculer l'erreur-type de l'écart-type des lames d'eau de KOULIKORO. On trouve :

$$s' = \frac{\sigma}{\sqrt{2N}} = \frac{96,3}{\sqrt{2 \times 51}} = 9,55 \text{ mm}$$

On en déduit l'intervalle de confiance à 95 % de l'écart-type vrai :

$$\begin{aligned} & 96,3 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 19,1 \text{ mm} \\ \text{soit } & 367 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 73 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Le calcul de l'intervalle de confiance aussi bien pour la valeur moyenne que pour l'écart-type des modules, est en fait assez théorique et suppose que la succession des modules au long des années est purement aléatoire et obéit fidèlement à la loi de GAUSS. Or il n'est pas certain qu'il en soit exactement ainsi, comme on le verra au chapitre concernant l'irrégularité interannuelle.

C H A P I T R E V

Les ETIAGES

=====

Les étiages des rivières étudiées dans cette monographie sont connus avec une précision relative inférieure à celle des modules ou des crues. Cela tient en partie au fait qu'il est plus difficile de mesurer avec précision un débit de basses eaux qu'un débit moyen ou un débit de crues, en raison des vitesses généralement faibles ne permettant pas une bonne utilisation du moulinet. Il faut ajouter les variations du lit des cours d'eau qui, bien que peu importantes pour le NIGER et ses affluents, modifient de façon non négligeable les lois hauteurs-débits pour les basses eaux et dont il n'est pas toujours possible de tenir compte. (Voir en annexe "Mise à jour des données de KOULIKORO").

Ces réserves étant faites, il est néanmoins possible de dégager à partir des données d'observation les lois générales régissant les étiages et de présenter des résultats numériques significatifs.

Nous étudierons successivement le tarissement des différents bassins, la répartition statistique des étiages à KOULIKORO, les étiages des autres stations du HAUT-NIGER et du BANI. Nous tenterons enfin de tirer des études précédentes un tableau des principales valeurs concernant ces étiages.

A - ETUDE DU TARISSEMENT

Si l'on considère le tarissement comme la vidange de l'ensemble des réserves souterraines du bassin drainé par le cours d'eau, on sait que la loi de tarissement peut généralement être assimilée à une exponentielle de la forme :

$$q = q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

q_0 étant le débit pour une origine des temps arbitraire et q le débit au temps t , généralement exprimé en jours.

Cette hypothèse est justifiée en pratique si la courbe $q(t)$ tracée sur un diagramme à abscisses (t) linéaires et à ordonnées (q) logarithmiques est une droite.

On a donc tracé sur de tels diagrammes toutes les décrues observées aux diverses stations du Haut-NIGER et du BANI. Un premier examen des courbes obtenues montre que le tarissement commence au plus tard début Décembre, sauf pour le BANI Inférieur (DOUNA, BENENY-KEGNY, SOFARA) où l'on observe un décalage d'un mois (début Janvier) dû à la traversée de zones à très faible pente et inondées dont la loi de vidange est différente de celle des réserves souterraines.

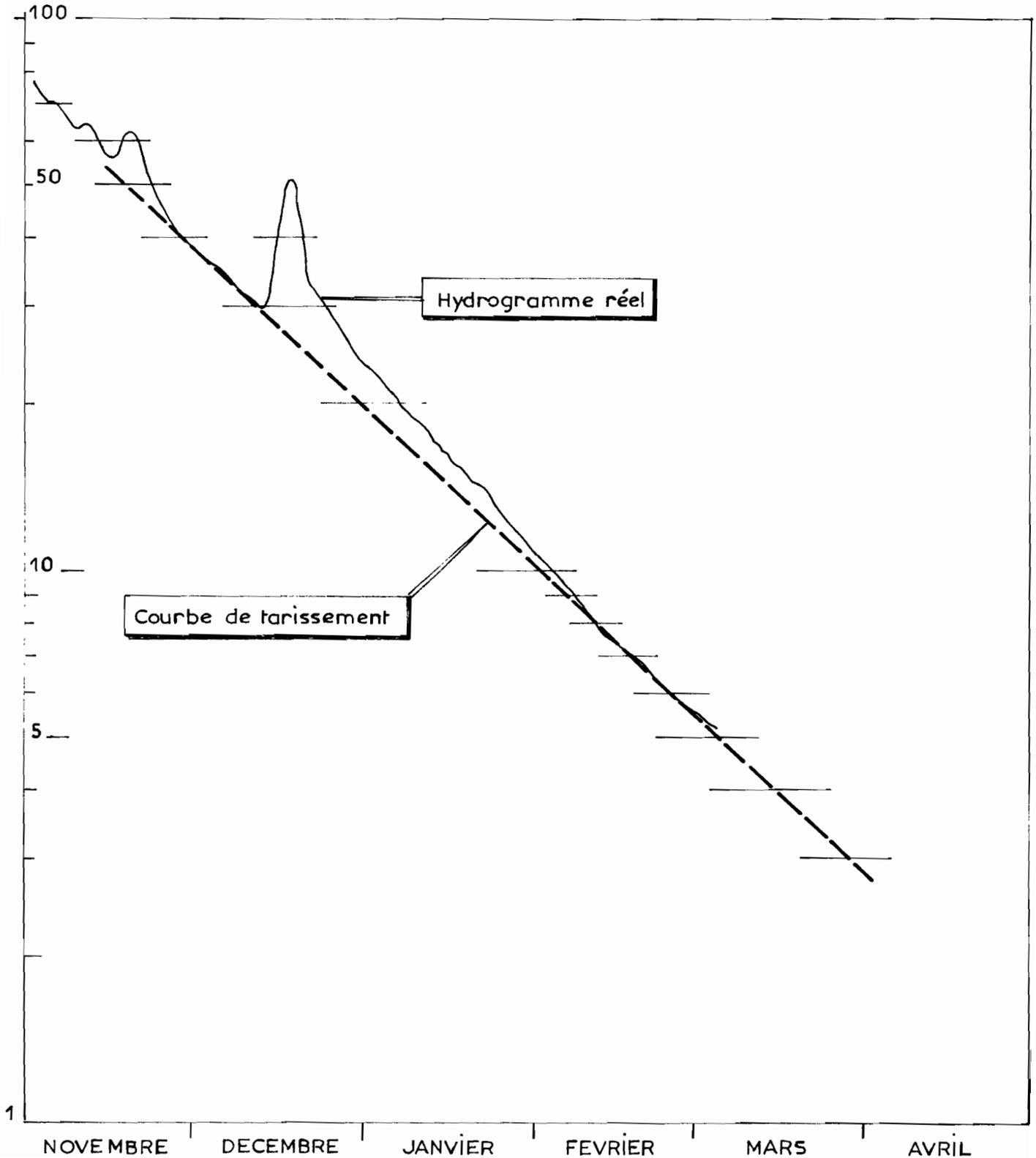
Au cours du tarissement, des pluies intéressant une partie du bassin peuvent créer des crues localisées, qui se traduisent par un "accident" généralement peu important sur la courbe $q(t)$. Ces crues n'ont que très rarement une influence sur la vidange générale des réserves et la courbe de tarissement est le plus souvent rejointe au bout d'un temps plus ou moins long, sans qu'il soit observé de décalage. Un exemple, particulièrement net, se rapportant au NIGER à FARANAH, est donné sur le graphique 27.

Les lois de tarissement, définies par la valeur du coefficient α de la formule citée précédemment, peuvent différer d'une année à l'autre. En effet, suivant la répartition spatiale des pluies dans l'année, les réserves de telle partie du bassin ont pu être favorisées par rapport à celles d'une autre zone. Le fait que les gîtes de ces réserves n'ont pas tous la même constitution géologique, en particulier la même perméabilité et qu'ils sont plus ou moins éloignés de l'exutoire, peut avoir une influence sur le tarissement général qui n'est autre qu'une somme de tarissements particuliers.

Cependant, nous avons déjà mis l'accent sur l'homogénéité relative de la pluviosité sur les bassins du NIGER Supérieur et du BANI et on peut s'attendre à ce que les différences soient faibles. C'est bien ce qui est observé et il est possible de définir un tarissement moyen caractéristique de chaque bassin. On trouvera dans le tableau X les valeurs moyennes du coefficient α . On a également porté dans ce tableau

NIGER A FARANAH (1956-57)

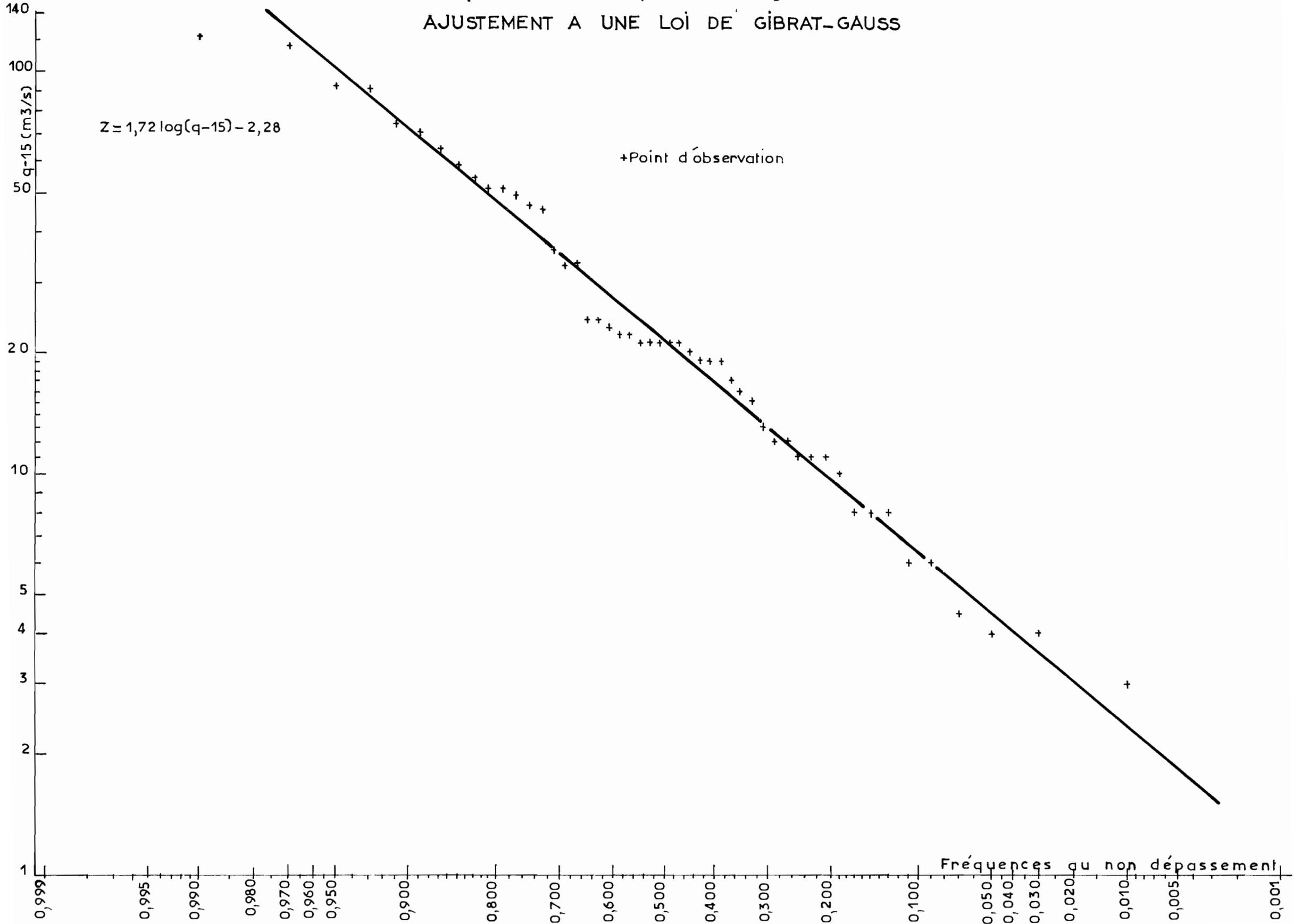
Exemple de tarissement interrompu par une crue tardive



Gr. 28

NIGER A KOULIKORO

Répartition statistique des étiages absolus
AJUSTEMENT A UNE LOI DE GIBRAT-GAUSS



les valeurs de $1/\alpha$ qui ont une signification physique plus immédiate : elles expriment en jours le temps nécessaire pour que le débit observé à un moment donné soit réduit dans le rapport $1/e$, c'est-à-dire soit divisé par 2,718.

Pour les stations du NIGER Supérieur lui-même, les résultats sont très homogènes : α reste compris entre 0,022 et 0,024. Il est légèrement plus faible pour les affluents du NIGER. La plus petite valeur ($\alpha = 0,016$) concerne le Haut-MILO à KONSANKORO dont le bassin est en partie couvert de forêt. Pour le TINKISSO on observe fin Février une augmentation assez brusque du coefficient α . S'agit-il d'un phénomène naturel ou d'une imprécision de la courbe d'étalonnage dans sa partie basse ? On ne peut actuellement trancher la question.

Le bassin supérieur du BANI, représenté par le BAULE, se présente sensiblement comme le NIGER Supérieur, avec des valeurs de α en moyenne légèrement plus fortes. Par contre, le BANI lui-même bénéficie d'une auto-régularisation due aux faibles pentes et aux zones d'épandage qui se traduit par des valeurs faibles du coefficient α , phénomène surtout sensible, ce qui est assez curieux, à BENENY-KEGNY. Il faut dire que les courbes d'étalonnage de cette station et de SOFARA sont peu précises en basses eaux.

L'apparition de l'étiage a lieu, en principe, au moment où la courbe de tarissement est interrompue par les premières pluies de l'année hydrologique suivante. Mais ces premières pluies sont le plus souvent trop faibles et surtout trop espacées pour réalimenter sérieusement les nappes. Il faut attendre un certain temps pour que les eaux commencent réellement à monter.

Il en résulte que l'on assiste en général à la fin de la saison sèche, lorsque les tornades isolées commencent à se faire sentir, à une série de petites crues en dents de scies tandis que les réserves continuent à se vider. Ce phénomène est observé le plus fréquemment en Mars et Avril.

TABLEAU X

Valeurs moyennes du
coefficient de tarissement.

	α	$1/\alpha$ (jours)
<u>NIGER</u>		
NIGER à FARANAH	0,022	45,5
NIGER à KOUROUSSA	0,023	43,5
NIGER à DIALAKORO	0,022	45,5
NIGER à SIGUIRI	0,022	45,5
NIGER à KOULIKORG	0,024	41,5
NIANDAN à BARO	0,021	47,5
MILO à KONSANKORO	0,016	62,5
MILO à KANKAN	0,019	52,5
SANKARANI à MANDIANA	0,017	59
SANKARANI à GOUALA	0,020	50
TINKISSO à TINKISSO	0,017 - 0,032	59 - 31
<u>BANI</u>		
BAOULE à BOUGOUNI	0,025	40
BAOULE à DIOILA	0,024	41,5
BAGOE à PANKOUROU	-	-
BANI à DOUNA	0,018	55,5
BANI à BENENY-KEGNY	0,014	71,5
BANI à SOFARA	0,014	71,5

Les apports météoriques et les écoulements commencent à s'équilibrer en Mai, compte tenu des pertes par évaporation. Il en résulte que les étiages absolus ont lieu le plus souvent fin Avril - début Mai.

La rigueur d'un étiage dépend, d'une part, de l'ampleur de la crue annuelle précédente et de son caractère précoce ou tardif et, d'autre part, de la date des premières grosses précipitations de la saison des pluies suivantes.

B - ETUDE STATISTIQUE des ETIAGES ABSOLUS à la STATION de KOULIKORO.

Le classement des étiages absolus du NIGER à KOULIKORO figure sur le tableau XI avec indication des fréquences de non dépassement calculées par la formule :

$$F = \frac{n - 0,5}{N}$$

La loi de distribution statistique doit tenir compte d'une borne inférieure généralement non nulle et d'une certaine dissymétrie qui apparaît immédiatement à l'examen du tableau X. La loi de GIBRAT-GAUSS paraît bien convenir. Rappelons qu'elle suppose que la variable Z définie par l'équation :

$$Z = a \log (q - q_0) + b$$

obéit à la loi normale de GAUSS : $F(q) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} . dz$

Les trois paramètres a, q₀ et b peuvent être déterminés avec une approximation suffisante par un ajustement graphique, on trouve :

$$\begin{aligned} a &= 1,72 \\ q_0 &= 15 \text{ m}^3/\text{s} \\ b &= - 2,28 \end{aligned}$$

TABLEAU XINIGER à KOULIKORO

Etiages absolus classés
(Débits en m³/s)

N°	Fréquences	Débits	N°	Fréquences	Débits
1	0,01	18	26	0,51	36
2	0,03	19	27	0,53	36
3	0,05	19	28	0,55	36
4	0,07	19,5	29	0,57	37
5	0,09	21	30	0,59	37
6	0,11	21	31	0,61	38
7	0,13	23	32	0,63	39
8	0,15	23	33	0,65	39
9	0,17	23	34	0,67	48
10	0,19	25	35	0,69	48
11	0,21	26	36	0,71	51
12	0,23	26	37	0,73	60
13	0,25	26	38	0,75	61
14	0,27	27	39	0,77	64
15	0,29	27	40	0,79	66
16	0,31	28	41	0,81	66
17	0,33	30	42	0,83	69
18	0,35	31	43	0,85	73
19	0,37	32	44	0,87	78
20	0,39	34	45	0,89	85
21	0,41	34	46	0,91	89
22	0,43	34	47	0,93	105
23	0,45	35	48	0,95	107
24	0,47	36	49	0,97	130
25	0,49	36	50	0,99	137

La courbe correspondante ainsi que les fréquences observées sont portées sur le graphique 28 établi en coordonnées gaucco-logarithmiques, de façon que la courbe calculée soit une droite. On déduit de cet ajustement les valeurs suivantes :

Débit d'étiage absolu médian	=	36 m3/s
Débit d'étiage absolu décennal (1er décile)	=	21 m3/s
Débit d'étiage absolu décennal (dernier décile)	=	85 m3/s

C - ETIAGES ABSOLUS des AFFLUENTS du NIGER SUPERIEUR et du BANI

Nous avons écrit au paragraphe A que la sévérité de l'étiage dépend entre autres de la précocité de la saison des pluies suivante. L'influence est certaine, mais si l'on tient compte du fait qu'il faut des pluies assez importantes pour interrompre définitivement le tarissement, les dates d'arrivée de ces pluies, qui ne sont plus des tornades très espacées, sont à peu près les mêmes, pour une année donnée, sur la totalité du bassin du NIGER Supérieur. Si l'on ajoute que, pour les différents bassins partiels, les hydraulicités de la saison des pluies précédant l'étiage considéré ont été sensiblement les mêmes (homogénéité des pluviosités), il est naturel de penser qu'il existe une corrélation assez étroite entre les étiages absolus aux stations correspondantes.

La mise en graphique des étiages absolus aux différentes stations du NIGER Supérieur et de ses affluents corrobore ce point de vue. On peut même adopter une représentation linéaire passant par l'origine, ce qui entraîne des répartitions statistiques analogues. Les éléments statistiques calculés pour KOULIKORO peuvent donc être utilisés pour déterminer les éléments homologues des autres stations.

Le rapport entre les débits d'étiages à une station considérée et les mêmes débits d'étiage à KOULIKORO admet les valeurs suivantes :

NIGER à KOUROUSSA	=	0,14
NIGER à DIALAKORO	=	0,75

NIANDAN à BARO	=	0,24
MILO à KONSANKORO	=	0,06
MILO à KANKAN	=	0,23
SANKARANI à MANDIANA	=	0,31
SANKARANI à GOUALA	=	0,27

On trouvera dans le tableau XII les débits d'étiages absolus, en valeurs réelles et en valeurs spécifiques, que l'on peut en déduire approximativement.

Les valeurs ainsi déterminées sont bien inférieures à celles qui se dégagent à première vue des observations. C'est que celles-ci portent sur une période pendant laquelle les étiages ont été particulièrement élevés ainsi que le montrent les observations relatives à KOULIKORO. Un calcul statistique basé sur les seules valeurs observées conduirait à des résultats complètement aberrants même pour le NIANDAN et pour le MILO. En ce qui concerne le TINKISSO, les mesures de basses eaux sont trop imprécises pour que l'on puisse en tirer des renseignements valables.

Pour le BANI, les estimations sont beaucoup plus difficiles. D'une part, les relations $Q(H)$ en basses eaux sont assez mal connues, sauf à DOUNA. D'autre part, il n'est plus question de se rattacher à KOULIKORO pour augmenter la grandeur d'un échantillonnage insuffisant.

En fait, le problème est plus compliqué que pour le Haut-NIGER limité à KOULIKORO et il faut distinguer trois parties nettement distinctes.

a) La BAGOE, jusqu'à PANKOUROU, et le BAULE, presque jusqu'à DIOILA, drainent une aire essentiellement granitique (antécambrien) ou schisto-quartzitique (précambrien). Ces deux bassins d'alimentation du BANI doivent fonctionner du point de vue réserves, à peu près de la même façon que le bassin du NIGER Supérieur avec toutefois deux différences essentielles : pentes plus faibles des versants et du lit des cours d'eau, arrosage moins abondant. La pluviométrie décroît notablement du Sud au Nord et l'évaporation s'accroît avec l'élévation de la

température moyenne et du déficit hygrométrique avec la latitude, phénomène surtout sensible en saison sèche au moment de l'étiage. Il résulte de ces remarques que les débits absolus d'étiage vont croître de la tête du bassin vers l'aval jusqu'à un maximum, puis décroître. La position du maximum et sa valeur seront fixées chaque année par le jeu des facteurs pluviosité et évaporation.

Pour le BAOULE qui coule dans la zone granitique presque jusqu'au confluent, le débit parvient à s'annuler pratiquement certaines années. Il ne semble pas qu'il en soit ainsi de la BAGOE, réalimentée après PANKOUROU par les réserves de la zone gréseuse. Le tarissement total du Bas-BAOULE dénote une influence tropicale pure.

b) La partie inférieure de la BAGOE, le grand BANIFING et le cours supérieur du BANI bénéficient des réserves de la zone gréseuse, plus importantes. La valeur des étiages remonte nettement, ainsi qu'en témoignent les relevés de DOUNA.

c) Puis viennent les profondes alluvions qui annoncent la cuvette lacustre. Le cours du BANI draine à la fois les réserves de la zone gréseuse et de la zone alluvionnaire. Au début, les débits d'étiage croissent d'amont en aval. Ensuite, l'évaporation, activée par la présence de marécages permanents, n'est plus compensée par les apports des nappes et les débits d'étiage décroissent à nouveau jusqu'au confluent.

On conçoit, d'après cet exposé, qu'il soit pratiquement impossible, en l'absence de relevés effectués sur de longues périodes, de dégager des valeurs statistiques pour les branches BAGOE et BAOULE.

Sur le cours même du BANI, on peut se montrer plus optimiste, par suite de la régularisation due aux nappes alluvionnaires et aux réserves de la zone gréseuse.

Un ajustement de GIBRAT-GAUSS aux 17 étiages absolus observés à DOUNA conduit à la relation suivante :

$$z = - 7,75 \log (q + 20) + 12,83$$

On peut, par ailleurs, établir une corrélation assez étroite entre les étiages absolus observés à BENENY-KEGNY et SOFARA, d'une part, et DOUNA, d'autre part (voir graphique 29). On en a déduit les valeurs qui figurent au tableau XII.

CORRELATIONS ÉTIAGES DOUNA / BENENY-KEGNY

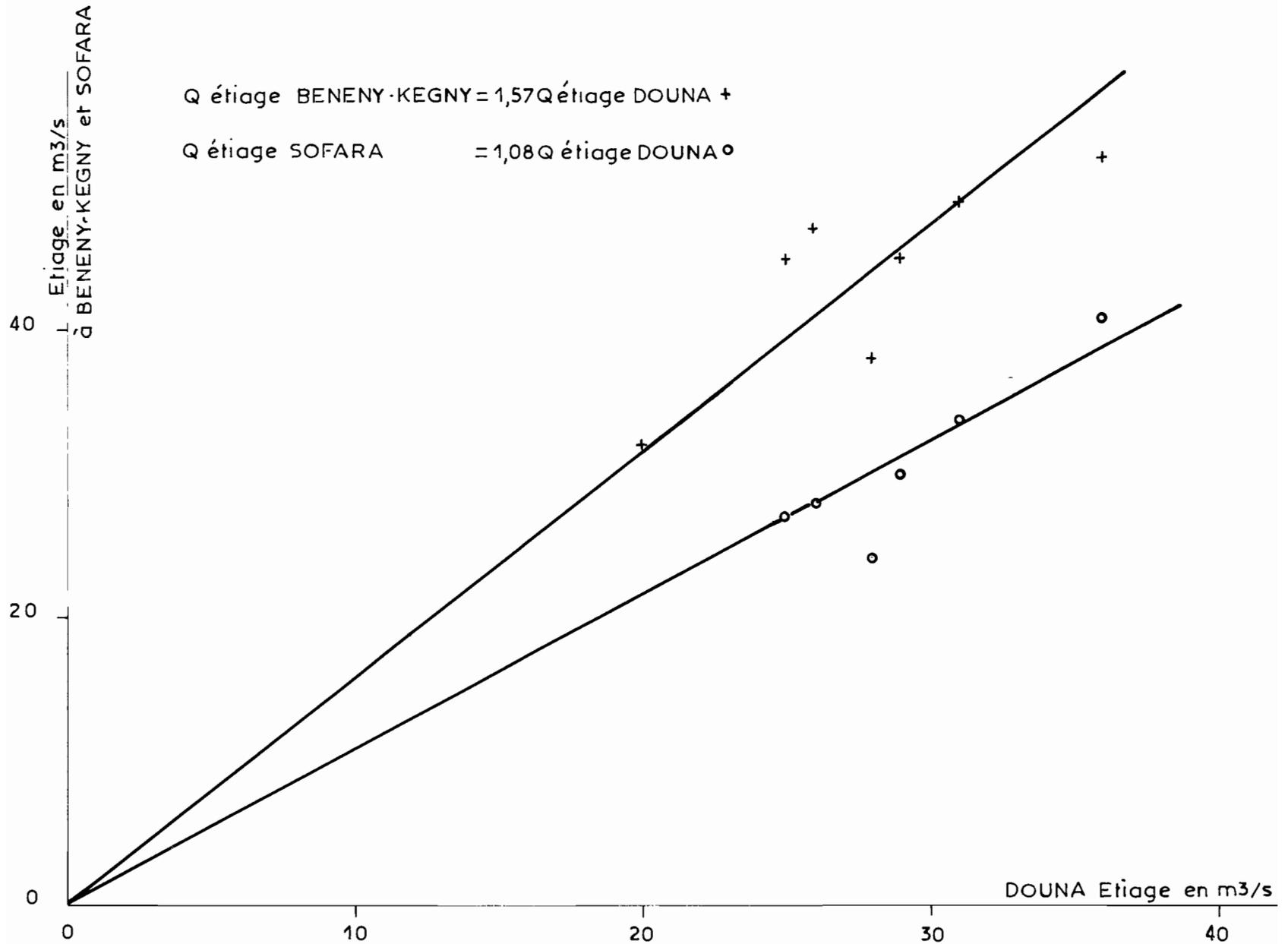


TABLEAU XII

Evaluation approximative des étiages absolus

Station	Débits réels (m ³ /s)			Débits spécifiques (l/s.km ²)		
	Valeur médiane	Premier décile	Dernier décile	Valeur médiane	Premier décile	Dernier décile
<u>NIGER</u> à KOUROUSSA	5	3	12	0,28	0,17	0,67
DIALAKORO	27	15,5	64	0,38	0,22	0,90
KOULIKORO	<u>36</u>	<u>21</u>	<u>85</u>	0,30	0,17	0,71
<u>NIANDAN</u> à BARO	8,5	5	20,5	0,67	0,40	1,6
<u>MILO</u> à KONSANKORO	2	1	5	2	1	5
KANKAN	8	5	19,5	0,8	0,5	2
<u>SANKARANI</u> à MANDIANA	11	6,5	26	0,5	0,3	1,2
GOUALA	9,5	5,5	23	0,27	0,15	0,28
<u>BANI</u> à DOUNA	25	14	-	0,25	0,14	-
BENENY-KEGNY	39	22	-	0,34	0,19	-
SOFARA	27	15	-	0,21	0,12	-

C H A P I T R E VI

Les CRUES * (1)

A - GENERALITES

Dans ce chapitre, nous étudierons en réalité les maximums annuels et non les crues dans toute leur complexité. Par maximum annuel, nous entendons le débit le plus fort observé au cours de l'année ; ce n'est pas en général le véritable maximum puisque les observations ne sont effectuées qu'une fois par jour. Cependant, pour un grand bassin, les valeurs maximales réelles et observées sont très voisines, parfois confondues. Pour un bassin plus petit, inférieur par exemple à 20 000 km², on peut espérer que le maximum observé représente, en moyenne, le débit moyen journalier le plus fort.

L'expérience montre que ces approximations sont parfaitement admissibles, pour le NIGER, fleuve tropical de transition d'abondance modérée dont les crues ne sont pas très brutales.

Par ailleurs, les crues qui se produisent au cours d'une même saison des pluies, se succèdent sans qu'il y ait dans l'intervalle l'amorce d'un tarissement véritable. Il n'est donc pas indiqué de prendre en compte, pour l'étude statistique, toutes ou même quelques-unes des différentes pointes de crues observées durant l'année, car elles ne sont pas indépendantes les unes des autres.

Ici encore, la station de KOULIKORO, observée pendant 51 ans, servira de base à l'étude statistique. Sur les autres stations du Haut-NIGER et du BANI, l'extension des données expérimentales est plus délicate que pour les modules, la pluviométrie étant trop imprécise et l'étude analytique trop peu poussée pour nous rendre un quelconque service.

* (1) A signaler un article de G. JACCON, postérieur à la rédaction de ce chapitre, sur "La Crue Exceptionnelle du NIGER en 1967" (Cahiers ORSTOM N° 1 - 1968).
Voir aussi en annexe "Mise à jour des données de KOULIKORO".

Dans ce chapitre, on étudiera successivement :

- l'éventualité des crues, c'est-à-dire la répartition de leur fréquence d'apparition au cours de la saison des pluies.
- les débits maximaux du NIGER à KOULIKORO.
- les crues des autres stations du NIGER Supérieur et de ses affluents.
- les crues du BANI.
- un essai de généralisation des résultats précédents.

B - EVENTUALITES DES CRUES DU NIGER SUPERIEUR ET DU BANI -

Le régime tropical nord détermine les limites d'une période en dehors de laquelle nous savons à priori que le maximum annuel ne peut pas avoir lieu. Ces limites sont fixées par le déplacement apparent du soleil et par suite du Front Intertropical, ce sont approximativement le 15 Juillet et le 30 Novembre.

Nous nous proposons de préciser ces limites pour le cas particulier du NIGER et du BANI et surtout d'étudier sommairement la répartition des fréquences d'apparition des maximums, à l'intérieur de cette période.

Pour chaque station limnimétrique, on a dressé le répertoire du nombre de maximums observés pendant chaque décade de la saison des pluies. Les résultats sont réunis sur le tableau XIII. La colonne "Août" se rapporte, en principe, à la dernière décade de ce mois ; nous n'avons pas précisé l'intervalle parce qu'en réalité une ou deux crues sont intervenues au cours de la seconde décade.

L'examen du tableau XIII montre qu'aucune très forte crue ne s'est produite sur les affluents du Haut-NIGER avant le mois d'Août. Seuls sont affectés par les maximums d'Août, les cours d'eau issus de la GUINEE forestière.

Sur le BANI et ses deux branches mères principales, les maximums se produisent au plus tôt pendant la seconde décade de septembre. Nous mettons à part, comme fortement suspect, le maximum qui se serait produit en Août 1955, à la station de DIOILA, sur le BAOULE.

TABLEAU XIII

BASSINS DU NIGER SUPERIEUR ET DU BANI

Eventualités des maximums annuels aux différentes stations

Stations	Durée de référence	Août	septembre			octobre			novembre		
			1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30
<u>NIGER</u>											
NIGER à FARANAH	3 ans				1	1	1				
NIGER à KOUROUSSA	15 ans		1	3	6	3		1		1	
NIGER à DIALAKORO	6 ans		1	1	2	2					
NIGER à KOULIKORO	51 ans		2	11	17	15	5			1	
NIANDAN à BARO	11 ans	2	3	3	2				1		
MILO à KONSANKORO	3 ans			2	1						
MILO à KANKAN	17 ans	4	3	1	5	3		1			
SANKARANI à MANDIANA	4 ans	1		1	1					1	
SANKARANI à GOUALA	4 ans			2	1	1					
TINKISSO à TINKISSO	3 ans				3						
<u>BANI</u>											
BAOULE à BOUGOUNI	2 ans				1	1					
BAOULE à DIOILA	5 ans	1		1	2		1				
BAGOE à PANKOUROU	2 ans				1	1					
BANI à DOUNA	18 ans			1	8	3	4	2			
BANI à BEN. KEGNY	7 ans					1	3	2	1		
BANI à SOFARA	6 ans						1	2	1	1	1

Enfin, les maximums peuvent se produire au plus tard, tant pour le NIGER que pour le BANI, durant la seconde décade de novembre. Les crues très tardives du BANI à SOFARA et à BENENY-KEGNY sont dues à la propagation lente des crues sur cette rivière, à l'aval de DOUNA (zones d'inondation, pentes très faibles). Il est probable qu'avec une période d'observation plus longue on aurait enregistré, à ces deux stations, des maximums durant la troisième décade de novembre et sans doute même en décembre.

En résumé, les dates extrêmes d'apparition des maximums annuels sont les suivantes :

- Pour le NIGER Supérieur et le TINKISSO = 1er septembre et 20 novembre.
- Pour les affluents de rive droite du NIGER Supérieur = 10 Août et 20 novembre.
- Pour le BANI jusqu'à DOUNA = 10 septembre et 20 novembre.

Le tableau XIV a été établi en considérant non plus tous les cours d'eau un par un, mais en les groupant par régions géographiques relativement homogènes. On obtient de cette façon une simplification appréciable. Les chiffres indiqués dans les différentes colonnes se rapportent, d'une part, aux nombres de maximums observés pendant la période de l'année portée en tête de colonne, d'autre part, aux pourcentages que représentent ces nombres par rapport au nombre total d'observations indiqué dans la seconde colonne du tableau. On peut ainsi noter que :

- Pour le NIGER Supérieur, ses affluents et le BANI jusqu'à DOUNA, la fréquence maximale d'apparition des crues annuelles se situe pendant la troisième décade de septembre.

Malgré cette simultanéité des fréquences maximales, les distributions statistiques dans le temps sont loin d'être semblables pour les trois régions précitées. En fait, les maximums annuels des affluents rive droite du Haut-NIGER (venant de GUINEE forestière) ont des fréquences d'apparition beaucoup plus étalées : les chances qu'ils ont de se produire pendant la seconde ou la troisième décade de septembre sont sensiblement égales. Les éventualités d'août et de la première décade de septembre sont loin d'être négligeables.

TABLEAU XIV

BASSINS DU NIGER SUPERIEUR ET DU BANI

Eventualités des maximums annuels dans les différentes régions du bassin

Bassins	Durée de référence	Août	Septembre			Octobre			Novembre		
			1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30
Affluent rive droite du NIGER	39 ans	7 18%	6 15,4%	9 23%	10 <u>25,5%</u>	4 10,3%		1 2,6%	1 2,6%	1 2,6%	
NIGER et TINKISSO	78 ans		4 5,1%	15 19,2%	29 <u>37,2%</u>	21 26,9%	6 7,7%	1 1,3%		2 2,6%	
BANI jusqu'à DOUNA	27 ans	1 3,7%	-	2 7,4%	12 <u>44,5%</u>	5 18,5%	5 18,5%	2 7,4%			
BANI inférieur	13 ans					1 7,7%	4 30,8%	4 30,8%	2 15,4%	1 7,7%	1 7,7%

Pour le NIGER Supérieur et le TINKISSO, la répartition des fréquences présente une pointe nette dans la troisième décade de septembre. Les maximums sont en moyenne un peu plus tardifs que pour le groupe précédent et se produisent assez fréquemment dans la première décade d'octobre.

Sur le BANI Supérieur la répartition des fréquences devient encore plus aigüe, tout en débordant plus largement sur le mois d'octobre.

Sur le BANI Inférieur (BENENY -KEGNY et SOFARA) la répartition des fréquences présente une pointe assez nette dans les deux dernières décades d'octobre et s'étale sur une bonne partie du mois de novembre.

Le tableau XIV a permis de construire les histogrammes du graphique 30.

C - ETUDE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE A KOULIKORO -

On dispose, à la station de KOULIKORO, d'un échantillon de 58 débits maximaux annuels qui figurent, classés par ordre décroissant, sur le tableau XV. Les fréquences portées dans la deuxième colonne sont des fréquences naturelles de dépassement calculées d'après le numéro de classement n suivant

la formule $F_1 = \frac{n-1/2}{N}$.

Cet échantillon sera étudié tel quel, quitte par la suite à faire des réserves concernant certaines valeurs. Après application de la plupart des lois actuellement utilisées pour représenter la répartition statistique des crues, nous avons retenu :

- la loi de GOODRICH
- la loi de GIBRAT-GAUSS
- la loi III de PEARSON.

Rappelons brièvement la forme de ces diverses lois :

1°) la loi de GOODRICH est généralement donnée sous la forme :

$$q(T) = \alpha [1 + \beta (\log T)^n]$$

Bassin du NIGER SUPÉRIEUR et du BANI

Répartition au cours de la saison des pluies pour différentes régions
des fréquences d'apparition des maxima annuels (intervalles de 10 jours)

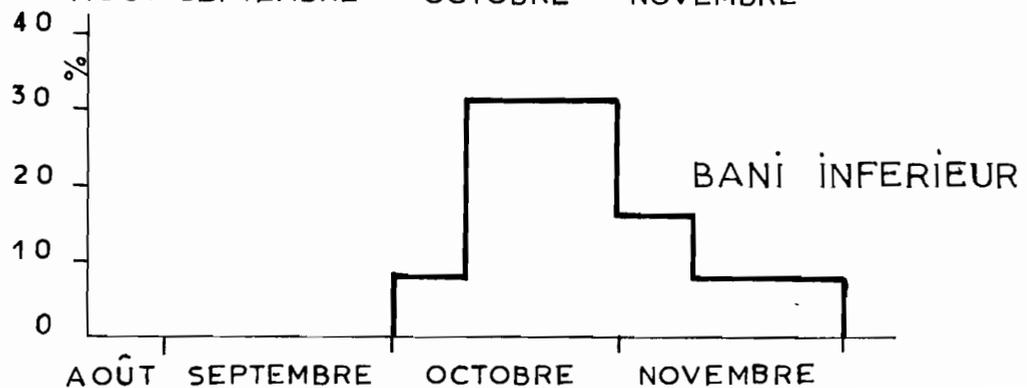
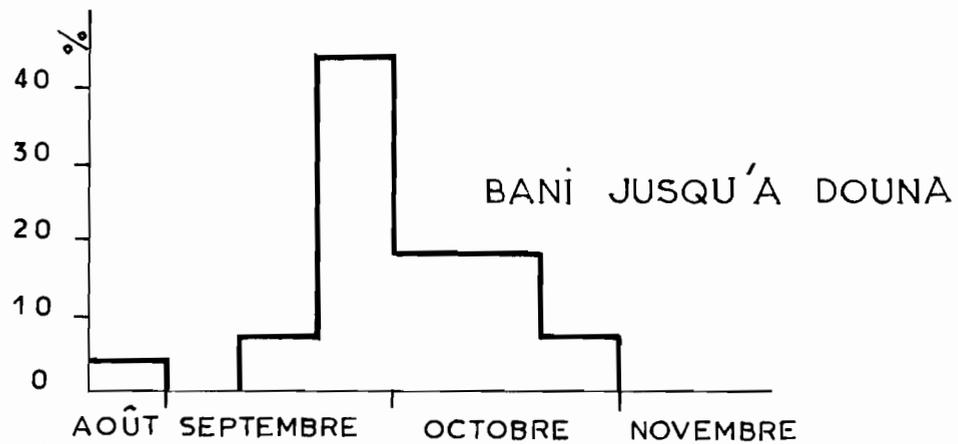
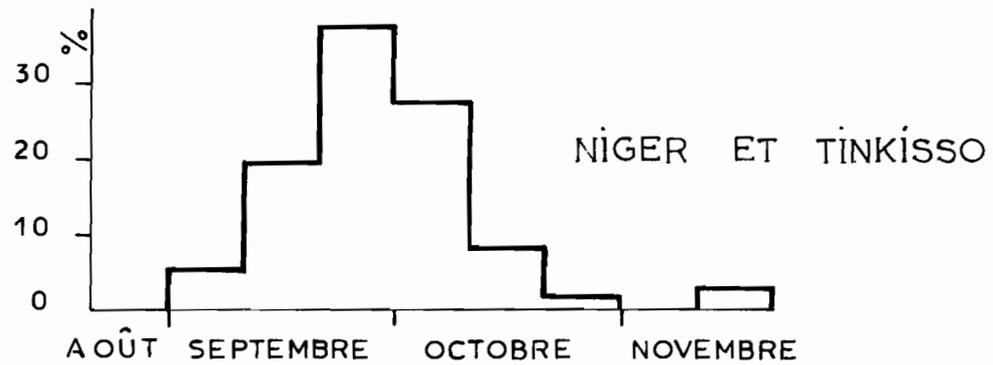
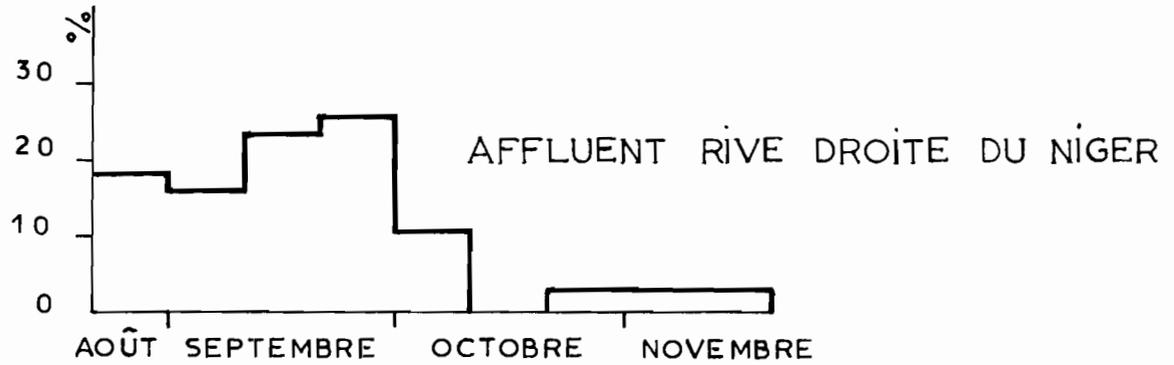


TABLEAU XV

NIGER à KOULIKORO

Classement des débits maximaux annuels
observés de 1907 à 1964

N°	Fréquence dépassement	Débits m ³ /s	N°	Fréquence dépassement	Débits m ³ /s	N°	Fréquence dépassement	Débits m ³ /s
1	0,00862	9 700	21	0,35344	6 740	41	0,69826	5 580
2	0,02586	9 500	22	0,37068	6 740	42	0,71550	5 505
3	0,04310	8 840	23	0,38792	6 540	43	0,37274	5 375
4	0,06034	8 740	24	0,40516	6 480	44	0,74998	5 375
5	0,07758	7 740	25	0,42240	6 440	45	0,76722	5 285
6	0,09483	7 640	26	0,43965	6 440	46	0,78445	5 240
7	0,11206	7 610	27	0,45689	6 420	47	0,80171	5 220
8	0,12931	7 610	28	0,47413	6 380	48	0,81895	5 180
9	0,14655	7 560	29	0,49137	6 360	49	0,83619	5 100
10	0,16379	7 455	30	0,50861	6 320	50	0,85343	4 980
11	0,18103	7 400	31	0,52585	6 280	51	0,87067	4 980
12	0,19827	7 220	32	0,54309	6 220	52	0,88791	4 920
13	0,21551	7 020	33	0,56039	6 210	53	0,90515	4 920
14	0,23275	6 980	34	0,57757	6 170	54	0,92240	4 830
15	0,24999	6 980	35	0,59481	6 000	55	0,93963	4 467
16	0,26724	6 960	36	0,61205	5 910	56	0,95688	4 290
17	0,28448	6 940	37	0,62929	5 790	57	0,97412	4 010
18	0,30172	6 900	38	0,64654	5 670	58	0,991357	3 645
19	0,31896	6 840	39	0,66378	5 620			
20	0,33620	6 840	40	0,68102	5 610			

où q représente le débit maximal de crue dont la période de retour est en moyenne égale à T années. Elle peut s'écrire sous une autre forme faisant apparaître la fréquence de dépassement du débit q :

$$F_1 (q) = e^{-A (q-\alpha)^{1/n}}$$

avec $A = 2,302 (\alpha/\beta)^{-1/n}$

2°) La loi de GIBRAT-GAUSS s'exprime par les deux équations :

$$F_1 (q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

$$u = a \log (q - q_0) + b$$

3°) La loi III de PEARSON définit la fréquence de non-dépassement comme suit :

$$F (q) = \frac{a \gamma}{\Gamma(\gamma)} \int_0^q e^{-aq} q^{\gamma-1} dq$$

Le calcul des paramètres qui interviennent dans ces trois lois conduit aux résultats numériques suivants :

GOODRICH	GIBRAT-GAUSS	PEARSON III
$\alpha = 3\,910$ $A = 1,467 \times 10^{-7}$ $n = 0,502$	$a = 14,10$ $b = -54,66$ $q_0 = 1\,300 \text{ m}^3/\text{s}$	$a = 4,095 \times 10^{-3}$ $\gamma = 25,82$

Il est alors possible de déterminer les débits de crue de fréquences rares. On aboutit aux données qui suivent :

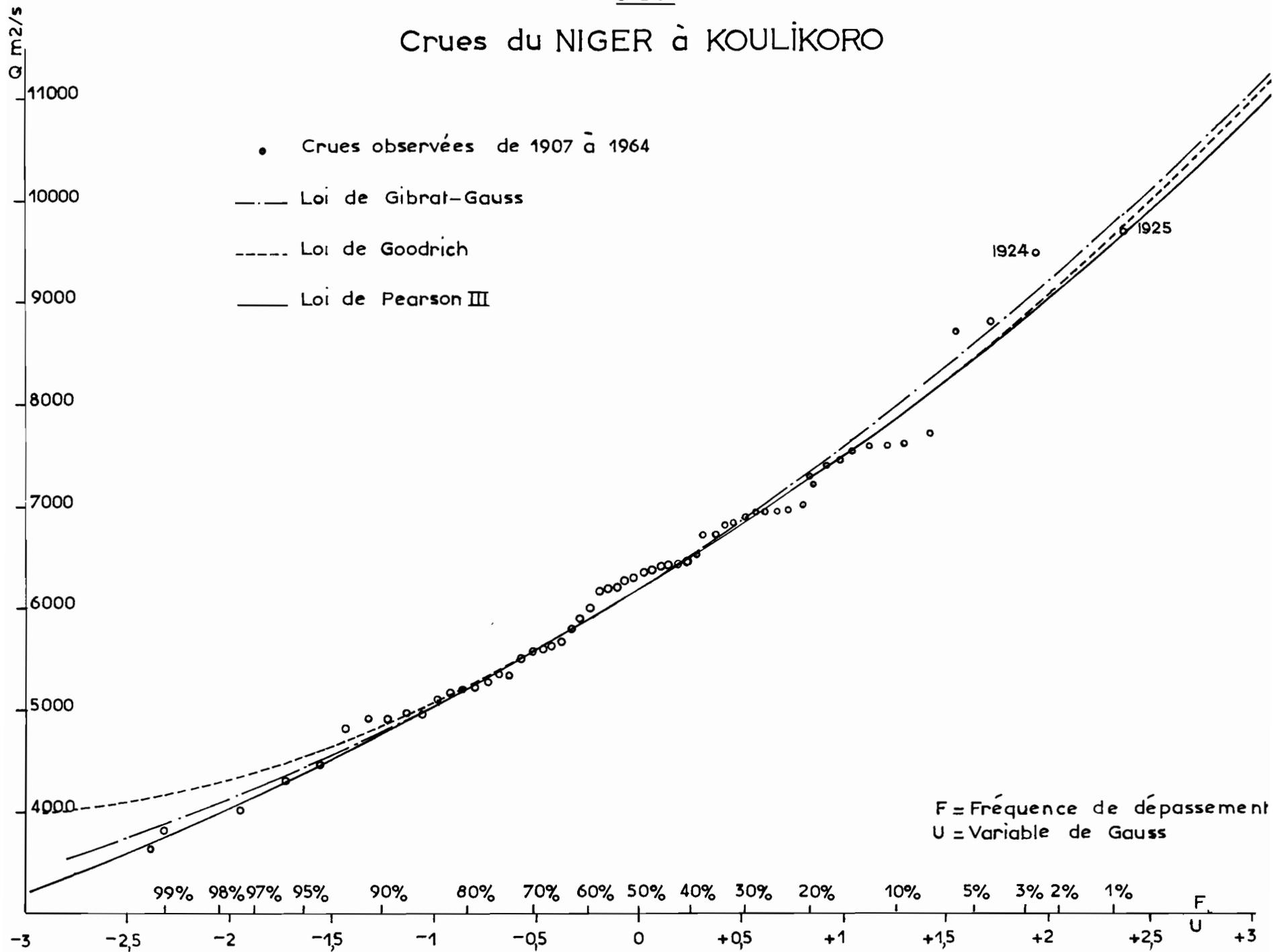
	GOODRICH	GIBRAT-GAUSS	PEARSON III
Crue décennale	8 020 m ³ /s	7 950 m ³ /s	7 880 m ³ /s
Crue centenaire	9 730 "	9 670 "	9 680 "
Crue millénaire	11 040 "	11 130 "	10 850 "

On constate que les trois lois conduisent à des résultats très voisins ; l'écart de 280 m³/s entre les crues millénaires données par les lois de GIBRAT-GAUSS et de PEARSON ne peut pas être considéré comme significatif.

Sur le graphique 31, on a porté en échelle gaussique la fréquence des crues observées en fonction de leur débit, d'après les données du tableau XV. On a également tracé les trois courbes correspondant aux lois de fréquence théoriques adoptées. Graphiquement l'ajustement de ces lois paraît dans l'ensemble satisfaisant, ce que confirme d'ailleurs l'application du test χ^2 sur lequel nous ne nous étendrons pas.

On remarquera que les deux plus fortes crues se sont produites consécutivement en 1924 et en 1925. Ce fait, qui est sans doute dû à un certain phénomène de "persistance", montre bien les erreurs d'échantillonnage grossières auxquelles peuvent conduire des périodes d'observation trop courtes. Les fréquences, qui ont été attribuées dans le tableau XV à ces deux crues, ne donnent d'ailleurs qu'un simple ordre de grandeur et l'on ne doit donc pas leur accorder trop d'importance pour l'extrapolation des crues exceptionnelles. Ajoutons que certains indices donnent à penser que les débits maximaux de 1924 et 1925 ont été un peu surestimés.

Crues du NIGER à KOULIKORO



En définitive, nous adopterons pour les crues exceptionnelles les valeurs suivantes :

Crue décennale : 8 000 m³/s
Crue centenaire : 9 700 m³/s
Crue millénaire : 11 000 m³/s

On remarquera sur le graphique gaussien-linéaire n° 31 que les courbes d'ajustement ont leur concavité tournée vers le haut, ce qui est le cas le plus fréquent. On peut dire que le régime des crues est "hyper-gaussien", par opposition au régime "hypo-gaussien" (concavité tournée vers le bas) que l'on rencontre sur certains cours d'eau ayant des crues fortement amorties par la présence de vastes plaines de débordement.

D - ETUDE DES CRUES AUX AUTRES STATIONS DES BASSINS DU NIGER SUPERIEUR ET DU BANI -

Pour la plupart des stations l'échantillon des crues observées est trop réduit pour permettre une étude statistique directe. Les corrélations entre débits de crues et précipitations ne peuvent pas non plus être établies avec une précision suffisante pour être exploitables. Il a donc été nécessaire de chercher une autre voie d'approche.

Lorsque le bassin versant d'une station a une certaine étendue, on a constaté qu'il existait une forte corrélation entre les débits maximaux annuels et les modules.

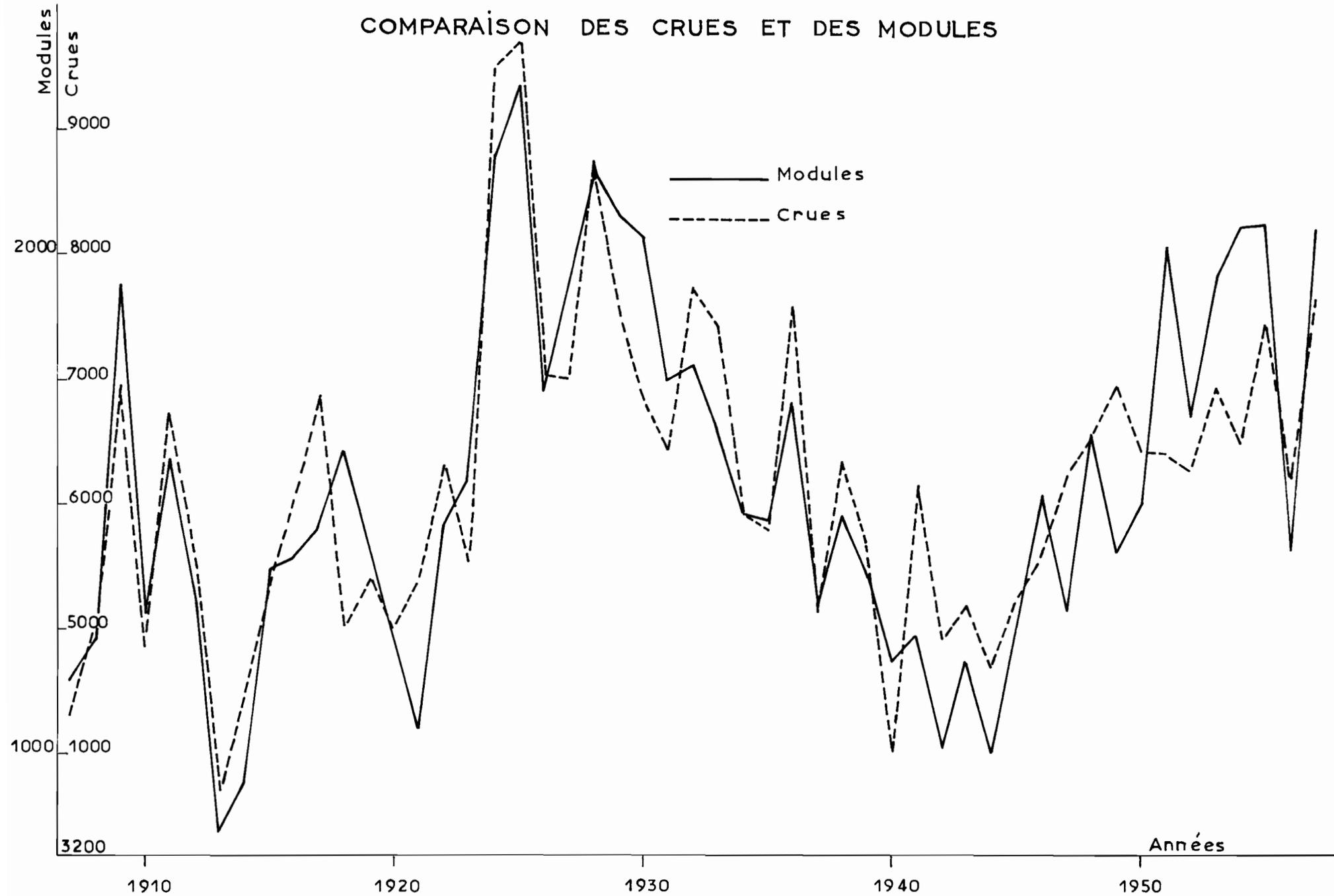
Le graphique 32 montre ce qu'il en est pour le NIGER à ~~AKOULIKORO~~. Des graphiques analogues ont été établis pour toutes les stations du NIGER Supérieur et du BANI. L'examen de ces graphiques montre qu'on peut tenter d'appliquer ces corrélations à des bassins supérieurs à 12 000 km² environ.

L'étude peut donc être envisagée pour le NIANDAN à BARO, mais non pour le MILO à KANKAN. Heureusement, on possède pour cette station un échantillonnage de crues qui permet de dégrossir convenablement le problème des crues exceptionnelles.

Gr. 32

NIGER A KOULIKORO

COMPARAISON DES CRUES ET DES MODULES



Etant donné que nous avons déjà établi la répartition statistique des modules, il est clair que la connaissance des corrélations crues-modules nous fournira immédiatement la répartition statistique des crues. L'étude des crues à la station de KOULIKORO nous a conduits à trois types de lois de fréquence également acceptables. On peut estimer que les crues des cours d'eau drainant des bassins de surfaces supérieures à 12 000 km² suivront des lois analogues. Puisqu'on a le choix, il est préférable de choisir la forme analytique qui facilitera le plus les calculs, c'est-à-dire la loi de GIBRAT-GAUSS. En effet, l'utilisation de cette loi conduit à admettre, puisque les modules ont une répartition gaussienne, une courbe de régression de forme logarithmique entre crues et modules et le passage de la répartition des modules à celle des crues se fera par un simple changement de variable.

Si on désigne par :

q le module d'une année donnée à une station donnée

Q le débit de crue pour la même année et la même station

on peut écrire :

$$u = \frac{q - \bar{q}}{\sigma} = a \log (Q - Q_0) + b$$

L'ajustement des paramètres a, Q₀ et B a été fait graphiquement. On a déterminé par tâtonnements la valeur de Q₀ jusqu'à ce que les points représentatifs de q en fonction de log (Q - Q₀) soient sensiblement alignés. On trouvera ci-dessous les valeurs obtenues pour ces paramètres :

Station	a	Q ₀	b
NIGER à KOUROUSSA	7,05	0	- 21,365
" à DIALAKORO	5,42	2 500	- 17,55
NIANDAN à BARO	5,73	350	- 16,32
SANKARANI à MANDIANA	16,22	0	- 49,22
" à GOUALA	1,96	1 300	- 4,50
BAOULE à DIOILA	1,48	700	- 3,17
" à DOUNA	14,5	- 1 500	- 52,3
BANI à BENENY-KEGNY	15,2	0	- 50,7
" à SOFARA	24,23	0	- 76,85

Connaissant la loi de répartition statistique des crues, on est en mesure de calculer le débit de n'importe quelle crue de fréquence donnée. Les valeurs que l'on obtient pour les crues décennales, centenaires et millénaires ont été rassemblées dans les tableaux XVI et XVII. On notera que ces valeurs sont loin d'avoir toutes la même précision. Quelques-unes sont assez incertaines et ont été portées entre parenthèses. D'autres sont encore moins sûres et ne donnent qu'un simple ordre de grandeur ; elles ont été inscrites entre doubles parenthèses.

Pour la station du MILO à KANKAN, on a procédé à une étude directe de la répartition statistique des crues qui est représentée par le graphique 33.

Pour quelques stations observées depuis peu de temps, on a pu donner un ordre de grandeur de la crue décennale, en se basant sur le fait que les crues de 1955 et 1957 ont été fortes partout et qu'au moins l'une des deux a dépassé la crue décennale à toutes les stations assez bien connues.

E - GENERALISATION DES RESULTATS -

Nous commencerons par étudier les variations des crues décennales, qui sont les mieux connues, en fonction de la surface des bassins versants. Nous indiquerons ensuite, d'après l'exemple du cours supérieur du NIGER, comment varient les débits de crue en fonction de la fréquence de dépassement. On possèdera ainsi tous les éléments pour évaluer au mieux les débits de crue correspondant à une fréquence donnée et à une superficie drainée quelconque.

1°) Variations des débits de crues décennaux avec la superficie des bassins versants :

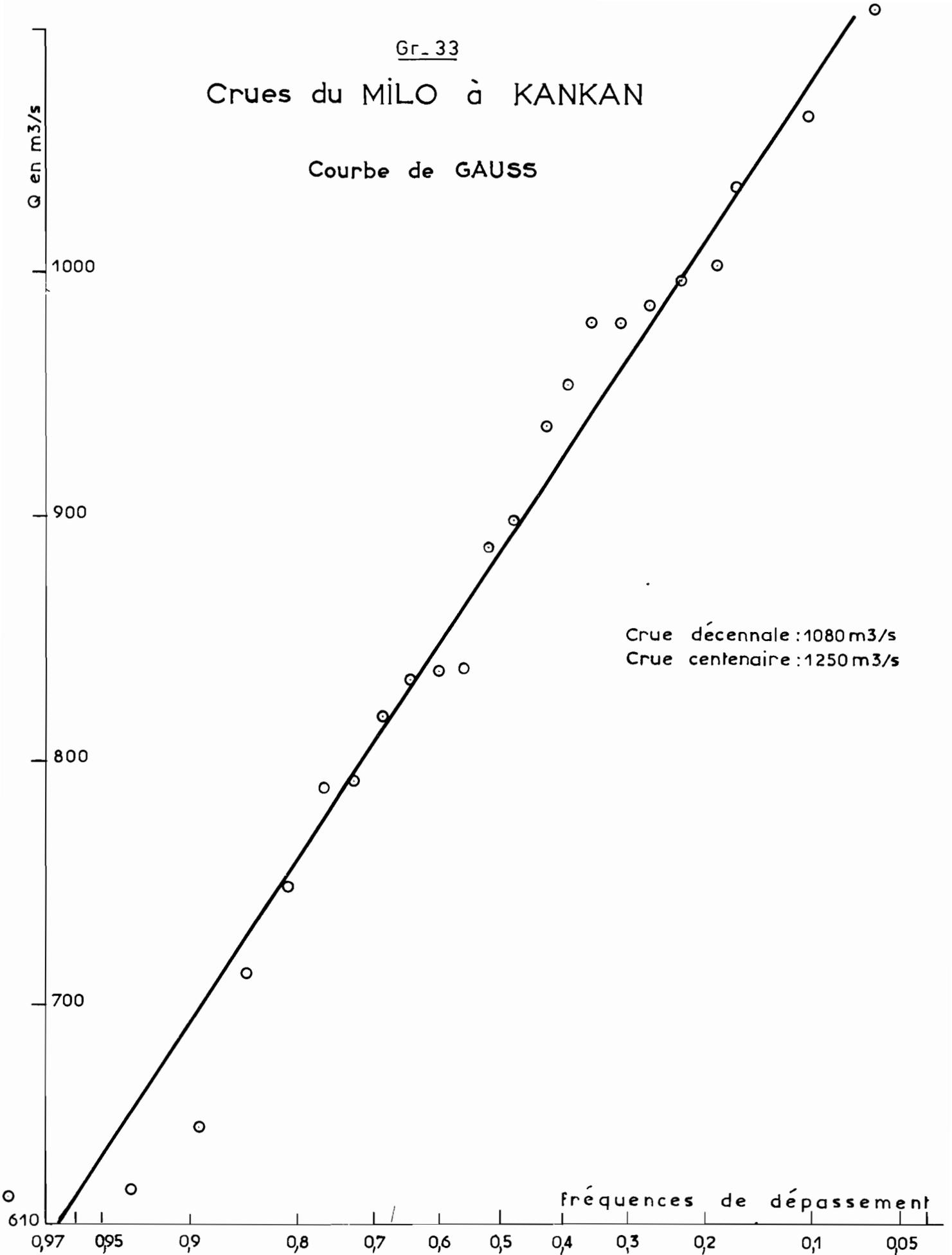
On admet généralement que le débit de crue d'un cours d'eau, correspondant à une fréquence donnée, croît en fonction de la superficie du bassin suivant la relation :

$$Q = A.S^n$$

Gr. 33

Crues du MILO à KANKAN

Courbe de GAUSS



Crue décennale : 1080 m³/s
Crue centenaire : 1250 m³/s

fréquences de dépassement

TABLEAU XVI

BASSIN DU NIGER SUPERIEUR

Etude des crues - Eléments statistiques

Stations	Crues maximales observées				Crues décennales		Crues centenaires		Crues millénaires	
	Durée de la période (ans)	Année d'observation	Débits m ³ /s	Débits spécifiques 1/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques 1/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques 1/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques 1/s.km ²
NIGER à FARANAH 3 180 km ²	3	1957	295	93,5	((300))	((95))				
NIGER à KOUROUSSA 18 000 km ²	15	1955	1 710	95	1 440	80	(1850)	(103)	(2200)	(122)
NIGER à DIALAKORO 71 000 km ²	6	1955	5 370	75,5	5 070	71,5	(6000)	(85)	((6900))	((99))
NIGER à KOULIKORO 120 000 km ²	51	1925	9 700? (1)	81 ?	8 000	67	9700	81	11000	92
NIANDAN à BARO 12 600 km ²	12	1955	1 490	118	1 370	109	(1720)	(136)	(2050)	(163)
MILO à KONSANKORO 1 000 km ²	3	1957	276	276	((300))	((300))				
MILO à KANKAN 9 900 km ²	17	1939 & 1944	1 105 (2)	112	1 080	109	1250	(126)		
SANKARANI à MANDIANA 21 900 km ²	4	1957	1 335	61	(1 250)	(57)	((1400))	((64))		
SANKARANI à GOUALA 35 300 km ²	4	1957	2 140	60,5	(1 900)	(54)	((2700))	((76))		
TINKISSO à TINKISSO 6 400 km ²	3	1957	315	48,3	((350))	((55))				

(1) 7 450 m³/s en 1955 & 7 640 m³/s en 1957. La valeur de 1925 est surestimée très probablement.

(2) 1 034 m³/s en 1955 (troisième maximum observé).

Parentèses simples : estimations incertaines.- Doubles parentèses : ordres de grandeur.-

TABLEAU XVII

BASSIN DU BANI

Etude des crues - Eléments statistiques

Stations	Crues maximales observées				Crues décennales		Crues centenaires		Crues millénaires	
	Durée de la période (ans)	Année d'observation	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
BAOULE à BOUGOUNI 15 700 km ²	2	1957	890	57	((900))	((57))				
BAOULE à DIOILA 32 500 km ²	5	1953	1580	49	(1270)	(39)	((2500))	((77))		
BAGOE à GUINGUERINI 1 040 km ²	8	1962	190	180	(190)	(180)				
BAGOE à TOMBOUGOU 2 580 km ²	7	1960	395	153	(400)	(155)				
BAGOE à KOUTO 4 740 km ²	3	1960	420	89	430	(90)				
BAGOE à PANKOUROU 31 800 km ²	2	1957	1400	44	((1400))	((44))				
BANI à DOUNA 101 600 km ²	18	1924	(3840)	(37,8)	3180	31	(3750)	(37)	((4200))	((41))
BANI à BEN.KEGNY 116 000 km ²	7	1954	2710	23,4	2550	22	((2800))	((24))		
BANI à SOFARA 129 400 km ²	5	1953	1645	12,7	(1620)	(12,5)	((1750))	((13,5))		

Parentèses simples : estimations incertaines.

Doubles parentèses : ordres de grandeur.

Le débit spécifique de crue décennale obéit donc à la relation :

$$q = A.S^{n-1}$$

qui peut s'écrire également :

$$\log q = \log A + (n-1) \log S$$

On conçoit donc qu'en adoptant une représentation graphique avec coordonnées logarithmiques, les points obtenus doivent s'aligner sur une droite, si la loi est vérifiée.

Le graphique 34 a été établi avec de telles coordonnées logarithmiques en utilisant les données des tableaux XVI et XVII. On remarque que :

- les quatre stations du NIGER Supérieur (FARANAH, KOUROUSSA, DIALAKORO et KOULIKORO) sont représentées par des points convenablement alignés sur une droite dont la pente est sensiblement égale à - 0,1 (la valeur de n est donc voisine de 0,9).

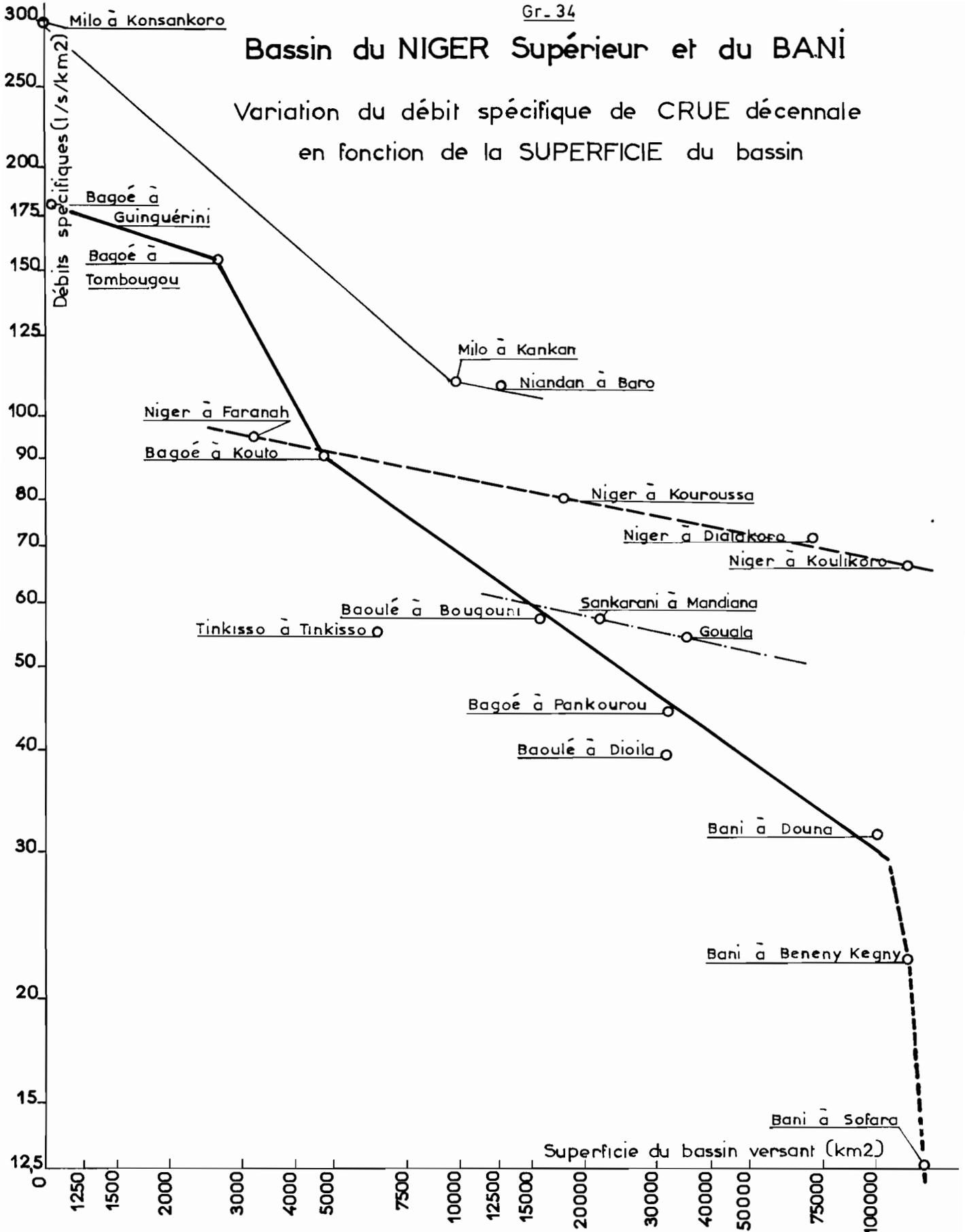
- il en est de même pour les deux points relatifs au SANKARANI.

- les points se rapportant aux deux stations du MILO à KANKAN et du NIANDAN à BARO sont encore alignés sur une droite de pente égale à - 0,1. Par contre, le point relatif à KONSANKORO sur le Haut MILO met en évidence un débit spécifique beaucoup plus élevé que ne le laisserait prévoir cette même droite.

- les points représentatifs des stations du bassin de BANI sont dans l'ensemble assez bien groupés autour d'une droite de pente égale à - 0,35 (soit une valeur de n voisine de 0,65). On relève toutefois des anomalies dans le bassin supérieur de la BAGOE où le relief accentué tend à donner des débits spécifiques relativement élevés, surtout à TOMBOUGOU. Sur le cours inférieur du BANI, au contraire, les débits spécifiques de crue s'effondrent par suite de l'effet amortisseur des plaines d'inondation.

Bassin du NIGER Supérieur et du BANI

Variation du débit spécifique de CRUE décennale en fonction de la SUPERFICIE du bassin



En résumé, les débits spécifiques de crue décennale varient considérablement puisqu'ils s'échelonnent entre 300 et 12,5 l/s.km² pour des bassins compris entre 1 000 et 130 000 km². Pour une superficie donnée les écarts sont, bien entendu, beaucoup plus réduits mais le rapport des valeurs extrêmes observées dépasse souvent 2. Quant aux variations des débits spécifiques avec la superficie drainée, elles obéissent plus ou moins fidèlement à une loi parabolique dont l'exposant n est souvent voisin de 0,9 mais tombe à 0,65 sur le BANI. L'évaluation a priori de la crue décennale d'une station non étudiée peut en définitive s'avérer une opération assez délicate.

Nous n'abordons pas ici le problème des crues des petits bassins versants. Les données recueillies par l'ORSTOM sur cette question en Afrique Noire lui ont permis d'aborder une étude de synthèse à laquelle le lecteur pourra se reporter.

2°) Variations des débits de crue avec la fréquence :

Nous prendrons comme exemple le cours du NIGER Supérieur de KOUROUSSA à KOULIKORO, dont le bassin correspondant varie de 18 000 à 120 000 km².

Le calcul des crues a été fait pour les fréquences quinquennale, décennale, didécennale, cinquanteaire, centenaire et millénaire. Les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

Station	Surface du bassin km ²	Fréquence	Débit m ³ /s
NIGER à KOUROUSSA	18.000	Quinquennale	1 300
		Décennale	1 440
		Didécennale	1 560
		Cinquanteaire	1 720
		Centenaire	1 850
		Millénaire	2 200

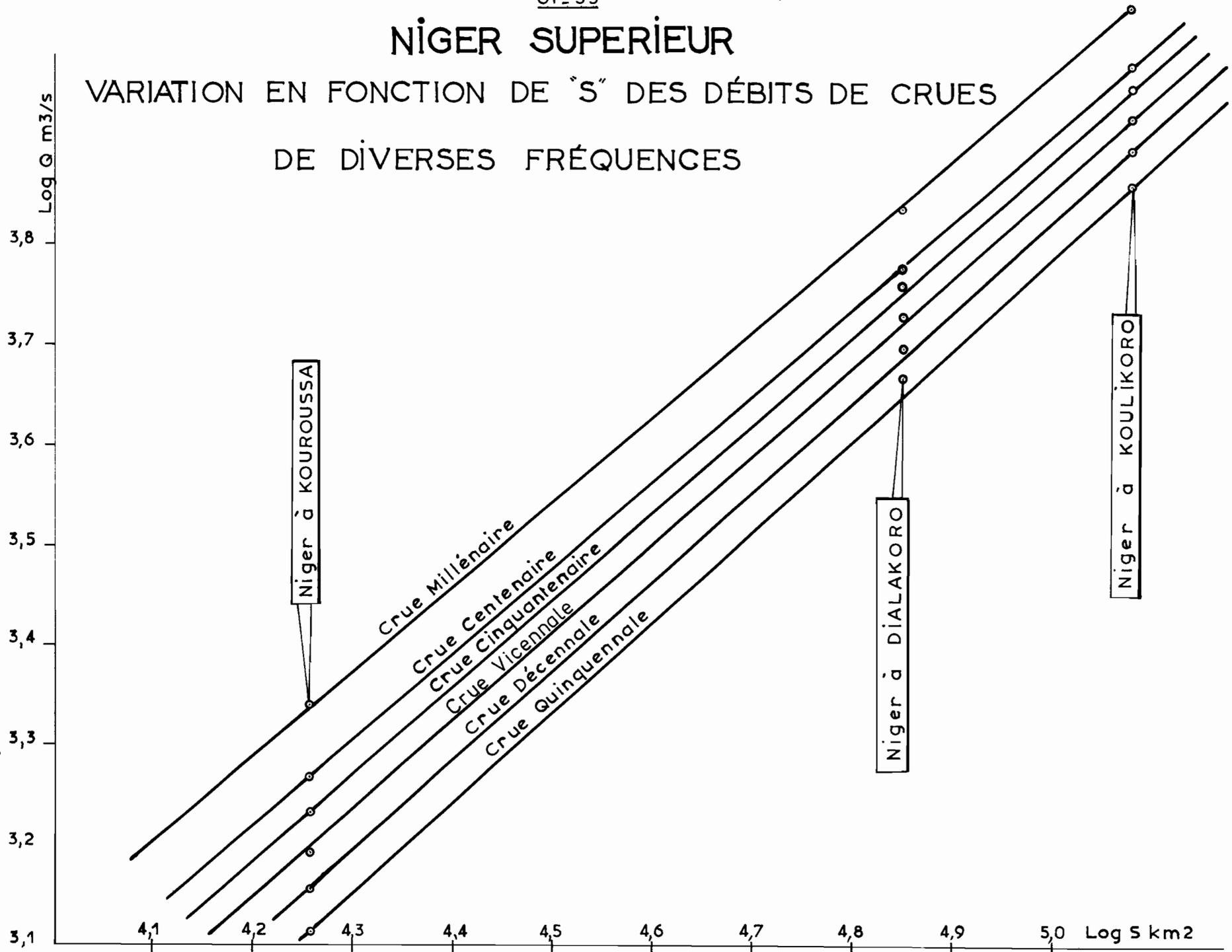
Station	Surface du bassin km ²	Fréquence	Débit m ³ /s
NIGER à DIALAKORO	71 000	Quinquennale	4 740
		Décennale	5 070
		Didécennale	5 360
		Cinquantenaire	5 750
		Centenaire	6 000
		Millénaire	6 900
NIGER à KOULIKORO	120 000	Quinquennale	7 250
		Décennale	8 000
		Didécennale	8 600
		Cinquantenaire	9 250
		Centenaire	9 700
		Millénaire	11 000

On a porté sur le graphique 35 les logarithmes des débits de crues en fonction du logarithme de la superficie des bassins. On constate que les courbes d'égale fréquence sont pratiquement des droites ; elles forment un faisceau légèrement convergent.

Des faisceaux analogues pourraient être constitués pour les autres groupes géographiques avec toutefois une précision bien inférieure, surtout pour les fréquences rares. Nous nous contenterons de donner ci-après les valeurs du rapport de la crue centenaire à la crue décennale ; ce rapport permet de caractériser d'une façon simple la croissance plus ou moins rapide des débits lorsque la fréquence de dépassement devient plus rare.

NIGER SUPERIEUR

VARIATION EN FONCTION DE "S" DES DÉBITS DE CRUES
DE DIVERSES FRÉQUENCES



Station	Surface B.V. (km ²)	Rapport <u>Crue centenaire</u> <u>Crue décennale</u>
NIGER à KOUROUSSA	18 000	1,29
NIGER à DIALAKORO	71 000	1,19
NIGER à KOULIKORO	120 000	1,21
NIANDAN à BARO	12 600	1,25
MILO à KANKAN	9 900	1,16
SANKARANI à MANDIANA	21 900	1,12
SANKARANI à GOUALA	35 300	1,42
BAOULE à DIOILA	32 500	1,97
BANI à DOUNA	101 600	1,18
BANI à BENENY-KEGNY	116 000	1,10
BANI à SOFARA	129 400	1,08

C H A P I T R E VII

DEFICITS et COEFFICIENT d'ÉCOULEMENT. (1)

=====

On définit le déficit d'écoulement du bassin versant pendant une période donnée comme la différence entre le volume de pluie tombé sur le bassin et le volume d'eau écoulé à son exutoire pendant la même période.

En pratique, on considère toujours le déficit d'écoulement sur un cycle hydrologique complet, c'est-à-dire sur une période de douze mois (année hydrologique) telle que le remplissage des réserves souterraines du bassin soit sensiblement identique au début et à la fin du cycle. Cette condition est généralement la mieux réalisée lorsque le remplissage est minimal. C'est pourquoi on fait souvent débiter l'année hydrologique à la fin de la saison d'étiage. Dans le cas du régime tropical de transition, on peut sans inconvénient grave faire coïncider l'année hydrologique avec l'année calendaire.

Pour permettre d'utiles comparaisons, le déficit est toujours rapporté à la superficie du bassin versant et s'exprime en millimètres d'eau. On le calcule par l'équation du bilan hydrologique :

$$D = P - H - \Delta R$$

dans laquelle on admet que le terme ΔR (variation des réserves souterraines) est nul. P (en mm) est la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin et H (en mm) la lame d'eau correspondant à l'écoulement annuel du bassin.

Le déficit d'écoulement ainsi calculé représente en fait l'évapotranspiration du bassin, si l'on peut considérer comme négligeable la part d'écoulement qui sort du bassin par cheminement souterrain.

(1) voir en annexe "mise à jour des données de KOULIKORO"

Le coefficient d'écoulement exprime sous une autre forme une relation équivalente entre la pluviométrie et l'écoulement d'un bassin :

$$R \% = \frac{H}{P} \times 100$$

Le déficit et le coefficient d'écoulement de toutes les stations du bassin supérieur du NIGER et du BANI ont été déterminés année par année mais il n'a pas été jugé utile de reproduire ici les résultats complets de ces calculs. La précision avec laquelle ont été obtenues les valeurs moyennes du déficit d'écoulement est de l'ordre de 30 mm pour KOULIKORO, 50 mm pour la plupart des autres stations et plus pour certaines, telle que FARANAH.

Les valeurs moyennes obtenues pour l'ensemble des stations sont en général assez cohérentes. Cependant l'inégalité des durées d'observations n'autorise pas des comparaisons très significatives. Aussi avons-nous déterminé les déficits moyens sur une période commune de 35 ans (1923-1957), en utilisant les pluviométries moyennes et les lames d'eau évaluées au chapitre IV. (Ce procédé est acceptable parce que nous nous intéressons seulement aux déficits moyens sur 35 ans et non aux déficits particuliers de chaque année). Il est assez rassurant de constater que les nouvelles valeurs des déficits moyens sont en général peu différentes de celles obtenues précédemment.

Les résultats sont groupés dans les tableaux XVIII à XXI, sur lesquels on a porté également les valeurs extrêmes de la période d'observation. (Les chiffres se rapportant aux moyennes ont été soulignés).

Sur le graphique 36 on a porté les déficits d'écoulement moyens en fonction de la pluviométrie moyenne interannuelle des bassins versants. Les points obtenus sont quelque peu dispersés mais mettent toutefois en évidence une corrélation certaine entre les deux facteurs. Le déficit d'écoulement tend à augmenter avec la pluviométrie. Ainsi, il passe de 1040 mm environ pour une pluviométrie de 1200 mm à 1250 mm pour une pluviométrie de 2000 mm.

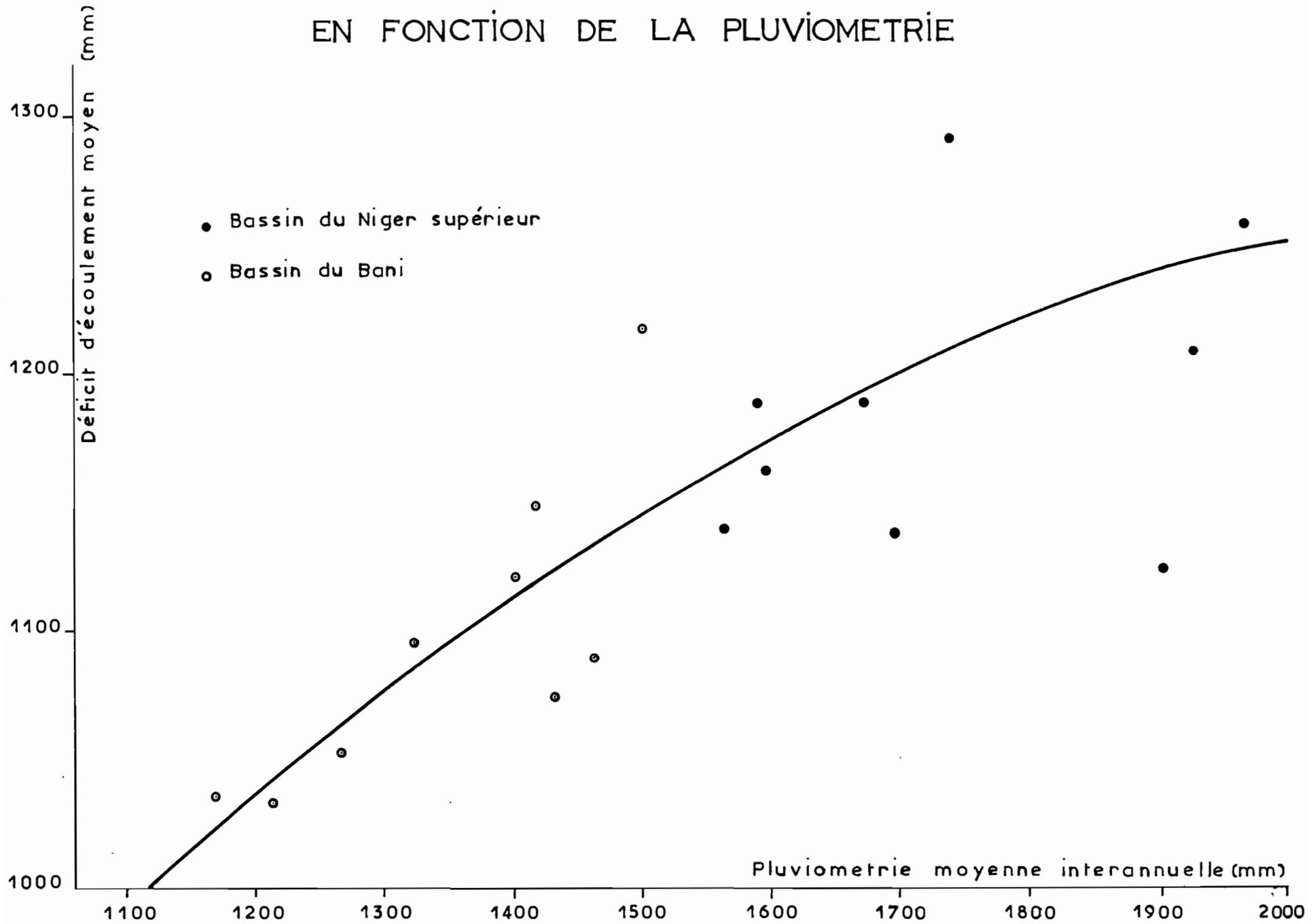
VARIATIONS DU DÉFICIT D'ÉCOULEMENT
EN FONCTION DE LA PLUVIOMETRIE

TABLEAU XVIII

NIGER SUPERIEUR

DEFICITS ET COEFFICIENTS D'ECOULEMENT

Valeurs moyennes et extrêmes

STATIONS		NIGER à FARANAH	NIGER à KOUROUSSA	NIGER à DIALAKORO	NIGER à KOULIKORO
Surface du bassin (km ²)		3 180	18 000	71 000	120 000
Période d'observations	Nombre d'années	3	13	6	35
	Pluviométrie moyenne (mm)	1 887	1 737	1 753	1 596
	Déficit moyen (mm)	1 125	1 288	1 153	1 164
	Coefficient moyen	<u>40,1 %</u>	<u>25,6 %</u>	<u>34,2 %</u>	<u>26,9 %</u>
	Déficit maximal (mm)	1 195	1 622	1 298	1 333
	Déficit minimal (mm)	995	1 069	1 073	1 065
	Coefficient maximal	47,4 %	35,5 %	39,3 %	35,5 %
	Coefficient minimal	30,8 %	20,9 %	30 %	18,7 %
Période de 35 ans	Pluviométrie moyenne (mm)	1 905	1 740	1 696	1 596
	Lame d'eau moyenne (mm)	781	457	558	432
	Déficit moyen (mm)	1 124	1 293	1 138	1 164
	Coefficient moyen	<u>41,0 %</u>	<u>26,3 %</u>	<u>32,9 %</u>	<u>27,0 %</u>

TABLEAU XIX

AFFLUENTS DU NIGER SUPERIEUR

DEFICITS ET COEFFICIENTS D'ECOULEMENT

Valeurs moyennes et extrêmes

Stations		NIANDAN à BARO	MILO à KANKAN	SANKARANI à MANDIANA	SANKARANI à GOUALA	TINKISSO à TINKISSO
Surface du bassin (km ²)		12 600	9 900	21 900	35 300	6 400
Période d'observations	Nombre d'années	11	17	4	4	3
	Pluviométrie moyenne (mm)	1 972	1 865	1 666	1 596	1 668
	Déficit moyen (mm)	1 291	1 186	1 188	1 197	1 213
	Coefficient moyen	<u>34,3</u> %	<u>36,4</u> %	<u>28,6</u> %	<u>25,0</u> %	<u>27,3</u> %
	Déficit maximal (mm)	1 611	1 490	1 347	1 356	1 278
	Déficit minimal (mm)	1 100	963	1 016	1 061	1 104
	Coefficient maximal	42,2 %	45,7 %	31,3 %	27,9 %	27,8 %
Période de 35 ans	Coefficient minimal	22,2 %	29,2 %	26,1 %	21,7 %	26,6 %
	Pluviométrie moyenne (mm)	1 969	1 927	1 672	1 587	1 562
	Lame d'eau moyenne (mm)	708	717	482	397	422
	Déficit moyen (mm)	1 261	1 210	1 190	1 190	1 140
Coefficient moyen	<u>36,0</u> %	<u>37,2</u> %	<u>28,8</u> %	<u>25,0</u> %	<u>27,0</u> %	

TABLEAU XX

BASSIN du BANI

DEFICITS ET COEFFICIENTS D'ECOULEMENT

Valeurs moyennes et extrêmes

Stations		BAOULE à BOUGOUNI	BAOULE à DIOILA	BAGOE à PANKOUR	BANI à DOUNA	BANI à BEN.KEGNY	BANI à SOFARA
Surface du bassin (km ²)		15 700	32 500	31 800	101 600	116 000	129 400
Période d'observations	Nombre d'années	2	5	2	16	7	5
	Pluviométrie moyenne (mm)	1 565	1 408	1 403	1 340	1 310	1 268
	Déficit moyen (mm)	1 250	1 158	1 125	1 107	1 105	1 125
	Coefficient moyen	<u>19,6 %</u>	<u>17,7 %</u>	<u>19,5 %</u>	<u>17,3 %</u>	<u>15,6 %</u>	<u>11,3 %</u>
	Déficit maximal (mm)	1 358	1 266	1 212	1 238	1 208	1 227
	Déficit minimal (mm)	1 142	1 023	1 038	978	968	954
	Coefficient maximal	23,5 %	20,1 %	22,6 %	21 %	18,7 %	12,1 %
	Coefficient minimal	15,7 %	12,5 %	16,3 %	10,9 %	13,2 %	10,8 %
Période de 35 ans	Pluviométrie moyenne (mm)	1 499	1 320	1 401	1 264	1 211	1 165
	Lame d'eau moyenne (mm)	280	223	279	211	178	129
	Déficit moyen (mm)	1 219	1 097	1 122	1 053	1 033	1 036
	Coefficient moyen	<u>18,7 %</u>	<u>16,9 %</u>	<u>19,9 %</u>	<u>16,7 %</u>	<u>14,7 %</u>	<u>11,1 %</u>

TABLEAU XXI

HAUTE-BAGOE (Côte d'IVOIRE)

DEFICITS ET COEFFICIENTS D' ECOULEMENT

Valeurs moyennes et extrêmes

Stations		BAGOE à GUINGUERINI	BAGOE à TOMBOUGOU	BAGOE à KOUTO
Surface du bassin (km ²)				
Période d'observations	Nombre d'années	8	7	3
	Pluviométrie moyenne (mm)	1 460	1 430	1 415
	Déficit moyen (mm)	1 090	1 075	1 150
	Coefficient moyen	25,2 %	24,5 %	18,7 %
	Déficit maximal (mm)	1 350	1 275	1 250
	Déficit minimal (mm)	910	935	995
	Coefficient maximal	30,3 %	31,1 %	20 %
	Coefficient minimal	20,8 %	21,2 %	17 %

Quelques points s'écartent notablement de la courbe moyenne que nous avons tracée. Certains écarts s'expliquent aisément : le déficit relativement faible de la BAGOE aux stations de GUNGUERINI et de TOMBOUGOU est dû au relief assez accentué et à l'absence de sols profonds qui favorisent le ruissellement rapide des eaux fluviales. Le NIGER à FARANAH a un déficit anormalement petit dont la cause doit être recherchée dans l'imprécision des données. Il est probable également que le déficit trop élevé du NIGER à KOUROUSSA est dû à une surestimation de la pluviométrie.

En ce qui concerne les coefficients d'écoulement, on remarque qu'ils tendent également à croître avec la pluviométrie. Très forts sur le petit bassin du NIGER à FARANAH (environ 40 %), sur le NIANDAN, le MILO et le NIGER à DIALAKORO (entre 30 et 40 %), ils sont moyens sur le SANKARANI et aux autres stations du NIGER, puis tombent sur le BANI à des valeurs de plus en plus faibles (moins de 20 %) à mesure que l'on approche du confluent

Les résultats obtenus pour les déficits d'écoulement sont à rapprocher des évaporations mesurées sur bac COLORADO, dont les valeurs ont été données au chapitre II (§ E.b)

Dans les régions très arrosées de la GUINEE forestière, le déficit d'écoulement n'est pas très inférieur à l'évapotranspiration potentielle qui est elle-même assez voisine de l'évaporation sur bac. A la station de BOULA sur le Haut MILO, on trouve ainsi une évaporation annuelle sur COLORADO de l'ordre de 1 400 mm, alors que le déficit d'écoulement du MILO à KANKAN est d'environ 1 200 mm.

Les bacs de FOMI (Bas-NIANDAN) et de KANDALA sont situés à plus basse altitude et dans une région moins arrosée. Bien que fragmentaires, leurs relevés montrent déjà un accroissement sensible de l'évaporation, alors que le déficit d'écoulement tend au contraire à diminuer.

Plus au Nord, à mesure que le climat devient plus aride, l'écart entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle augmente considérablement. Ainsi dans la région de BAMAKO, les bacs de DOUNFING et de KENIE donnent des résultats de l'ordre de 2 500 mm/an, soit largement le double du déficit d'écoulement. Les bacs de LOULOUNI et surtout de KOUMBAKA dans le bassin du BANI confirment encore cette tendance.

C H A P I T R E VIII

IRREGULARITE INTERANNUELLE ET HYDRAULICITE (1)

=====

Théoriquement, les ajustements gaussiques, qui ont été établis dans l'étude des modules (chapitre IV), définissent entièrement la distribution statistique des modules. En fait, il convient d'explicitier davantage l'irrégularité interannuelle des modules, car c'est une caractéristique hydrologique qui peut avoir beaucoup d'importance pratique pour maints projets d'aménagement. Par ailleurs, il n'est pas superflu d'examiner les variations de l'hydraulicité, car les alternances irrégulières de séries d'années sèches et de séries d'années humides, que l'on observe couramment ne paraissent pas strictement conformes au schéma aléatoire de GAUSS.

A - IRREGULARITE INTERANNUELLE DES MODULES

Au cours de l'étude statistique des modules, nous avons signalé que la pente et la position des droites obtenues sur les graphiques à abscisses gaussiques avaient une signification physique. En fait, ces deux facteurs combinés expriment l'irrégularité interannuelle qui peut être représentée par le coefficient de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{q}}$$

\bar{q} et σ désignant respectivement la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de modules considéré.

On peut également caractériser l'irrégularité inter annuelle par le coefficient K défini comme le rapport des deux déciles extrêmes, c'est-à-dire le rapport du module de l'année humide de fréquence décennale au module de l'année sèche de fréquence décennale. Ce coefficient d'irrégularité interannuelle est d'une utilisation moins aisée que le coefficient de variation dans les calculs de probabilité, mais il a une signification plus immédiate et son emploi est plus commode dans les applications pratiques.

(1) voir en annexe "mise à jour des données de KOULIKORO".

Les valeurs de C_v et de K trouvées pour les bassins du NIGER Supérieur et du BANI ont été portées dans le tableau XXII. On y a également fait figurer les modules décennaux en année sèche et en année humide.

Parmi les coefficients de variation les plus élevés, on trouve ceux du NIGER à FARANAH, du BAOULE et de la BAGOE à PANKOUROU. Pour FARANAH, cela s'explique par la dimension restreinte du bassin ; un petit bassin est, en effet, alimenté plus irrégulièrement d'une année à l'autre qu'un grand bassin, l'effet compensateur de la distribution spatiale des averses s'y faisant moins sentir. Pour le BAOULE et la BAGOE, il faut invoquer la faiblesse relative des pluies, mal compensée par la diminution de l'écart-type : un régime sec est plus irrégulier qu'un régime humide.

L'effet compensateur de la distribution spatiale des averses croît avec l'importance du bassin, mais jusqu'à une certaine limite. C'est ainsi que les coefficients des différents bassins du NIGER Supérieur ont des valeurs semblables pour des superficies très différentes. Il faut mettre à part le MILO à KANKAN dont le coefficient de variation ($C_v = 0,149$) est petit et surtout le TINKISSO qui présente un coefficient très faible ($C_v = 0,098$). Ces valeurs sont dues vraisemblablement au développement des plaines d'inondation, en particulier sur ce dernier cours d'eau dont le bief inférieur a une pente très atténuée. Il se produit dans ce cas une autorégularisation, les fortes crues étant largement écrêtées.

Dans la partie inférieure du BANI (en aval de DOUNA) les coefficients de variation sont en moyenne plus faibles que pour le NIGER malgré un régime plus sec. Ceci est encore dû à l'autorégularisation dans le cours même de la rivière (faible pente, zones d'inondation).

On pourra s'étonner que le NIGER à KOULIKORO ait un coefficient de variation un peu plus élevé que tous ses affluents. En fait, nous allons voir que ces écarts entre les valeurs de C_v ne sont pas significatifs au sens statistique du terme et qu'il serait donc vain de chercher à les expliquer par des causes physiques.

TABLEAU XXII

BASSINS DU NIGER SUPERIEUR ET DU BANI

Coefficient d'irrégularité interannuelle (K)
et coefficient de variation des modules (C_v)

Stations	Module décennal m ³ /s		K	C_v
	Année humide	Année sèche		
NIGER à FARANAH	98	41	2,38	0,325
NIGER à KOUROUSSA	316	165	1,91	0,238
NIGER à DIALAKORO	1465	875	1,68	0,204
NIGER à KOULIKORO	2010	1060	1,89	0,237
NIANDAN à BARO	337	183	1,84	0,229
MILO à KANKAN	257	175	1,46	0,149
TINKISSO à TINKISSO	95	74	1,29	0,098
SANKARANI à MANDIANA	380	225	1,69	0,200
SANKARANI à GOUALA	508	302	1,68	0,204
BAOULE à BOUGOUNI	179	75	2,40	0,324
BAOULE à DIOILA	278	129	2,16	0,276
BAGOE à GUINGUERINI	16,5	8	2,05	0,265
BAGOE à TOMBOUGOU	(42)	21	2,0	0,255
BAGOE à KOUTO	(55)	(30)	(1,8)	0,220
BAGOE à PANKOUROU	352	151	2,23	0,314
BANI à DOUNA	816	503	1,62	0,187
BANI à BENENY-KEGNY	751	459	1,63	0,191
BANI à SOFARA	600	430	1,38	0,130

On montre que dans le cas d'une distribution gaussique l'erreur-type sur le coefficient de variation est :

$$s = C_v \cdot \sqrt{\frac{1 + 2 C_v^2}{2N}}$$

D'où : $s = 0,025$ pour KOULIKORO.

L'intervalle de confiance à 95 % du coefficient de variation de KOULIKORO est donc de $0,237 \pm 0,050$.

Il n'est donc pas possible de calculer aussi simplement l'intervalle de confiance du C_v des autres stations, mais on peut admettre que, hormis le cas des stations de FARANAH, de KANKAN et de TINKISSO, les différences constatées entre les C_v des stations situées en amont de KOULIKORO ne sont pas significatives.

B - VARIATIONS DE L'HYDRAULICITE DU NIGER A KOULIKORO

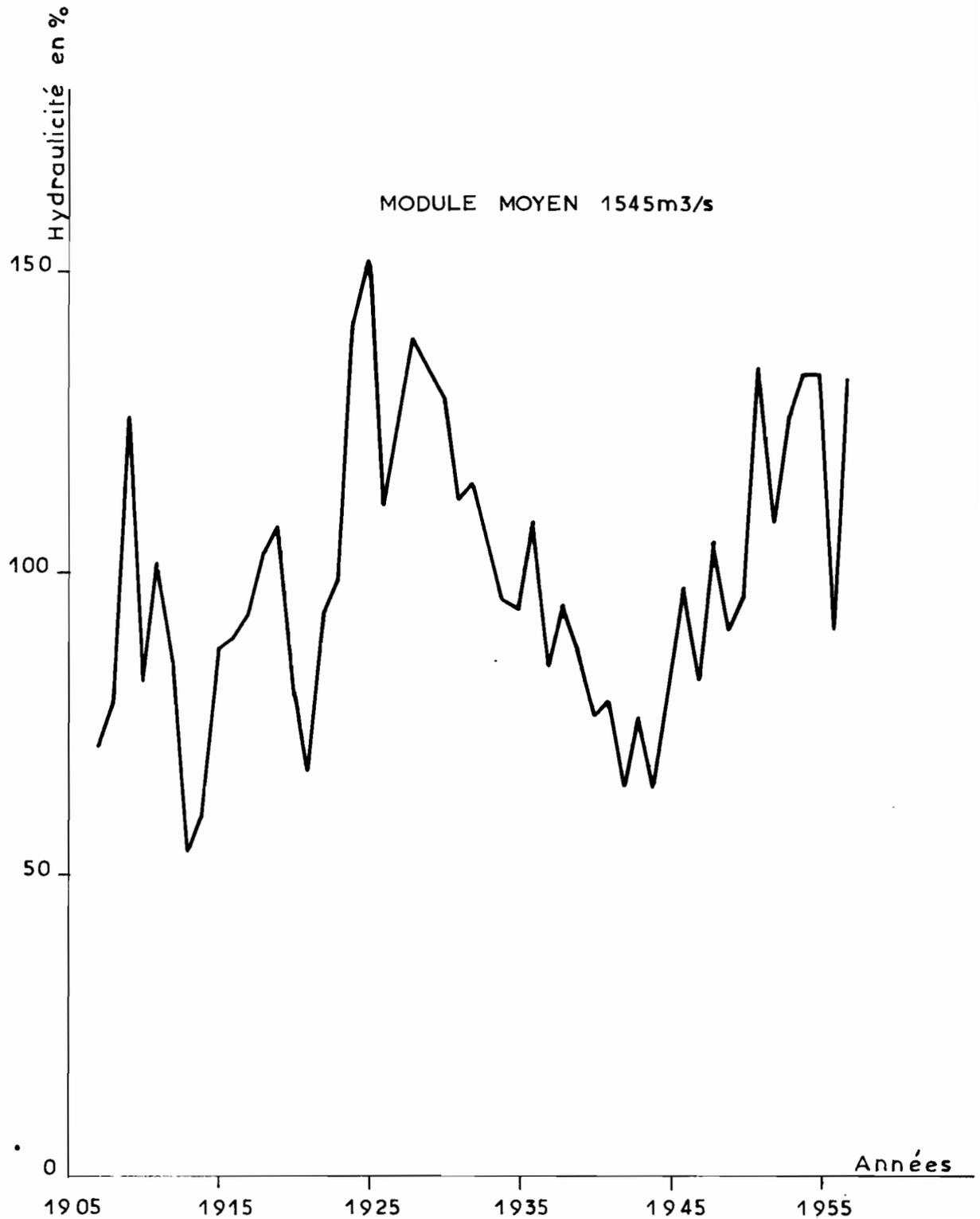
On définit l'hydraulicité d'une année donnée comme le rapport du module de cette année au module moyen de la station.

Le tableau XXIII et le graphique 37 donnent les valeurs de l'hydraulicité du NIGER à KOULIKORO de 1907 à 1957. Pendant cette période le module moyen est, rappelons-le, égal à 1 545 m³/s.

Le problème essentiel qui se pose au sujet d'une série chronologique de ce genre est de savoir si les valeurs qui la composent se succèdent d'une manière purement fortuite ou si, au contraire, elles présentent une certaine organisation temporelle. Dans ce dernier cas, l'étude statistique des modules qui a été faite au chapitre IV ne condenserait pas la totalité de l'information que nous possédons sur les débits moyens annuels du NIGER.

Un rapide examen du graphique 37 semble montrer que la série chronologique des hydraulicités annuelles n'est pas purement aléatoire. On n'y décèle aucune tendance générale à la hausse ou à la baisse, mais si l'on fait abstraction des fluctuations rapides en "dents de scie", on observe deux phases d'hydraulicité croissante (1913-1925 et 1944-1955) alternant avec une phase d'hydraulicité décroissante (1925-1944), ce qui suggère l'existence de variations plus ou moins cycliques.

Variations de l'hydraulicité du NIGER à KOULIKORO de 1907 à 1957



Variations de l'hydraulicité

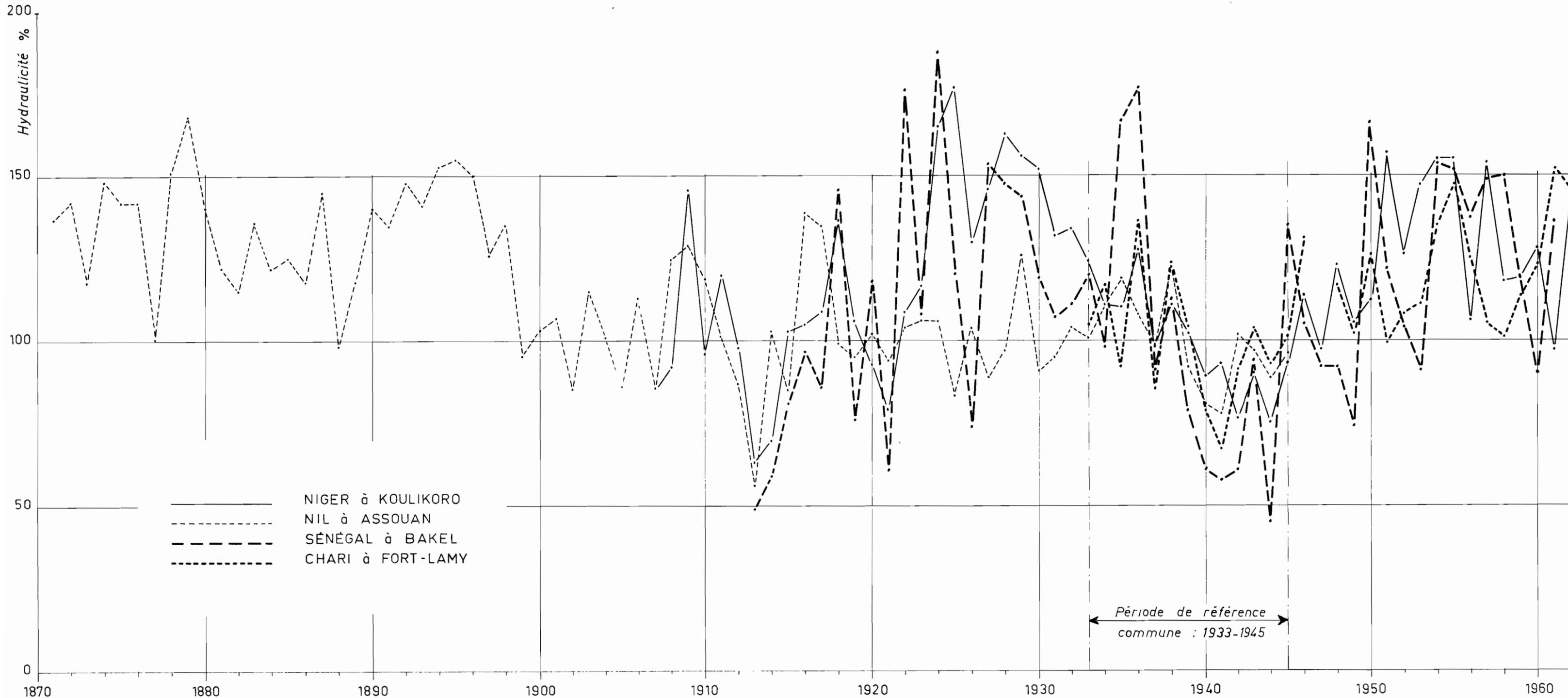


TABLEAU XXIII

VARIATIONS DE L'HYDRAULICITE DU NIGER A KOULIKORO

DE 1907 à 1957.

(module moyen : 1 545 m³/s)

Année	Hydraulicité (en %)	Année	Hydraulicité (en %)
1907	74	1931	113
1908	79	1932	116
1909	126	1933	106
1910	83	1934	96
		1935	95
1911	103		
1912	85	1936	110
1913	54	1937	85
1914	60	1938	96
1915	88	1939	88
		1940	77
1916	90		
1917	94	1941	80
1918	104	1942	65
1919	109	1943	77
1920	80	1944	65
		1945	80
1921	68		
1922	94	1946	99
1923	100	1947	83
1924	142	1948	106
1925	153	1949	91
		1950	97
1926	112		
1927	126	1951	135
1928	140	1952	109
1929	135	1953	127
1930	131	1954	134
		1955	134
		1956	91
		1957	133

En fait, cette série chronologique est beaucoup trop courte pour qu'on soit en mesure de l'analyser correctement de façon approfondie. Il est d'ailleurs douteux qu'on puisse jamais y mettre en évidence une périodicité nette et permanente, comme l'ont essayé sans succès maints chercheurs pour d'autres phénomènes météorologiques ou hydrologiques.

Nous nous contenterons donc de constater un certain effet de "persistance" qui fait, par exemple, qu'à une année humide il y a plus de chance de voir succéder une nouvelle année humide qu'une année sèche.

C - COMPARAISON DE L'HYDRAULICITE DU NIGER ET DE QUELQUES FLEUVES AFRICAINS.

Il est intéressant de comparer les variations interannuelles d'hydraulicité de plusieurs fleuves africains dont le régime se rattache, plus ou moins directement, au type tropical boréal. Leurs crues annuelles sont liées au phénomène de la mousson qui dépend lui-même des déplacements saisonniers de la zone de convergence intertropicale. Celle-ci traverse tout le continent africain d'Ouest en Est ; il n'est donc pas interdit de penser, à priori, qu'il existe une certaine "covariation" entre les hydraulicités annuelles des fleuves tropicaux que nous allons considérer, à savoir :

- le NIGER à KOULIKORO
- le SENEGAL à BAKEL
- le CHARI à FORT-LAMY
- le NIL à ASSOUAN

Le tableau XXIV rassemble les données que nous avons pu recueillir et qui ont permis d'établir le graphique n° 38. Les périodes d'observation sont malheureusement assez inégales et pour rendre comparables les hydraulicités on a dû les calculer pour chaque station par rapport au module moyen de la période commune d'observation. Celle-ci s'étend seulement sur treize années, de 1933 à 1945 inclusivement.

Dans l'ensemble le graphique 38 montre un certain parallélisme entre les variations d'hydraulicité des quatre fleuves. On peut notamment faire les remarques suivantes :

- l'année 1913 a été très maigre à la fois pour le NIGER, le SENEGAL et le NIL.

TABLEAU XXIV

VARIATIONS de L'HYDRAULICITE
 du NIL à ASSOUAN, du SENEGAL à BAKEL,
 du CHARI à F^t. LAMY et DU NIGER à KOULIKORO.

Année	Nil	Année	Nil	Sénégal	Niger	Année	Nil	Sénégal	Chari	Niger
1870	-	1900	103	-	-	1930	91	119	-	152
1871	137	1901	107	-	-	1931	95	107	-	132
1872	142	1902	85	-	-	1932	104	111	-	134
1873	118	1903	115	-	-	1933	101	120	105	124
1874	148	1904	101	-	-	1934	111	98	117	111
1875	142	1905	86	-	-	1935	119	167	92	110
1876	142	1906	113	-	-	1936	108	177	136	128
1877	100	1907	85	-	86	1937	99	91	85	98
1878	151	1908	125	-	92	1938	124	113	122	111
1879	168	1909	129	-	146	1939	92	79	104	102
1880	140	1910	119	-	96	1940	81	61	79	89
1881	122	1911	101	-	120	1941	78	58	67	93
1882	115	1912	87	-	98	1942	102	61	91	76
1883	136	1913	56	49	63	1943	97	94	104	90
1884	122	1914	103	59	70	1944	89	45	93	75
1885	125	1915	85	81	103	1945	96	135	101	93
1886	118	1916	139	97	105	1946	-	105	131	114
1887	145	1917	135	86	109	1947	-	92	-	97
1888	98	1918	99	146	137	1948	-	92	117	123
1889	118	1919	95	76	106	1949	-	74	102	105
1890	140	1920	102	118	93	1950	-	166	126	112
1891	135	1921	94	61	79	1951	-	122	99	157
1892	148	1922	104	176	109	1952	-	104	108	126
1893	141	1923	106	108	117	1953	-	91	111	147
1894	153	1924	106	188	165	1954	-	154	135	155
1895	155	1925	83	120	177	1955	-	152	148	155
1896	150	1926	104	74	130	1956	-	137	125	106
1897	126	1927	89	154	146	1957	-	149	105	154
1898	135	1928	97	148	163	1958	-	150	101	118
1899	195	1929	126	144	156	1959	-	114	114	119
						1960	-	90	123	128
						1961	-	136	152	97
						1962	-		145	142
						1963	-			
						1964	-			

Nota : Pour chaque station, les hydraulicités annuelles ont été calculées par rapport au module moyen de la période 1933-1945 (période d'observation commune aux 4 stations).

- la période 1922-1936 a été en général très abondante pour le NIGER et le SENEGAL. Si l'on classe les années par ordre d'hydraulicité décroissante, 1924 vient en tête pour le SENEGAL et en deuxième position pour le NIGER. Par contre, l'hydraulicité du NIL a été voisine de la moyenne de 1922 à 1936.

- la période 1939-1944 a été dans l'ensemble déficitaire aussi bien pour le NIGER et le SENEGAL que pour le CHARI et le NIL.

- depuis 1945 et surtout 1950, les hydraulicités du NIGER, du SENEGAL et du CHARI ont été presque toujours largement excédentaires. L'année 1955 notamment a été forte sur les trois fleuves à la fois.

Dans l'examen du graphique 38, on ne doit pas perdre de vue que l'irrégularité interannuelle des quatre fleuves est assez différente. Le SENEGAL est nettement le plus irrégulier, suivi par le NIGER, puis par le CHARI. Compte tenu de cette remarque, on peut constater, par exemple, que l'année 1961 qui a été exceptionnellement forte sur le CHARI (comme sur le CONGO et l'OGOOUE, d'ailleurs) a été assez abondante sur le SENEGAL mais n'a pas dépassé la moyenne sur le NIGER.

Cet exemple n'est pas unique et malgré un certain parallélisme d'ensemble on relève de multiples discordances de détail. Bref, on peut admettre schématiquement que les hydraulicités annuelles des quatre fleuves subissent des variations concomitantes résultant de causes communes, auxquelles se superposent des variations aléatoires dues à des causes propres à chaque fleuve.

Pour préciser les appréciations purement qualitatives qui précèdent, on a calculé le coefficient de covariation des hydraulicités du NIGER et du NIL pendant leur période commune d'observation qui s'étend de 1907 à 1945. En éliminant les années 1924 et 1925, un peu suspectes pour le NIGER, on trouve un coefficient de 0,31 qui indique une covariation faible, mais réelle.

Les relevés du NIL à ASSOUAN sont de loin les plus anciens puisqu'ils remontent à 1871. Ils permettent ainsi d'avoir une idée des variations d'hydraulicité des fleuves tropicaux à l'échelle d'un siècle environ. Or sur le graphique 38, on constate que de 1871 à 1898 l'hydraulicité moyenne du NIL a été d'environ 30 % supérieure à l'hydraulicité moyenne depuis le début du siècle actuel. Il est probable qu'une tendance analogue s'est manifestée sur le NIGER, bien qu'on manque d'éléments précis

pour l'affirmer. Il est certain en tout cas que pendant les dernières décennies du 19^{ème} siècle, le CHARI a eu une hydraulicité élevée, car on sait d'après les témoignages de plusieurs explorateurs que le niveau du Lac TCHAD était très haut à cette époque. (1)

Faut-il en déduire que le climat de la zone tropicale africaine évolue rapidement vers une aridité croissante ? Nous pensons pouvoir répondre par la négative en nous basant sur les enregistrements de niveau que les anciens égyptiens ont effectués sur des "nilomètres". D'après H.E. HURST, la série la plus complète, avec des lacunes cependant, couvre la période qui s'étend de 622 à 1522 après J.C. Ces enregistrements ont fait l'objet de plusieurs analyses qui ont donné de nombreuses périodes variant de 2 à 14 ans, mais aucune d'elles n'est assez marquée pour pouvoir être découverte sans une analyse approfondie et laborieuse. On relève d'assez longues suites d'années au cours desquelles, dans l'ensemble, les crues ont été fortes et d'autres pendant lesquelles elles ont été faibles, une faible crue pouvant néanmoins survenir au cours d'une série de fortes crues ou vice versa. Par ailleurs, les oscillations périodiques sont de faible amplitude par rapport aux fluctuations irrégulières.

Nous citerons également les résultats obtenus récemment par P. QUEZEL dans une étude paléoclimatologique du SAHARA basée sur des analyses de pollens fossiles. Entre le 8^{ème} et le 6^{ème} millénaires avant J.C. le SAHARA a connu un climat méditerranéen humide qui est devenu progressivement plus chaud et plus sec pour faire place à un climat sahélien entre 2800 et 500 ans avant J.C.

C'est à partir de 500 ans avant J.C. que s'est instauré rapidement le climat désertique actuel. Il ne semble donc pas que celui-ci ait subi de modifications très sensibles depuis le début de l'ère chrétienne. Par l'étude de textes anciens (HERODOTE notamment) traitant du mode de vie des populations, de leurs méthodes de culture, de leurs procédés d'irrigation etc... et à la suite de la remise en fonctionnement de certains captages et aqueducs de l'époque romaine, J. TIXERONT a pu aboutir à des conclusions analogues sur la stabilité du climat de l'Afrique du Nord pendant la période historique. Il est tout à fait vraisemblable qu'il en a été de même pour la zone tropicale et l'on pourra admettre qu'à l'échelle des nécessités pratiques le climat du bassin du NIGER reste très stable et subit seulement les fluctuations irrégulières d'hydraulicité que nous avons décrites dans ce chapitre.

(1) Cf. "Monographie du lac TCHAD" de P. TOUCHEBEUF. 1969 ORSTOM.

A N N E X E S

=====

TABLEAUX des débits observés :

- a) Débits moyens mensuels
- b) Etiages absolus
- c) Crues annuelles
- d) Débits caractéristiques

aux stations suivantes :

I - NIGER	à	FARANAH
II - "	"	KOUROUSSA
III - "	"	DIALAKORO
IV - "	"	KOULIKORO
V - NIANDAN	à	BARO
VI - MILO	à	KONSANKORO
VII - "	"	KANKAN
VIII - SANKARANI	à	MANDIANA
IX - "	"	GOUALA
X - TINKISSO	à	TINKISSO
XI - BAOULE	à	BOUGOUNI
XII - "	"	DIOILA
XIII - BAGOE	à	GUINGUERINI
XIV - "	"	TOMBOUGOU
XV - "	"	KOUTO
XVI - "	"	PANKOUROU

XVII	-	BANI	à	DOUNA
XVIII	-	"	"	BENENY - KEGNY
XIX	-	"	"	SOFARA

- MISE A JOUR DES DONNEES DE KOULIKORO (1969)

TABLEAUX I

NIGER à FARANAH

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Modules
1955						(85)	124	136	(198)	(233)	157	73	(90)
1956	36	25	15,7	(9,8)	(8,9)	53	91	83	110	108	58	33	53
1957	16,3	7,9				33,7	97	144	241	253	173	65	(87)
Moyennes brutes s/la pé- riode	26,2	16,5	15,7	9,8	8,9	57	104	121	183	198	130	57	78

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Etiages absolus

Pas connus exactement de
1955 à 1957, mais inférieurs à
7 m³/s

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	4 Octobre(?)	277 (?)	87,0
1956	25 Septembre	174	54,8
1957	11 Octobre	297	93,4

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1955			60	136	254			18,9	42,8	79,9
1956	< 7	19	36	82	153	< 2,2	6,0	11,3	25,8	48,1
1957	< 7		51	154	278	< 2,2		16,0	48,4	87,4

TABLEAUX II

NIGER à KOUROUSSA

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Modules
1923								383	899	669	(540)		(270)
1925								652	(1220)				
1926							345	644	1175				
1945								366	459	753	225		(210)
1946								395	620	675	274		(230)
1947							(160)	287	629	452	(110)		(180)
1948							(260)	427	972	791	315	(115)	(270)
1949							(130)	495	930	462	235	(65)	(220)
1950							94	160	549	673	242		(185)
1951							334	539	781	728	947	207	(320)
1952							180	354		773	263		(240)
1953							(400)						
1954					34	111	231	356	724	690	553	300	(275)
1955	133	71	37	27	36	180	363	492	1151	1018	497	272	358
1956	132	87	45	27	23	76	214	312	577	444	218	106	189
1957	46	21	12	7	8	47	221	497	1074	1096	509	199	313
Moyennes brutes s/la pé- riode	104	60	31	20	25	104	244	424	840	710	379	181	261

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Etiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	27 Avril	19	1,06
1956	29 Mai	15	0,83
1957	fin Avril-début Mai	6	0,33

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1923	28 Septembre	1057	58,8
1925	15 Septembre	1415	78,6
1926	15 Septembre	1415	78,6
1945	4 Octobre	1126	62,5
1946	16 Septembre	991	55,1
1947	29 Septembre	816	45,3
1948	25 Septembre	1510	83,9
1949	10 Septembre	1057	58,8
1950	1er Octobre)	844	46,9
	14 Octobre)		
1951	12 Novembre	1643	91,3
1952	4 Octobre (?)	≥ 1073	≥ 59,6
1954	22 Octobre	887	49,3
1955	30 Septembre	1710	95,0
1956	25 Septembre	867	48,2
1957	20/22 Septembre	1339	74,3

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1923				(420)	1023				(23,4)	56,8
1925					1358					75,5
1926					(1250)					(69,5)
1945				205	873				11,4	48,5
1946				282	765				15,7	42,5
1947				235	765				13,1	42,5
1948				332	1266				18,5	70,3
1949				282	1023				15,7	56,8
1950				190	790				10,6	43,9
1951				624	1213				34,7	67,4
1954			178	492	802			9,9	27,4	44,6
1955	22	52	215	513	1571	1,22	2,90	12,0	28,5	87,3
1956	20	44	122	245	682	1,11	2,44	6,8	13,6	37,9
1957	6	14	107	505	1245	0,33	0,78	5,9	28,1	69,2

TABLEAUX III

NIGER à DIALAKORO

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Modules
1952					98	205	1045	2440	3470	3770	1490	602	(1160)
1953	366	195	139	94	112	615	1680	3380	4360	3775	1540	730	1415
1954	430	255	160	167	205	564	1492	2967	4453	3535	2267	1173	1472
1955	554	305	223	158	222	711	1674	3149	4571	4199	2016	908	1564
1956	497	285	179	135	91	217	860	1707	3597	3191	1249	568	1049
1957	301	142	82	38	59	321	1160	2741	4414	4562	2416	828	1428
Moyennes brutes sur la période	430	236	156	118	131	438	1318	2730	4144	3839	1830	801	1353

Les débits de 1952 & 1953 ont été établis à partir de ceux de la station de TIGUIBERI.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1953	12 au 16 Avril	79	1,11
1954	31 Mars	114	1,61
1955	28 Avril	101	1,42
1956	29 Mai	72	1,01
1957	16 & 17 Mars	30	0,42

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1952	7 Octobre	4410	62,1
1953	5 Octobre	4640	65,4
1954	9 Septembre	4760	67,0
1955	24 Septembre	5370	75,6
1956	28 Septembre	4740	66,8
1957	20 Septembre	4910	69,1

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1952			440	1875	4170			6,2	26,4	58,7
1953	84	145	695	3440	4490	1,18	2,04	9,8	48,4	63,3
1954	128	245	760	2580	4540	1,80	3,45	10,7	36,4	64,0
1955	120	270	760	2560	5270	1,69	3,80	10,7	36,1	74,2
1956	86	170	543	1290	4430	1,21	2,39	7,6	18,2	62,5
1957	35	101	615	2565	4860	0,49	1,42	8,7	36,1	68,5

TABLEAUX IV

NIGER à KOULIKORO

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1907					52	274	823	1900	3808	3126	1983	920	1140
1908	352	160	73	36	34	205	668	2315	(4300)	(4000)	1664	793	1219
1909	314	163	93	60	184	897	1921	4902	6294	4569	2712	1128	1945
1910	515	191	87	52	47	192	848	3058	4542	3713	1432	573	1277
1911	248	90	48	32	53	306	1194	4133	6257	4147	1754	783	1593
1912	364	163	84	38	28	84	936	2315	4599	4704	1679	677	1309
1913	366	154	50	24	28	131	656	1284	3120	2335	1383	515	839
1914	203	59	42	53	89	286	602	1206	3689	3196	1162	587	934
1915	199	67	31	29	105	614	1586	2908	4878	3788	1481	656	1368
1916	345	165	67	38	45	147	1428	3382	5106	4182	1244	486	1390
1917	235	118	75	24	43	250	784	3621	5936	3756	1496	957	1447
1918	464	232	121	124	173	898	1685	4030	4632	4186	1832	857	1611
1919	398	192	120	48	58	597	1605	3268	4757	3790	1430	637	1415
1920	292	124	65	46	71	381	1518	2657	4434	3185	1454	629	1240
1921	264	118	74	43	42	104	709	2393	4058	2867	1227	586	1045
1922	220	106	46	32	95	219	622	2293	4535	5695	2406	1113	1456
1923	470	187	88	138	99	328	1388	3032	5051	4283	2451	1009	1550
1924	472	259	115	44	36	235	1883	5093	7344	7088	2616	1069	2194
1925	546	272	134	72	88	477	1595	4134	6859	8558	3918	1358	2346
1926	675	358	152	78	61	559	2192	3820	5929	4054	1795	937	1725
1927	457	195	83	43	96	291	1564	3230	5651	6234	4107	1332	1948
1928	617	286	120	61	131	411	1289	5107	7709	6054	2964	1126	2165
1929	608	260	163	107	120	784	2353	4261	6228	6385	2542	1022	2080
1930	519	293	153	93	88	925	1825	4674	6118	5884	2657	1013	2030

a) Débits moyens mensuels (suite)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1931	558	271	127	166	327	947	1702	3877	5584	4731	1676	889	1750
1932	553	271	136	118	166	570	1769	3250	6599	4782	2187	971	1783
1933	485	229	142	88	94	500	2020	3978	6214	3523	1476	893	1644
1934	430	201	102	62	52	145	957	3642	5056	4194	2057	809	1482
1935	362	187	77	54	39	97	1124	4037	5224	4160	1478	612	1462
1936	266	127	76	44	357	694	1381	3023	5514	5836	2104	998	1706
1937	424	197	112	93	98	206	864	2310	4786	4033	1828	655	1305
1938	290	130	83	58	55	183	751	3107	5322	4780	2171	720	1477
1939	312	138	67	39	73	260	669	2262	4613	4925	2023	838	1357
1940	370	158	84	45	47	180	909	2671	3516	3657	1867	657	1183
1941	297	142	59	32	42	218	942	2420	5368	3093	1487	709	1237
1942	324	150	65	46	121	290	753	2251	4104	2155	1213	596	1008
1943	233	108	47	44	72	165	667	2159	4762	3988	1479	539	1192
1944	245	106	43	28	49	111	472	1798	4445	2828	1333	528	1001
1945	199	93	39	23	34	117	434	2772	4592	4266	1631	592	1238
1946	217	101	41	41	79	287	957	3034	4825	5275	2460	854	1522
1947	371	154	62	25	30	165	911	2599	5002	4333	1231	482	1286
1948	183	85	47	31	51	322	1643	3882	6086	4516	2088	757	1644
1949	365	190	108	98	82	122	619	3332	6281	3478	1433	656	1400
1950	286	145	74	42	65	128	730	2518	5198	5547	2391	768	1497
1951	374	207	142	87	221	544	1583	3753	5349	5431	5433	1814	2085
1952	751	419	208	116	100	186	1208	3221	5134	5513	2316	906	1677
1953	508	238	143	81	97	560	2174	4436	6575	5152	2373	1069	1959
1954	608	325	195	188	208	642	1947	4284	6127	5148	3280	1674	2061
1955	760	432	289	207	222	677	2037	4076	6095	5985	2763	1286	2064

a) Débits moyens mensuels (suite & fin)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1956	659	377	238	174	127	198	980	2272	4807	4561	1733	769	1410
1957	394	186	108	56	71	323	1333	3850	6495	6915	3851	1253	2056
1958	627	376	163	140	267	824	1489	2221	4521	4440	2241	1387	1564
1959	610	332	171	85	101	320	1402	3044	5759	4500	1858	767	1585
1960	368	170	81	55	78	295	1422	3816	5958	4941	2246	851	1693
1961	371	162	75	(30)	67	90	967	3028	5432	3374	1299	493	1286
1962	199	87	(35)	(30)	(120)	(204)	1117	3366	7257	6094	2839	1189	1885
1963	500	261	163	63	123	129	658	2482	4895	6010	2830	877	1590
Moy. 1907- 1963	395	196	101	67	98	353	1230	3200	5250	4490	2060	855	1520

Nota : Voir "mise à jour des données de Koulikoro"

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1908	6 Mai	23	0,192
1909	17 Avril	37	0,308
1910	13 Mai	34	0,284
1911	12 Avril	23	0,192
1912	9 au 13 Mai - 17 au 19 Mai 13 au 15 Juin	26	0,217
1913	19 & 23 Avril	19,5	0,163
1914	17 & 18 Avril - 20 & 21 Mars	36	0,300
1915	3 Mai	21	0,175
1916	28 au 31 Mars - 16 au 18 Avril	36	0,300
1917	16 & 17 Avril - 30 Avril	18	0,150
1918	27 & 28 Mars - 1er & 8 Avril 16 au 18 Avril	85	0,708
1919	22 & 23 Avril	35	0,292
1920	29 & 30 Avril	37	0,308
1921	27 Avril au 1er Mai 9 au 11 Mai	36	0,30
1922	23 & 24 Avril	19	0,16
1923	3 & 4 Avril	48	0,40
1924	16 & 17 Mai	27	0,225
1925	6 - 7 & 8 Mai	48	0,40
1926	23 Mai	51	0,425
1927	13 au 15 Avril	26	0,215
1928	14 Avril	39	0,325
1929	18 Avril	89	0,74
1930	28 Avril au 17 Mai	66	0,55
1931	30 Mars	66	0,55
1932	11 Avril	105	0,875
1933	29 Avril	64	0,535
1934	24 Mai	39	0,325
1935	18 Mai	36	0,30
1936	14 & 15 Avril-23 & 24 Avril	38	0,315
1937	28 Avril	73	0,61
1938	30 Avril	31	0,26
1939	30 Avril	27	0,225
1940	9 - 10 & 12 Mai	34	0,285
1941	28 Avril au 1er Mai	23	0,19
1942	7 & 8 Avril	32	0,265
1943	25 & 26 Mars	30	0,25
1944	10 au 13 Avril-24 au 27 Avr.	25	0,21
1945	30 Avril au 3 Mai	19	0,16

b) Débits d'étiages absolus (suite)

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1946	7 Avril	28	0,235
1947	18 au 20 Avril	21	0,175
1948	13 Avril	26	0,215
1949	7 Mai	61	0,51
1950	15 au 18 Avril	34	0,285
1951	25 & 26 Avril	69	0,575
1952	28 & 29 Avril	78	0,65
1953	20 au 23 Avril	60	0,50
1954	5 & 6 Avril	130	1,08
1955	2 Mai	137	1,14
1956	2 au 4 Juin	107	0,89
1957	23 Avril	36	0,30
1958	29 Mars au 4 Avril	114	0,95
1959	24 au 26 Mars & 2 Mai	67	0,56
1960	10 & 11 Mai	36	0,30
1961	Avril	<34	<0,28
1962	Avril	<30	<0,25
1963	20 au 25 Avril	51	0,425

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1907	20/09	4290	35,8
1908	01/10	> 5000	> 41,7
1909	11/09	5960	58,0
1910	12-14/09	4830	40,3
1911	06/07/09	6740	56,1
1912	21/09	5610	46,8
1913	18/09	3646	30,4
1914	04/10	4467	37,2
1915	17-18/10	5285	44,0
1916	28-29/09	6000	50,0
1917	19-24/09	6900	57,5
1918	18/09 -09-11/10	4980	41,5
1919	22/09	5375	44,8
1920	25-26/09	4980	41,5
1921	21-22/09	5375	44,8
1922	19/10	6360	53,0
1923	01/10	5505	45,9
1924	05/10	9500	79,1
1925	05/10	9700	80,8
1926	23/09	7020	58,5
1927	08/10	6980	58,1
1928	21/09	8740	72,8
1929	11/10	7560	63,0
1930	09-12/10	6840	57,0
1931	25-28/09	6440	53,7
1932	19/09	7740	64,5
1933	13/09	7400	61,7
1934	09/09	5910	49,3
1935	30/09 - 01/10	5790	48,3
1936	06-07/10	7610	63,4
1937	12/09	5140	42,8
1938	06-07/10	6380	53,2
1939	06/10	5670	47,3
1940	18/10	4010	33,4
1941	20/09	6170	51,4
1942	12/09	4920	41,0
1943	04/06/10	5220	43,5
1944	20/09	4920	41,0
1945	03/10	5240	43,60

c) Crues annuelles (suite)

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1946	08/10	5580	46,5
1947	02/10	6220	51,8
1948	02/10	6540	54,5
1949	22/09	6940	57,8
1950	30/09	6440	53,7
1951	17/11	6420	53,5
1952	21/09	6280	52,3
1953	04-10-11/09	6960	58,0
1954	21/09	6480	54,0
1955	29/09	7455	62,1
1956	30/09 - 01/10	6210	51,8
1957	21/09	7640	63,7
1958	09/10	5620	47
1959	28/09	7220	60
1960	30/09 - 01/10	6740	56
1961	18-19/09	6320	52,5
1962	25/09	8440	70,5

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1907			594	1888	3865			4,95	15,7	32,2
1908	26	89	425	1680	5000	0,217	0,742	3,54	14,0	41,7
1909	44	135	920	3520	6600	0,367	1,13	7,67	29,3	55,0
1910	40	97	550	2065	4671	0,334	0,810	4,58	17,2	38,9
1911	26	70	522	2730	6440	0,217	0,583	4,35	22,7	53,7
1912	26	69	467	1780	5300	0,217	0,575	3,89	14,8	44,2
1913	21	59	380	1200	3390	0,175	0,491	3,17	10,0	28,3
1914	39	78	390	1120	4164	0,325	0,650	3,25	9,3	34,6
1915	25	66	643	2200	5055	0,208	0,550	5,36	18,3	42,2
1916	37	110	390	2182	5760	0,308	0,917	3,25	18,2	48,0
1917	20	95	367	1802	6640	0,167	0,792	3,06	15,0	55,3
1918	89	198	920	2987	4905	0,743	1,65	7,67	24,9	40,9
1919	37	147	975	2180	5300	0,308	1,23	8,13	18,2	44,2
1920	40	99	539	1977	4671	0,334	0,825	4,49	16,4	38,9
1921	37	82	367	1390	4905	0,308	0,683	3,06	11,6	40,9
1922	30	97	390	2348	6137	0,250	0,810	3,25	19,6	51,1
1923	56	153	660	3001	5460	0,467	1,27	5,50	25,0	45,5
1924	30	119	690	3716	9180	0,250	0,991	5,75	31,0	76,5
1925	62	186	850	3936	8940	0,517	1,55	7,08	32,8	74,5
1926	56	165	785	2652	6720	0,467	1,38	6,54	22,1	56,0
1927	34	115	778	3830	6640	0,284	0,958	6,48	27,8	55,3
1928	48	189	817	3661	8080	0,400	1,57	6,81	30,5	67,4
1929	105	192	762	3320	7340	0,875	1,60	6,35	27,6	61,1
1930	66	209	990	3661	6740	0,550	1,74	8,25	30,5	56,2
1931	95	275	817	2730	6155	0,792	2,29	6,81	22,7	51,3
1932	109	183	748	2493	7180	0,908	1,52	6,23	20,7	59,8
1933	78	140	783	2348	6840	0,650	1,17	6,53	19,6	57,0
1934	45	99	846	2550	5760	0,375	0,825	7,05	21,3	48,0
1935	38	87	469	2530	5550	0,317	0,725	3,91	21,1	46,2
1936	39	135	760	2282	7070	0,325	1,13	6,33	19,0	58,9
1937	81	135	504	2018	4900	0,675	1,13	4,20	16,8	40,8
1938	38	106	414	2460	6010	0,317	0,883	3,45	20,5	50,1
1939	30	112	459	2210	5560	0,250	0,933	3,83	18,4	46,3
1940	37	97	484	2035	3825	0,308	0,810	4,03	16,9	31,9

TABLEAUX V

NIANDAN à BARO

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1913								307	652	496	250	101	(180)
1947					19,1	96	336	437	815	508	172	72	(220)
1948						200	372	640	821	459	276	104	(260)
1949	53	34	24,5	16,4	15,7	26	98	390	(800)	383	252	99	(180)
1950	35	43	26,3	23,6	26,0	42	135	326	783	565	252	96	197
1951	62	27,5	35	20,9	107	186	486	733	680	848	738	190	345
1952	106	42	39	23,7	31,6	80	273	580	809	804	352	129	274
1953	39	20,8	24,2	23,4	37	292	445	738	920	698	365	172	316
1954	115	62	40	63	77	188	378	509	846	669	530	271	313
1955	130	70	76	52	93	245	520	726	1069	728	377	199	358
1956	107	64	48	44	39	89	(339)	295	(600)	(450)	(250)	132	(200)
1957	65	35	29,1	12,7	32	155	497	607	980	849	422	174	323
Moyennes brutes s/la période	79	44	38	31	48	145	353	524	816	621	353	145	267

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1949	30/4 9-10/4	13,7	1,08
1950	14-15/04	16,6	1,32
1951	17-18/04)		
	27-31/03)	16,6	1,32
	07-10/04)		
1952	15-20/04	16,6	1,32
	06-07/05		
1953	12-16/02	19,4	1,54
1954	22-23/03	26,2	2,08
1955	24/04	37	2,94
1956	27/05	22,4	1,78
1957	11/04	5,2	0,41

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1913	08 Sept.	809	64,2
1926	15 Sept.	1396	110,8
1947	24 Sept.	919	73,0
1948	29 Août	1175	93,3
1949		(900)?	
1950	22 Sept.	1015	80,0
1951	08 Novemb.	1320	104,9
1952	09 Sept.	1045	83,0
	07 Octobre		
1953	27 Août	1130	89,6
1954	04 Sept.	1040	82,6
1955	20 Sept.	1490	118,2
1956			
1957	11 Sept.	1210	96,1

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1913					718					57,1
1947			78	385	850			6,2	30,6	67,5
1948			108	400	866			8,6	31,8	68,8
1949	14,7	20,4	65	295		1,17	1,62	5,2	23,4	
1950	20,4	32,1	56	281	850	1,62	2,55	4,4	22,3	67,5
1951	16,6	45	185	610	1135	1,32	3,57	14,7	48,4	90,1
1952	16,6	36	123	431	997	1,32	2,86	9,8	34,2	79,2
1953	20,4	26	185	533	1010	1,62	2,06	14,7	42,3	80,2
1954	32,1	70	198	515	934	2,55	5,56	15,7	40,9	74,2
1955	44	87	173	560	1230	3,49	6,91	13,7	44,4	97,7
1956	29,2	60	119			2,32	4,76	9,5		
1957	9,9	34,1	177	563	1110	0,79	2,71	14,0	44,7	88,1

TABLEAUX VI

MILO à KONSANKORO

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1955	(11)	(11)	13,4	12,2	20,7	60	43	88	93	55	28	24,7	38
1956	11,4	10,7	12,1	14,9	12,0	32,2	55	((60))	64	41	22,9	12,5	(29)
1957	7,1	3,5	6,9	4,6	13,8	21,0	20	64	127	((100))	((20))	((10))	(33)
Moyennes brutes s/la période	9,8	8,4	10,8	10,6	15,5	38	39	70	95	65	24	16	34

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1956	21 Mars	5,6	5,6
1957	9 Février	2,2	2,2

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	13 Septembre	260	260
1956	23 Septembre	167	167
1957	16 Septembre	276	276

(1) chiffre certainement supérieur à la moyenne par suite de la présence de l'année 1955.

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1955			25	48	129			25	48	129
1956	8,1	13,4	17,1	36 ?	79	8,1	13,4	17,1	36 ?	79
1957	2,7	6,9	18,3	18,3	160	2,7	6,9	18,3		160

TABLEAUX VII

MILO à KANKAN

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1938					40	76	187	461	725	528	199	78	(203)
1939	44	46	10	8	76	120	182	373	858	595	222	139	223
1940						92	278	484	470	460	193	97	(190)
1942					79	95	255	415	590	315	236	184	(190)
1943							229	500	611	514			(205)
1944						63	156	512	866	359			(205)
1947	46	22	19	8	18	108	294	447	774	383	124	60	193
1948	35	15	9	12	32	127	401	562	611	262	185	75	194
1949	40	24	26	37	34	38	229	596	798	342	161	70	200
1950	52	36	20	13	30	49	205	274	530	542	203	78	170
1951	50	36	33	34	81	148	396	603	632	688	529	152	283
1952	77	46	36	30	37	74	241	598	663	571	219	94	224
1953	65	30	29	19	27	170	343	580	672	458	198	105	226
1954	61	42	35	50	61	154	401	584	656	608	374	150	266
1955	80	44	49	46	70	203	407	590	756	636	236	125	272
1956	68	46	44	47	39	65	165	307	496	360	138	76	155
1957	39	21	19	15	29	87	273	462	709	629	241	104	220
Moyennes brutes s/la période	55	34	27	27	47	104	273	491	672	485	231	106	214

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1939	30/3 au 14/4	7	0,71
1947	30/3 au 26/4	8	0,81
1948	30/3 au 11/4	7	0,71
1949	6 au 11/3	12	1,21
1950	12 au 13/4	7	0,71
1951	22/2 au 7/3	26	2,62
1952	27/3 au 13/4	29	2,93
	14 au 22/3		
	5 au 30/4		
1953	10 au 13/5	10	0,99
	8 au 12/4		
	26 au 27/3		
1954	26 au 27/3	24	2,42
1955	23/4	30	3,03
1956	16/5	30	3,03
1957	4 au 8/4	10	0,99
	10/4		

c) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1938	30 Septembre	1021	103
1939	21 Septembre	1106	111,5
1940	16 au 8 Août	622	67,8
1942	4 Septembre	937	94,6
1943	2 Octobre	837	84,5
1944	7 Septembre	1106	111,5
1947	24 Septembre	979	98,9
1948	30 Août	748	75,6
1949	12 Septembre	979	98,9
1950	24 Sept. au	650	65,6
	1er Octobre, 8 au 13 Octobre		
1951	13 au 15 Août	818	82,6
1952	18-19 Août	954	96,3
1953	2 Septembre	833	84,2
1954	21-22 Octobre	789	79,7
1955	2 Octobre	1034	104,5
1956	30 Sept au 2	624	63,0
	Octobre		
1957	6 Octobre	887	89,6

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1938			75	289	908			7,6	29,2	91,8
1939	7	42	126	268	979	0,71	4,24	12,7	27,1	98,9
1940			96	309	568			9,7	31,2	57,4
1942			107	311	614			10,8	31,4	62,0
1943				278	727				28,1	73,5
1944				210	953				21,2	96,3
1947	8	22	77	316	848	0,81	2,22	7,8	31,9	85,7
1948	7	22	77	312	705	0,71	2,22	7,8	31,5	71,2
1949	15	30	59	243	937	1,51	3,03	6,0	24,5	94,7
1950	9	33	60	296	650	0,91	3,33	6,1	29,9	65,6
1951	26	42	137	584	732	2,63	4,24	13,8	59,0	73,9
1952	29	37	89	356	760	2,93	4,74	9,0	36,0	76,8
1953	14	29	115	363	702	1,41	2,93	11,6	36,7	71,0
1954	31	54	130	512	721	3,13	5,45	13,1	51,7	72,9
1955	35	59	128	430	971	3,54	5,96	12,9	43,4	98,1
1956	34	46	72	220	601	3,44	4,65	7,3	22,2	60,7
1957	11	22	102	376	829	1,11	2,22	10,3	38,0	83,7

TABLEAUX VIII

SANKARANI à MANDIANA

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1954							487	851	1112	949	540	247	(386)
1955	137	83	81	59	71	199	373	756	975	800	334	188	340
1956	116	67	50	49	40	86	221	565	862	575	233	122	249
1957	65	36	25	23	40	112	283	704	1002	1154	508	214	349
Moyennes brutes s/la période	105	62	52	44	50	132	341	719	988	870	404	193	332

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	23 Avril	42	1,92
1956	15-16 Mai 28 Mai	33	1,51
1957	05/10 Avril	15	0,69

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1954	13 Septembre	1197	54,6
1955	24 Août	1151	52,6
1956	22 Septembre	990	45,2
1957	11 Novembre	1334	61,0

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1954				731	1132				33,4	51,7
1955	53	82	172	540	1054	2,42	3,75	7,85	24,7	48,2
1956	34	53	121	288	914	1,55	2,42	5,52	13,2	41,7
1957	16	38	150	625	1257	0,73	1,74	6,85	28,6	57,4

TABLEAUX IX

SANKARANI à GOUALA

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1954			(45)	44	51	124	296	(850)	(1470)	1330	895	313	468
1955	159	91	75	54	61	173	408	990	1470	1310	495	237	463
1956	126	73	54	44	38	60	208	630	1230	1000	326	151	329
1957	76	42	27	17	33	117	288	1040	1770	1800	800	269	525
Moyennes brutes s/la période	120	69	50	40	46	119	300	878	1485	1360	629	243	447

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1954	29 Mars au 05 Avril	28	0,793
1955	25 Avril	39	1,10
1956	20 Mai	30	0,850
1957	17 Avril	11,7	0,331

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1954	17 & 21 Sept.	1590	45,0
1955	27 Septembre	1700	48,2
1956	06 Octobre	1400	39,7
1957	15 Septembre	2140	60,6

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1954	32	56	180		1560	0,907	1,59	5,10		44,2
1955	45	79	205	742	1660	1,27	2,24	5,81	21,0	47,0
1956	33	53	141	395	1340	0,935	1,50	3,99	11,2	38,0
1957	13,4	38	158	880	2000	0,380	1,08	4,48	24,9	56,7

TABLEAUX X

TINKISSO à TINKISSO

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1955						34	86	248	264	289	133	54	97,7
1956	33	20	10	4,9	3,3	11	45	195	291	267	97	43	85,2
1957	25	14	6,8	2,6	1,7	8,6	50	170	277	296	207	57	93,5
Moyennes brutes s/la période	30	18	8,6	4,1	3,2	16,3	56	204	277	284	146	51	91,9

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955			
1956	27 Mai	2,3	0,359
1957	31 Mai	1,0	0,156

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	30 Septembre	305	47,7
1956	24-25 Sept.	297	46,4
1957	22-23 Sept.	315	49,2

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1955			47	229	300			7,34	35,8	46,9
1956	2,6	9,7	35	131	294	0,406	1,52	5,47	20,5	45,9
1957	1,2	6,7	26	195	310	0,188	1,05	4,06	30,5	48,4

TABLEAUX XI

BAOULE à BOUGOUNI

a) Débits moyens mensuels

m^3/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1956					(2,7)	3,2	27,6	294	441	316	107	44	(106)
1957	19,8	9,5	5,3	1,7	1,2	6,7	55,5	486	674	783	324	106	207
Moyennes brutes s/la période	19,8	9,5	5,3	1,7	2,0	5,0	41,5	390	558	550	215	75	157

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Etiage absolu

Année	Date	Débit m ³ /s	Débit spécifique l/s.km ²
1957	6 Mai	0,9	0,057

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1956	22 Sept.	498	31,8
1957	09 Octobre	891	56,8

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1956				128	475				8,15	30,8
1957	1,0	6,0	17,5	400	869	0,064	3,82	1,11	25,5	55,3

TABLEAUX XII

BAOULE à DIOILA.

a) Débits moyens mensuels
m3/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Modules
1953					2	48	129	581	1373	696	359	123	(286)
1954	85	43	14	9	5	16	149	609	1188	798	480	191	300
1955	89	52	41	24	10	70	189	729	792	682	340	140	264
1956	44	21	18	5	2	2	24	327	688	537	156	77	159
1957	37	17	4	1	2	9	102	522	866	1095	475	173	277
Moyennes brutes s/la période	64	33	19	10	4	29	119	554	981	762	362	141	257

b) Débits d'étiages absolus

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1953	Mai	0	0
1954	3-9 Mai	0	0,123
	25-26 Mai		
	28 Mai au 3 Juin		
1955	19-22 Mai	5	0,154
1956	20-21 Mai	1	0,031
1957	12-18 Mai	0	0

c) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1953	16 Septembre	1580	48,6
1954	21 Septembre	1540	47,3
1955	21 Août	842	26,0
1956	21-22 Sept.	747	23,0
1957	20 Octobre	1276	39,2

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1953			61	416	1476			1,88	12,8	45,4
1954	4	15	90	517	1380	0,123	0,46	2,77	15,9	42,4
1955	8	40	112	509	822	0,246	1,23	3,45	15,7	25,3
1956	2	5	28	148	730	0,062	0,154	0,86	4,55	22,5
1957	1	5	47	492	1199	0,031	0,154	1,45	15,2	36,9

TABLEAU XIII

BAGOE à GUINGUERINI (1,042 km²)

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module m ³ /s	Débit spécifique l/s.km ²
1955	(5,0)	(3,2)	2,77	(1,5)	(0,9)	10,83	31,13	59,2	50,81	19,76	(15,0)	6,15	16,95	16,3
1956	3,41	2,2	(1,3)	(0,2)	(0,02)	(0,6)	2,60	14,97	45,2	27,4	(6,6)	2,92	(8,96)	8,6
1957	(1,35)	0,7	(0,07)	(0,1)	(0,4)	2,876	15,90	47,0	72,0	37,2	15,11	6,16	16,6	16,0
1958	6,15	2,57	(0,8)	(0,4)	(1,0)	(3,6)	6,52	19,0	31,34	27,14	6,92	3,52	9,03	8,7
1959	(1,4)	(0,4)	(0,07)	(0,006)	(0,1)	(2,09)	10,68	27,82	65,41	16,60	4,96	1,7	10,95	10,5
1960	(0,4)	0,045	0,005	0,115	0,078	0,907	27,4	20,8	65,95	25,85	6,59	2,07	12,5	12,0
1961	0,66 ⁱ	0,092	0,033	0,003	0	0	4,34	35,8	49,27	18,00	4,87	1,29	9,56	9,15
1962	0,25	0,06	0,015	0,001	0,044	0,096	(5,35)	27,9	79,20	36,20	13,10	5,60	14,0	13,45
Moyenne probable	0,7	0,2	0,07	0,02	0,1	1,5	11	30	65	26	7,0	2,2	12	11,5

b) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1955	23 Août	92	88
1956	13 Septembre	67	64
1957	13 Septembre	100	96
1958	4 Octobre	67	64
1959	11 Septembre	125	120
1960	21 Septembre	185	177
1961	31 Août	120	115
1962	6 Septembre	190	182

TABLEAU XIV

BAGOE à TOMBOUGOU (2 580 km²)

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module m ³ /s	Débit Spécifique l/s.km ²
1955	(0,7)	(4,0)	(3,2)	2,62	2,66	24,0	111,5	198				10,45		
1956	4,0	2,04	2,04	3,23	2,61	2,48	2,94	35,6	141,5	77,6	(15,6)	4,16	(24,4)	9,45
1957	2,56	2,28	1,95	1,4	1,98	2,74	23,8	134,5	199,5	132	45,8	15,0	47,1	18,3
1958	7,48	4,11	2,21	(1,4)	(1,8)	(4,2)	14,05	51,5	83,9	66,1	15,75	6,20	(21,65)	8,3
1959	2,62	1,7	(0,5)	(0,3)	(2,39)	10,35	64,4	159,5	58,6	11,75	3,45	3,45	(26,4)	10,2
1960	(0,9)	(0,24)	(0,06)	0,487	0,373	0,65	39,3	41,0	181,5	77,5	15,65	4,21	30,6	11,9
1961	1,57	(0,40)	(0,06)	(0,035)	(0,014)	(0,01)	(8,7)	58,5	138	39,45	9,62	2,59	21,6	8,4
1962	(0,65)	(0,20)	(0,05)	(0,010)	(0,1)	(0,2)	(5,5)	47,9	199	81	29	12,70	(31,3)	12,1
Moyenne probab.	1,75	0,55	0,175	0,05	0,20	2,5	19	60	160	75	17,5	5,5	28,5	11,0

b) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1956	15 Septembre	230	89
1957	27 Septembre	365	141
1958	5 Octobre	150	58
1959	2 Septembre	190	74
1960	22 Septembre	395	153
1961	1 Septembre	185	72
1962	3 Septembre	355	137

TABLEAU XV

BAGOE à KOUTO (4 740 km²)

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module m ³ /s	Débit spécifique l/s.km ²
1960	(3,7)	(1,6)	(0,7)	(0,5)	(0,2)	(0,2)	44,9	55,0	223,5	167,5	35,1	10,4	45,3	9,6
1961	3,73	1,42	0,70	0,21	0,064	0,126	7,45	63,25	185	82,1	20,85	7,17	31,0	6,5
1962	(3,0)	(0,8)	(0,25)	(0,05)	0,18	0,18	5,37	44,3	252	154	54	26,8	45,0	9,5
Moyenne probable	3,75	1,5	0,7	0,4	0,2	0,2	20	55	225	140	35	10	41	8,65

b) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1960	24 Septembre	420	89
1961	11 Septembre	225	47
1962	9 Septembre	405	85

TABLEAU XVI

BAGOE à PANKOUROU

a) Débits moyens mensuels
m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1956						10,2	32,7	405	912	684	229	87	(203)
1957	40	23,3	8,8	2,2	2,6	16,5	136	765	1247	1274	538	190	355
Moyennes brutes s/la période	40	23,3	8,8	2,2	2,6	13,4	84	585	1080	979	384	139	280

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Etiage absolu

Année	Date	Débit m ³ /s	Débit spécifique l/s.km ²
1957	22 Avril	1,1	0,035

c) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1956	24 Septembre	983	31,0
1957	8 Octobre	1398	44,0

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1956				234	953				7,36	30,0
1957	1,5	9,1	47	666	1378	0,047	0,29	1,48	21,0	43,3

TABLEAUX XVII

BANI à DOUNA

a) Débits moyens mensuels et modules (m^3/s)
(périodes 1922-1937 & 1949-1957)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1922						39	86	775	2379	3173	1633	449	
1923	163	85	68	51	54	46	97	795	1834	1620	730	281	487
1924	141	93	55	33	23	32	379	1840	3028	(3700)	1595	416	949
1925	187	112	68	46	40	43	51	1144	2512	2719	1935	602	790
1926	227	137	73	44	43	50	153	991	1456	1113	486	230	418
1927	125	91	64	45	39	51	214	1181	2780	2594	1611	639	788
1928	287	170	98	50	30	37	101	1286	2958	2844	1651	673	848
1929	258	127	67	41	25								
1930						55	163	1105	2770	(2050)	890	350	
1931	54	33	22	15	23	40	197	1806	2405	2450	737	147	664
1932	61	30	35	29	19								
1933													
1934	92	89	74										
1935							138						
1936	133	94	88	71	(50)	(70)	184	1550	2811	2556	899	347	(750)
1937	155	97	71										
1949										(1650)	348	156	
1950	72	38	(20)	(15)	(10)	(15)	(73)	987	2595	2568	(1356)	356	(680)
1951	136	84	45	18	13	11	(100)	866	2259	2783	2283	988	801
1952	294	151	85	40	25	23	174	946	2214	3334	2063	527	824
1953	236	129	76	44	33	89	338	1829	3154	2614	1100	405	840
1954	213	125	75	48	35	69	289	1504	3164	2944	1768	692	913
1955	283	167	107	71	(46)	77	297	2129	2786	(2588)	1331	(570)	(875)
1956	262	148	92	61	40	41	64	791	2171	1995	835	312	568
1957	148	91	59	36	31	54	198	1331	2654	3002	1719	481	820
Moyenne brute s/la période d'observation	176	104	70	44	32	47	184	1270	2552	2556	1312	447	735

N.B. : Les valeurs entre parenthèses sont des estimations.

b) Débits d'étiages absolus

$$A = 101\ 600\ \text{km}^2$$

Périodes 1922-1937 & 1950-1957

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1922	10/06	28	0,276
1923	13 au 15/06	39	0,384
1924	09/06	17	0,167
1925	25-26/05	37	0,364
1926	30/04 au 2/5	36,5	0,360
1927	29-30/05	36,5	0,360
1928	30/05	25	0,246
1929	15/05	20,5	0,202
1930	Fin Mai	18	
1931	17/04	12	0,118
1932	08-09/05	15	0,148
1951	08 au 17/06	10	0,099
1952	06-09 & 13-18/06	20	0,197
1953	05 au 08/05	28	0,276
1954	21/05	29	0,286
1955	21-22/05	36	0,355
1956	25/05 au 2/6	31	0,306
1957	24 au 26/05	25	0,246

Valeurs extrêmes : 10 & 39 m³/s

Dates extrêmes : 17 Avril & 17 Juin

c) Crues annuelles

$$A = 101\,600 \text{ km}^2$$

Périodes 1922-1937 & 1950-1957

Année	Dates	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1922	12/10	3310	32,6
1923	27/09	2000	19,7
1924	14/10	(3840)	(37,8)
1925	23/10	2770	27,3
1926	13/09	1540	15,2
1927	21/09	2990	29,5
1928	26/09	3065	30,2
1930	29/09	2955	29,1
1931	07/10	3410	33,6
1936	01/10	2970	29,2
1950	24/09	2795	27,5
1951	15-16/10	2980	29,4
1952	20 au 23/10	3435	33,8
1953	22/09	3270	32,2
1954	27 au 30/09	3440	33,8
1955	08/10	2900	28,6
1956	24/09	2465	24,3
1957	19 au 22/10	3070	30,2

Valeurs extrêmes : 1540 et 3840 m³/s

Dates extrêmes : 13 Septembre & 23 Octobre

d) Débits caractéristiques

Superficie : 101 600 km²

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1922	34			1120	3268	0,338			11,00	32,2
1923	41	61	108	700	1979	0,404	0,600	1,06	6,54	19,4
1924	(17)	45	153	1700	(3800)	0,167	0,433	1,53	16,7	37,2
1925	38	46,5	245	1570	2745	0,372	0,457	2,41	15,4	27,0
1926	38	58	192	1150	1465	0,372	0,571	1,89	11,3	14,4
1927	37,5	55	125	1415	2956	0,370	0,541	1,23	13,9	29,0
1928	27	54	150	1405	3046	0,266	0,532	1,47	13,8	30,0
1929	21									
1930				883					8,69	
1931	14	28	75	1132	2910	0,137	0,276	0,738	11,1	28,8
1932	16									
1935			91					0,895		
1936		76	125	1070	2950		0,748	1,23	10,5	29,0
1950				1123	2760				11,1	27,2
1951	10	26		1720	2868	0,099	0,256		17,00	28,3
1952	20	46	240	1158	3413	0,197	0,453	0,237	11,4	33,6
1953	30	82	245	1323	3246	0,296	0,808	2,41	13,00	32,0
1954	32	71	225	1684	3413	0,316	0,700	2,22	16,6	33,6
1955	41	92	260	1735	2874	0,404	0,906	2,56	17,1	28,3
1956	34	59	185	764	2395	0,335	0,581	1,82	7,53	23,6
1957	27	54	148	1535	2892	0,266	0,532	1,46	15,1	28,5

TABLEAU XVIII

BANI à BENENY-KEGNY

S= 116 000 km²

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1950										(2280)			
1951							(95)	801	2001	2393	2000	1135	(760)
1952	367	177	99	62	47	37	128	1009	1919	2582	2371	1083	824
1953	342	137	91	61	43	98	420	1589	2495	2382	1253	503	788
1954	223	134	89	65	50	70	140	1075	2537	2501	1706	846	788
1955	323	175	116	81	58	80	248	1808	2401	2288	1441	626	807
1956	270	159	105	76	57	55	65	734	1895	1754	949	362	540
1957	164	105	74	53	49	60	171	1224	2264	2455	1782	667	757
Moyennes brutes s/la période	281	148	96	66	51	67	195	1177	2216	2336	1644	746	754

b) Débits d'étiages absolus

Période 1950-1957

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1950			
1951			
1952	22/6	32	0,28
1953	19/5	38	0,33
1954	31/5 et 1/6	45	0,39
1955	24-25/5	52	0,45
1956	31/5 et 1/6	49	0,42
1957	30/5	45	0,39

Valeurs extrêmes : 32 et 52 m³/s

Dates extrêmes : 19 Mai et 22 Juin

c) Crues annuelles

Année	Hauteur maximale		Débits maximaux		
	Date	Cote	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1950	av.11/10	+ de 8,16			
1951	26/10	8,25	13/10	2440	21,1
1952	5/11	8,56	23/10	2625	22,6
1953	13/10	8,55	1/10	2620	22,6
1954	14/10	8,61	28/9	2710	23,4
1955	16/10	8,23	13/9	2430	20,9
1956	6/10	7,64	25/9	2050	17,7
1957	30/10	8,31	7/10	2490	21,5

Valeurs extrêmes : 2050 et 2710 m³/s

Dates extrêmes : 6 Octobre et 5 Novembre (cote)

d) Débits caractéristiques

S = 116 000 km²

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1951				1720	2435				14,8	20,9
1952	36	59	256	1520	2610	0,310	0,508	2,20	13,1	22,5
1953	41	93	344	1380	2600	0,353	0,800	2,96	11,9	22,4
1954	47	82	185	1505	2700	0,405	0,705	1,59	12,9	23,3
1955	55	100	270	1645	2410	0,474	0,862	2,33	14,1	20,7
1956	51	69	195	830	2030	0,439	0,595	1,68	7,13	17,5
1957	46	67	152	1555	2480	0,396	0,578	1,32	13,8	21,4

TABLEAU XIX

BANI à SOFARA

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1952							81	765	1190	1517	(1600)	1119	(590)
1953	489	181	96	51	27	51	266	970	1414	1591	1327	810	608
1954	339	162	95	56	38	54	230	920	1415	1606	1467	1109	627
1955	545	233	131	80	49	63	258	1012	1437	1577	1396	943	646
1956	435	197	110	69	46	38	58	505	1182	1396	1090	589	477
1957	217	114	69	40	32	43	151	795	1319	1538	1549	1056	577
Moyennes brutes s/la période	405	177	100	59	38	50	174	828	1326	1538	1405	938	586

Les parenthèses indiquent qu'une partie des résultats ont été estimés ou interpolés.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1953	24 Mai au 1er Juin	24	0,185
1954	31 Mai	30	0,232
1955	28 Mai au 1er Juin	41	0,317
1956	2 au 5 Juin	34	0,262
1957	4 Juin	27	0,208

c) Crues annuelles

Année	Date	Débits m ³ /s	Débits spécifiques l/s.km ²
1952	Non observée	> 1625	-
1953	20 Octobre	1644	12,7
1954	27 au 31 Octobre	1640	12,7
1955	31 Oct. au 2 Nov.	1603	12,4
1956	21 au 28 Octobre	1433	11,1
1957	8 au 16 Novembre	1622	12,5

d) Débits caractéristiques

Année	Valeurs absolues m ³ /s					Valeurs spécifiques l/s.km ²				
	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1952				1143	(1625)				8,8	(12,6)
1953	25	77	663	1176	1632	0,193	0,695	5,12	9,1	12,6
1954	35	56	295	1323	1632	0,270	0,587	2,28	10,2	12,6
1955	43	98	742	1259	1599	0,332	0,757	5,73	9,7	12,4
1956	35	65	487	913	1429	0,270	0,502	3,76	7,05	11,0
1957	29	56	179	1234	1618	0,224	0,432	1,39	9,5	12,5

MISE à JOUR des DONNEES de KOULIKORO

(Novembre 1969)

Cinq ans après la rédaction de la première partie de la Monographie du NIGER, il a paru utile, avant de la mettre à l'impression, de faire état des données nouvelles recueillies à la station de KOULIKORO. La crue exceptionnelle du NIGER en 1967, qui a fait l'objet d'un article publié par G. JACCON dans les "Cahiers ORSTOM" (Série Hydrologie - Vol. V n° 1, 1968), a fourni pour cette station des informations particulièrement intéressantes.

HYDROMETRIE

En Septembre et Octobre 1967, on a pu effectuer six jaugeages de très hautes eaux pour des débits compris entre 6480 et 9160 m³/s, alors que les plus gros débits jaugés antérieurement n'excédaient pas 6000 m³/s.

A la suite de ces jaugeages, la courbe d'étalonnage de la station de KOULIKORO a été légèrement modifiée, comme suit :

Hauteurs cm	Débits (m ³ /s)		Hauteurs cm	Débits (m ³ /s)	
	Ancien étalonnage	Nouvel étalonnage		Ancien étalonnage	Nouvel étalonnage
150	424	400	550	4 670	4 450
200	696	700	600	5 460	5 250
250	1 050	1 000	650	6 240	6 100
300	1 498	1 430	700	7 250	7 000
350	2 000	1 900	750	8 240	7 970
400	2 605	2 480	800	9 230	9 070
450	3 250	3 100	825	9 700	9 670
500	3 940	3 720			

Les débits donnés par le nouvel étalonnage sont légèrement inférieurs à ceux de l'ancien étalonnage.

L'étalonnage des basses eaux n'est pas très stable à cause des modifications du lit. Des jaugeages d'étiage effectués entre Février et Avril 1960 ont conduit à adopter, pour 1960 et les années postérieures, un nouvel étalonnage de basses eaux qui ne prétend pas à une grande précision :

Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)	
	Ancien étalonnage	Nouvel étalonnage
0	21	
10	31	20
20	41	30
40	63	60
60	104	90
80	147	144
100	203	199
120	280	272
140	368	357

En conclusion, si l'étalonnage des moyennes et hautes eaux peut être considéré comme quasi définitif, celui des très basses eaux n'est qu'assez grossièrement approximatif et demanderait à être vérifié chaque année par une série de jaugeages.

MODULES

Le nouvel étalonnage conduit à modifier légèrement les modules et lames d'eau annuels de la station de KOULIKORO.

Les nouvelles valeurs M et H des modules et lames d'eau peuvent se déduire avec une bonne précision des anciennes valeurs M' et H' par les relations suivantes :

$$M = 0,96 M' - 10$$

$$H = 0,96 H' - 2,5$$

Dans le tableau IV, la corrélation entre lames d'eau et pluies annuelles devient, pour la station de KOULIKORO :

$$H = 0,625 (P - 936)$$

au lieu de $H' = 0,651 (P - 932)$

Les formules de corrélation entre les lames d'eau des différentes stations du bassin et celles de KOULIKORO, telles qu'elles sont données au sous-chapitre IV-A-b, sont de ce fait légèrement modifiées, mais les résultats de l'homogénéisation des lames d'eau (tableaux V et VI) restent inchangés.

Pour l'étude de la fréquence des lames d'eau annuelles (sous-chapitre III-b), on dispose maintenant des données de six années supplémentaires.

Année	H' (ancien étalonnage)	H (nouvel étalonnage)
1958	411 mm	393 mm
1959	417	400
1960	446	428
1961	338	324
1962	495	474
1963	419	400
1964	429	409
1965	400	381
1966	385	367
1967	528	504
Moyenne	427	408

Les données du tableau VIII, concernant la station de KOULIKORO, doivent subir deux corrections pour tenir compte de la modification d'étalonnage et de l'allongement de la période d'observation. L'importance respective de ces deux corrections apparaît dans le tableau ci-dessous :

Période d'observation	H médiane		Ecart-type		H décennale humide		H décennale sèche		H centenaire humide		H centenaire sèche	
	ancien étal.	nouv. étal.	ancien étal.	nouv. étal.	ancien étal.	nouv. étal.	ancien étal.	nouv. étal.	ancien étal.	nouv. étal.	ancien étal.	nouv. étal.
1907-57	406	387	96,3	91,7	529	505	280	266	629	601	-	-
1907-67		<u>391</u>		<u>87,5</u>		<u>503</u>		<u>279</u>		<u>595</u>		<u>187</u>

La correction d'étalonnage conduit à une légère diminution de l'ensemble des lames d'eau de diverses fréquences.

L'allongement de la période d'observations conduit à une petite augmentation de la lame d'eau médiane et à une légère réduction de l'écart-type. Ces deux variations tendent à se compenser partiellement pour les fréquences humides et à se cumuler pour les fréquences sèches.

En définitive, les écarts entre nouvelles et anciennes valeurs n'excèdent pas 5 %.

Les valeurs des modules et volumes annuels du NIGER à KOULIKORO portées dans le tableau IX, sont à remplacer par les valeurs suivantes :

Fréquence	Module	Volume annuel
Médiane	1485 m ³ /s	46,9 . 10 ⁹ m ³
Décennale humide	1910 m ³ /s	60,4 "
Décennale sèche	1060 m ³ /s	33,5 "
Centenaire humide	2260 m ³ /s	71,4 "
Centenaire sèche	710 m ³ /s	22,4 "

Les intervalles de confiance à 95 % de lame d'eau médiane et du module médian de KOULIKORO sont respectivement de :

391 \pm 22 mm, soit : 369/413 mm
et 1485 \pm 84 m³/s, soit : 1401/1569 m³/s

ETIAGES

L'étalonnage des basses eaux de la station de KOULIKORO n'est pas assez stable et précis pour que l'on puisse améliorer sensiblement les valeurs citées au chapitre V. Il serait possible, dans l'avenir, de connaître avec plus de précision les débits des étiages observés, moyennant une série de jaugeages effectués régulièrement tous les ans de Janvier à Avril, mais les étiages des années anciennes resteront toujours connus avec une approximation médiocre.

On doit toutefois signaler qu'un étiage exceptionnellement faible a été observé en Avril 1962. Il semble que le débit soit tombé à une valeur comprise entre 10 et 15 m³/s, à moins que le chenal d'étiage se soit particulièrement creusé au cours de la crue précédente.

CRUES

L'étude statistique des crues de KOULIKORO (sous-chapitre VI-C) a été reprise pour tenir compte de la modification de l'étalonnage et des crues observées depuis 1965, à savoir :

5750 m³/s en 1965
5620 m³/s en 1966
9310 m³/s en 1967

(respectivement 5910, 5790 et 9430 m³/s d'après l'ancien étalonnage).

L'ajustement d'une loi III de PEARSON aux crues observées de 1907 à 1967 donne aux paramètres a et χ les valeurs suivantes :

$$a = 3,90 \cdot 10^{-3}$$
$$\chi = 23,90$$

et conduit aux estimations suivantes :

- crue médiane : 6040 m³/s (au lieu de 6200 m³/s)
- crue décennale : 7900 m³/s (au lieu de 8000 m³/s)
- crue centenaire : 9700 m³/s (au lieu de 9700 m³/s)

Ces résultats sont pratiquement identiques à ceux obtenus précédemment.

DEFICIT ET COEFFICIENTS d'ÉCOULEMENT

Pour la période de 35 ans (1923-1957), les valeurs relatives à la station de KOULIKORO, portées dans le tableau XVIII, doivent être corrigées comme suit, à la suite de la modification d'étalonnage :

- Pluviométrie moyenne	:	1596 mm
- Déficit moyen	:	1184 mm
- Coefficient moyen	:	25,8 %
- Déficit maximal	:	1353 mm
- Déficit minimal	:	1083 mm
- Coefficient maximal	:	33,9 %
- Coefficient minimal	:	17,7 %

IRREGULARITE INTERANNUELLE

Compte tenu des nouvelles valeurs admises pour le module décennal humide (1910 m³/s) et le module décennal sec (1060 m³/s), le coefficient d'irrégularité interannuelle K et le coefficient de variation des modules Cv doivent être modifiés dans le tableau XXII pour la station de KOULIKORO. On a maintenant :

$$K = 1,80 \text{ (au lieu de 1,89)}$$

$$Cv = 0,224 \text{ (au lieu de 0,237)}$$

TABLEAUX des DEBITS MENSUELS

Les débits mensuels Q'_m donnés dans le tableau IV-a doivent être remplacés par les débits Q_m déterminés par le nouvel étalonnage.

Les nouveaux débits Q_m peuvent être calculés avec une approximation suffisante par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} Q_m &= Q'_m && \text{pour } Q'_m < 300 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_m &= 0,952 Q'_m + 14,3 && \text{pour } 300 < Q'_m < 4500 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_m &= 0,988 Q'_m - 150 && \text{pour } Q'_m > 4500 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Pour les années récentes, les débits mensuels déterminés par le nouvel étalonnage sont donnés ci-après.

DEBITS MOYENS MENSUELS des ANNEES RECENTES

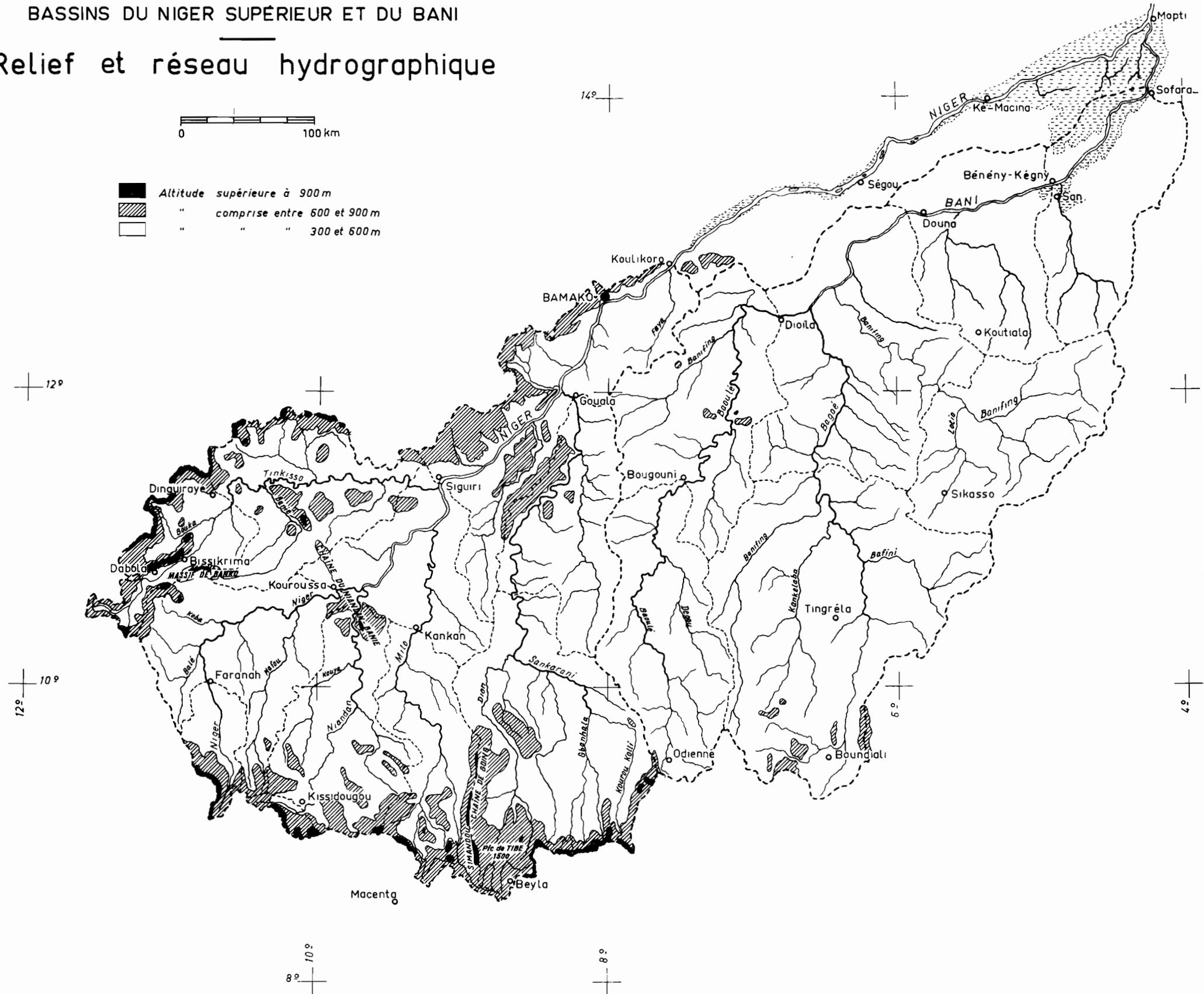
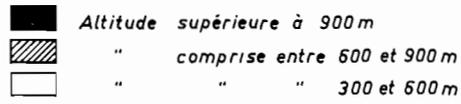
(m3/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Modules
1964	351	165	68	37	37	397	1150	3570	5270	4950	1750	901	1 554
1965	493	243	138	87	83	326	1740	2650	4640	4450	1850	664	1 447
1966	284	168	94	75	71	185	584	2690	4460	4920	2360	840	1 394
1967	(461)	(290)	(127)	51	102	137	895	3210	5850	7910	2930	1030	1 916

Carte II

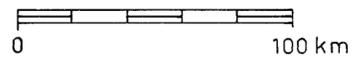
BASSINS DU NIGER SUPÉRIEUR ET DU BANI

Relief et réseau hydrographique

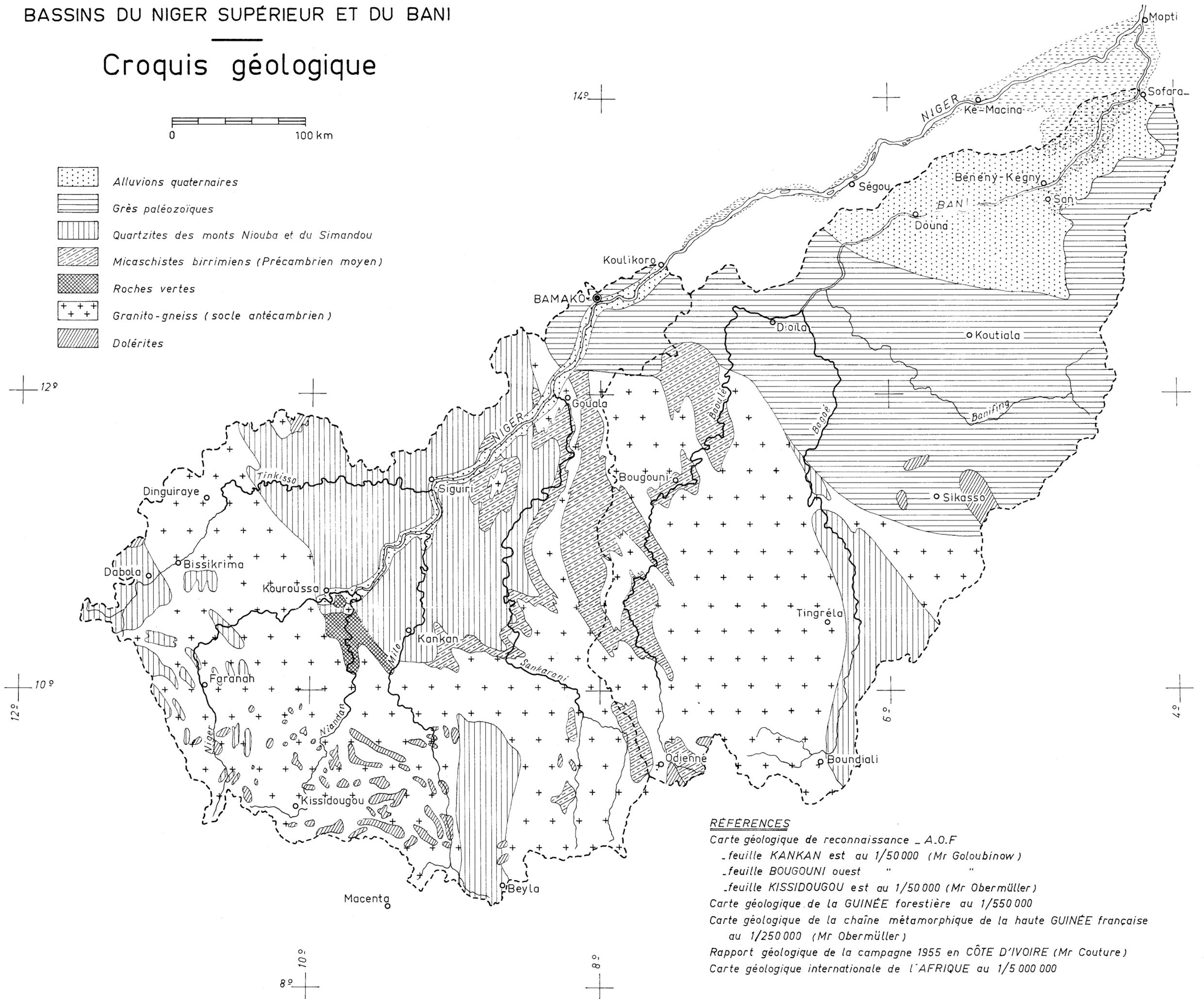


BASSINS DU NIGER SUPÉRIEUR ET DU BANI

Croquis géologique



-  Alluvions quaternaires
-  Grès paléozoïques
-  Quartzites des monts Niouba et du Simandou
-  Micaschistes birrimiens (Précambrien moyen)
-  Roches vertes
-  Granito-gneiss (socle antécambrien)
-  Dolérites

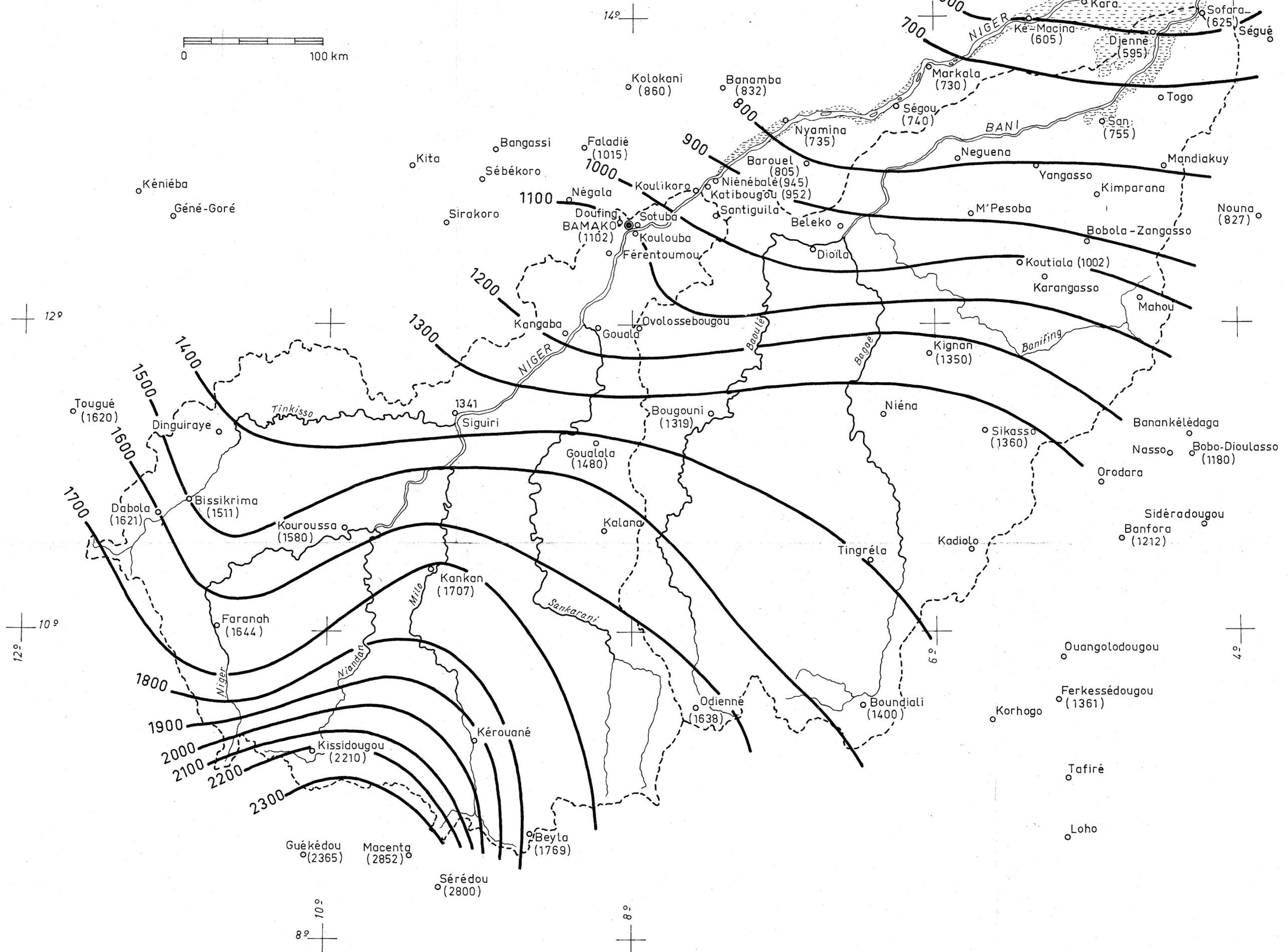


RÉFÉRENCES

- Carte géologique de reconnaissance - A.O.F
- feuille KANKAN est au 1/50 000 (Mr Goloubinow)
- feuille BOUGOUNI ouest " " "
- feuille KISSIDOUYOU est au 1/50 000 (Mr Obermüller)
- Carte géologique de la GUINÉE forestière au 1/550 000
- Carte géologique de la chaîne métamorphique de la haute GUINÉE française au 1/250 000 (Mr Obermüller)
- Rapport géologique de la campagne 1955 en CÔTE D'IVOIRE (Mr Couture)
- Carte géologique internationale de l'AFRIQUE au 1/5 000 000

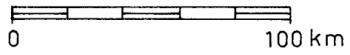
BASSINS DU NIGER SUPÉRIEUR ET DU BANI

Isohyètes interannuelles

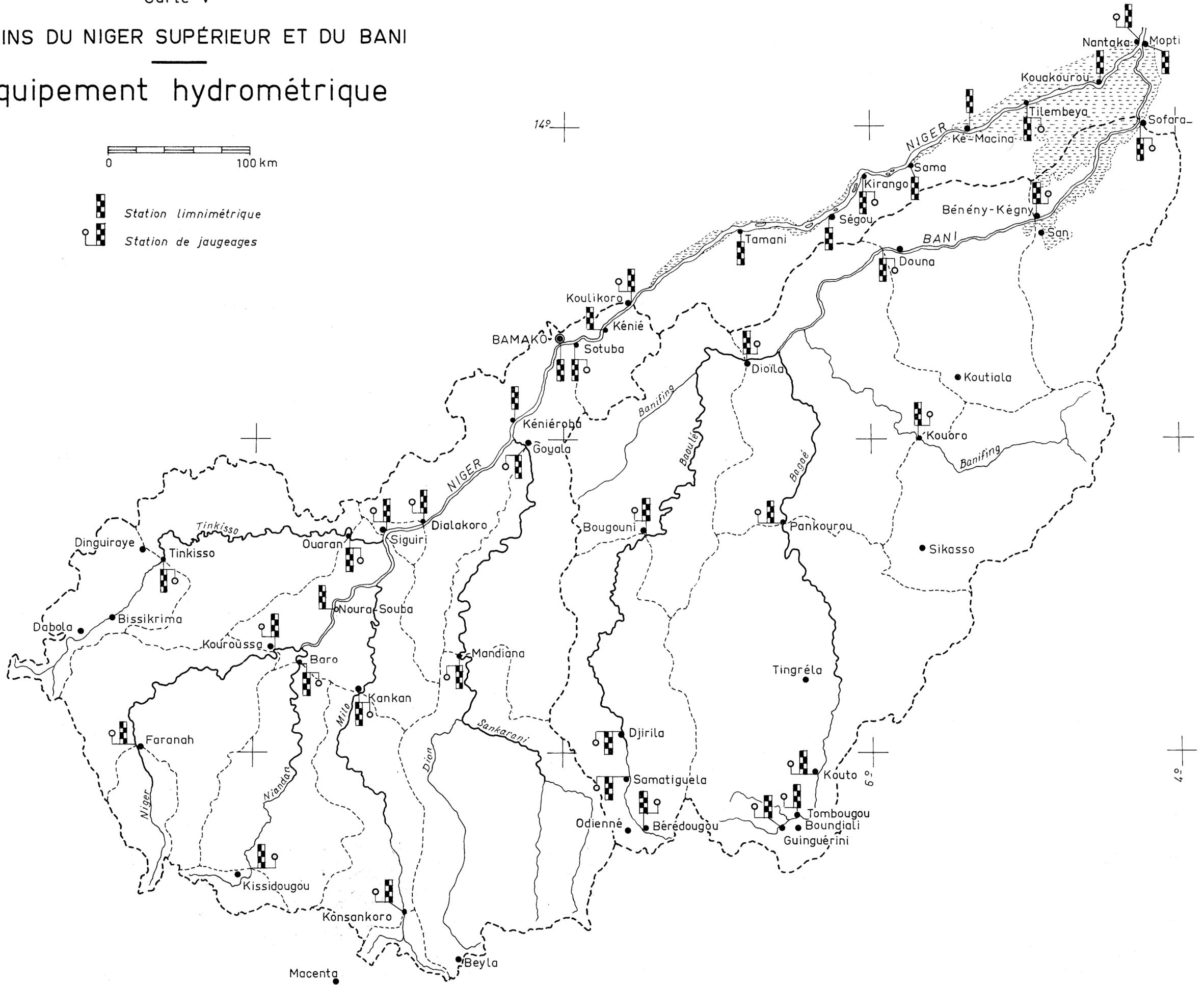


BASSINS DU NIGER SUPÉRIEUR ET DU BANI

Équipement hydrométrique



-  Station limnimétrique
-  Station de jaugeages



Imprimé en France
DÉPÔT LÉGAL N° 1
2^e TRIMESTRE 1970
Copyright by Secrétariat d'Etat
aux Affaires Etrangères

Imprimerie RIVATON
PARIS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES
COMITÉ INTERAFRICAIN
D'ÉTUDES HYDRAULIQUES

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU BASSIN DU NIGER

2^{ème} PARTIE
LA CUVETTE LACUSTRE

MAI 1970

DEUXIEME PARTIE

=====

La CUVETTE LACUSTRE

Dans la cuvette lacustre, tache bleue au centre de l'Afrique de l'Ouest, le NIGER s'étale, transpire, s'apaise et imprègne le sahel avant de regarder vers la mer. Le grand fleuve s'endort à l'abri du vent sec dans la fraîcheur des bourgoutières et clapote au ras des dunes vives sous les palmiers fourchus ...

Le décor est à la fois monotone et dur, les couleurs aveuglantes mais délicates au déclin du soleil ; des images baroques s'offrent au regard : troupeaux, comme dans un mirage, coupés en deux par l'eau baignant les poitrails, pirogues chargées à plein bord glissant sur la plaine en dehors des eaux vives, amas rocheux flottant au loin à l'entrée d'un grand lac ...

Le silence des grandes étendues est apaisant. La sécheresse extrême de l'air ouvre les poumons à l'odeur envahissante du poisson boucané.

Ce pays de contrastes ne se livre que lentement. Il éveille d'abord l'enthousiasme : l'eau, la terre et le soleil, la vieille trilogie de l'abondance ! Puis on prend conscience du défaut chronique d'harmonie : les troupeaux efflanqués errent en Mai, abreuvés à refus mais grattant le sable nu, ou au contraire restent assoiffés dans les maigres pâturages d'hivernage d'où l'eau s'est retirée. C'est la marche continue entre la soif et la faim, sous un soleil sans pitié.

Comble d'infortune, la terre et l'eau font mauvais ménage. La crue trop précoce noie les jeunes pousses de riz ; tardive, elle elle les laisse dépérir. Plus au Nord, en culture de décrue, la variation interannuelle des niveaux bouleverse les surfaces inondées et cultivables. La bonne récolte devient alors un phénomène aléatoire. Cette terre pauvre s'épuise rapidement ; le fleuve, à l'inverse du NIL, lui refuse les fertiles limons. Peut-être une meilleure connaissance du sol et du régime des eaux permettra-t-elle un jour d'apaiser ce vieux conflit.

Par contre, l'eau et le soleil fournissent en abondance le poisson. Séché naturellement, le fleuve le porte jusqu'à MOPTI et DIOURO, d'où il est exporté vers les régions de l'intérieur. C'est là une très grande ressource du Delta Nigérien que des moyens techniques modernes pourraient améliorer. Les coutumes ancestrales régissant les droits et les lieux de pêche montrent bien qu'il s'agit là d'une vraie richesse qui n'a jamais trahi.

La partie centrale de la cuvette est bien peuplée. De nombreux villages et surtout de grands marchés d'échange sont desservis par voie d'eau. Le transport par pirogue est un moyen simple et commode qui conditionne le développement du commerce.

En aval du Lac DEBO et jusqu'à DIRE, les villages se groupent le long du fleuve, des bras et autour des lacs. Les terres sont plus sableuses, le riz fait place au mil de décrue.

Depuis TOMBOUCTOU légendaire jusqu'à GAO il ne reste plus que l'eau et le sable, c'est-à-dire presque rien. Quelques nomades sédentaires s'accrochent aux berges. Les famines de 1913 et 1914 éprouvèrent durement ces régions. Même le mil devient rare ; on y balaie les graines de cram-cram.

Cependant c'était autrefois une région d'escale fréquentée par les commerçants et trafiquants, havre accueillant après la traversée du désert, ombre fraîche et tranquille après les risques et les privations. La poursuite du voyage pouvait se faire confortablement

en pirogue. C'est sans doute ce contraste qui frappait l'imagination des voyageurs.

Ce fut aussi un centre de cultures et d'études (mosquées de MOPTI et DJENNE), un lieu de rencontre où le NIGER Malien jouait le rôle privilégié de trait d'union entre l'AFRIQUE NOIRE et les caravanes de marchands. Il a conduit l'ISLAM, les barres de sel de TAOUDENI et l'or de SIGUIRI.

Soudain vint de la mer, et non plus du désert, un monde nouveau, riche de science et de grandes idées. L'axe du grand courant commercial pivota lentement et tous les regards se tournèrent vers le sud.

Depuis, le Delta intérieur isolé s'appauvrit. Les eaux du Massif de GUINEE et du MALI pluvieux s'évaporent et la vie s'endort sur les berges de la Grande Boucle.

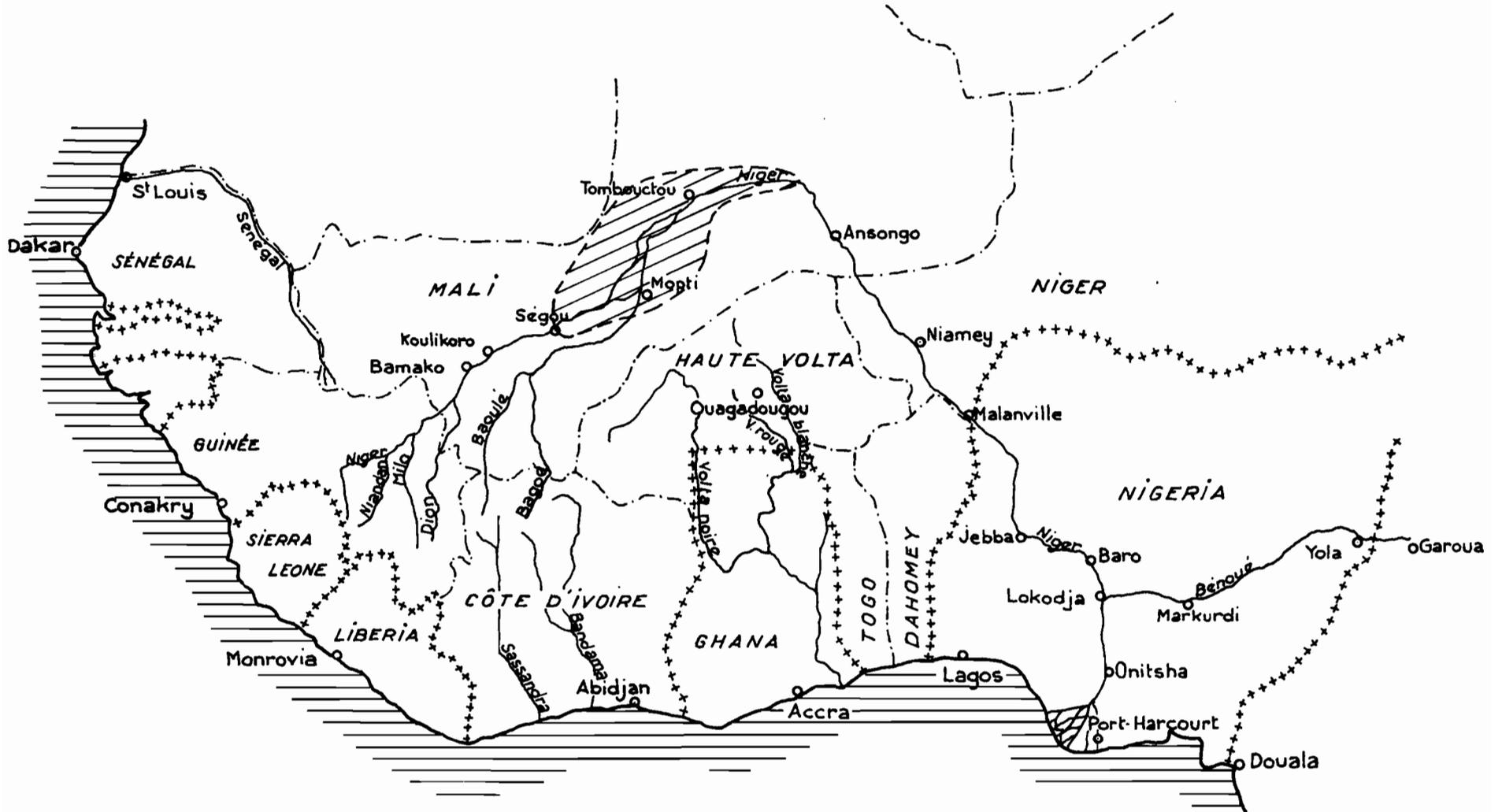
Mais cette science, ces grandes idées qu'apporte ce monde nouveau fournissent aux Maliens les moyens de transformer la nature : barrages, canaux d'irrigation, énergies thermique et électrique. Les projets de rajeunissement de la Cuvette Lacustre jaillissent nombreux. Un espoir renaît...

Carte VI

Bassin du NIGER - La cuvette lacustre

CARTE DE SITUATION

1/15.000.000^e



C H A P I T R E I

DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

A - CONSIDERATIONS GENERALES (Voir Carte VII)

Nous étudierons dans cette deuxième partie le cours du NIGER entre SEGOU et TOSSAYE, soit un tronçon d'environ 1015 km de longueur. On peut admettre que la Cuvette Lacustre commence lorsque le lit majeur s'étale démesurément et surtout lorsqu'une fraction du débit quitte le fleuve pour n'y jamais revenir, en empruntant des émissaires ou des bras fossiles tels que le FALA de MOLODO. Ces phénomènes apparaissent aux environs immédiats de SEGOU. Vers l'aval, la Cuvette Lacustre se termine près de TOMBOUCTOU mais nous avons choisi TOSSAYE comme limite du tronçon étudié, car le fleuve y franchit un défilé rocheux qui commande le profil d'équilibre de tout le NIGER moyen.

La Cuvette Lacustre est une vaste région d'épandage, fond d'une sorte de mer intérieure dans laquelle l'ancien NIGER se perdait complètement par évaporation. L'assèchement progressif de cette mer intérieure a donné à la Cuvette Lacustre son aspect actuel qui, en dehors du lit principal du fleuve, comporte un réseau très complexe de bras secondaires, émissaires et lacs, sans compter de vastes plaines régulièrement inondées tous les ans.

Le survol de la région en décembre donne une idée de l'immense volume d'eau emmagasiné (15 à 35.10⁹ m³ suivant les années) sur une étendue de plus de 80.000 km². Seuls émergent à cette saison de petites collines dunaires, d'étroits bourrelets de berge et des buttes habitées ("toguérés"). On remarque de grandes plaines inondées, dites "bourgoutières", qui sont couvertes de graminées aquatiques (bourgou). Les vitesses d'écoulement sont pratiquement nulles, sauf dans certains bras importants où elles peuvent atteindre et même dépasser 0,60 m/s.

Dans la cuvette lacustre la notion classique de bassin versant perd sa signification habituelle, puisque le fleuve n'apparaît plus comme un drain collecteur mais comme un canal d'épandage. Nous avons ainsi été amenés à considérer comme "bassin" de la Cuvette Lacustre l'ensemble des zones où l'écoulement de surface est hydrauliquement lié au fleuve. Un tel bassin ne mérite plus évidemment le qualificatif de "versant". La plupart du temps ses limites se trouvent à une altitude inférieure à celle des eaux du fleuve.

La morphologie d'une telle région est très complexe dans le détail. Elle résulte des effets dynamiques des courants et évolue lentement par suite du jeu incessant de l'érosion et de la sédimentation. On observe des phénomènes analogues à l'évolution classique des méandres dans les plaines alluviales. On note aussi la formation de "bourrelets de berge" qui constituent un endiguement naturel des bras principaux par suite de dépôts latéraux à travers la végétation des rives. Derrière ces bourrelets, qui peuvent être localement attaqués par l'érosion, s'étendent les plaines d'inondation dont la profondeur de submersion varie de zéro à plusieurs mètres, suivant les lieux et les saisons.

Les conditions hydrauliques d'écoulement dans la Cuvette Lacustre sont également très compliquées. Le partage du débit entre de multiples bras, les effets de stockage dans les lacs et plaines d'inondation, les phénomènes de sédimentation et d'érosion, les variations de pentes et de sections mouillées interfèrent d'une façon très difficile à débrouiller.

A ces phénomènes, il faut encore ajouter les infiltrations profondes qui peuvent ne pas être négligeables dans certains sols sableux, et surtout l'évaporation qui absorbe couramment par kilomètre carré de surface libre, un débit de l'ordre de 100 l/s (ou une tranche de 8,6 mm/jour).

B - LE NIGER DE SEGOU A TOMBOUCTOU

La superficie du bassin lacustre entre SEGOU et TOMBOUCTOU est d'environ 76 000 km², non compris le bassin versant de l'YAME, issu du plateau DOGON, qui sera traité à part.

Nous allons décrire assez brièvement les points les plus caractéristiques du cours du fleuve de l'amont vers l'aval.

1°) Section SEGOU-MARKALA :

Retenue du barrage de l'Office du NIGER qui maintient en basses eaux le plan d'eau à la cote 2,20 m environ de l'échelle de SEGOU.

2°) MARKALA :

Barrage à hausses mobiles créant une retenue aux faibles débits et s'effaçant complètement à l'époque des moyennes et hautes eaux.

- en rive gauche : prise du canal adducteur (pour les irrigations de l'Office du NIGER) se partageant en canal du SAHEL (vers le lit fossile appelé FALA de MOLODO) et canal du MACINA (vers la rivière de BOKY-WERE, ancien bras également).

- en rive droite : prise du canal de navigation débouchant légèrement en amont du village de SANSANDING après le passage de l'écluse de TIO.

Dans le lit mineur, on observe des bancs rocheux (cuirasses latéritiques et grès) entre le barrage et KIRANGO.

3°) NAKRY :

Le fleuve se partage en 3 bras (bras de NAKRY, bras navigable médian et bras de DIOUROU).

4°) Bras de SAMA :

Le bras rive droite reste de loin le plus important.

5°) Déversoir de KOLONGOTOMO :

Ce déversoir est situé sur la rive gauche du fleuve à l'extrémité Est de la zone d'action de l'Office du NIGER. Il marque le début des plaines d'inondation importantes, ainsi que des rives basses affouillables et des bourrelets de rive.

6°) DIAFARABE :

Un peu en amont de DIAFARABE, à TAMARA, le fleuve se dédouble en deux bras. C'est sur celui de gauche que naît le DIACA, l'effluent le plus important de toute la cuvette lacustre.

Le DIACA prélève environ le tiers du débit du fleuve et s'écoule vers le Nord-Ouest pour rejoindre le NIGER dans les grands lacs OUALLADO et DEBO. Son cours est très bien marqué et ressemble à celui du NIGER, jusqu'à KAMAKA-SEBE, où il se partage en deux bras nettement moins importants. Les berges nettes, assez raides, s'abaissent et s'encombrent de végétation aquatique. Les deux bras sont à peu près identiques. Après une zone confuse avec de nombreux bras et mares, l'ensemble du réseau chevelu se regroupe à l'Est de DOGO et par un très large bras débouche dans le lac OUALLADO. Ce dernier communique avec le DEBO de multiples façons dans un fouillis inextricable de petits bras serpentant au milieu des bourgoutières.

7°) Bief DIAFARABE-MOPTI :

De nombreux effluents prennent naissance sur la rive gauche et se dirigent vers le Nord-Nord-Est pour rejoindre la région du lac DEBO. Les principaux de ces affluents sont :

- le Mayo PIO (à NOUHOUN)
- le Mayo SOGONA (en face de KOA)
- le Mayo MORA (entre MAKAME et OURO-MODI)
- le Mayo MAKADIE ou SONO
- Le Mayo DONGUEL (en face de SAHONA)

Ils constituent un réseau maillé très complexe, où les vitesses d'écoulement sont tantôt appréciables, tantôt imperceptibles. Des bras apparaissent, se répandent dans des chapelets de mares innombrables, se reforment etc...

Sur la rive droite du fleuve le réseau hydrographique est aussi confus, car de nombreux "mayos" traversant la "Mésopotamie" NIGER-BANI peuvent être indifféremment alimentés par l'un ou l'autre de ces cours d'eau suivant leurs débits respectifs. C'est surtout à l'aval de KOA que les "mayos" prennent de l'importance.

La liaison hydrographique KOUAKOUROU-MANGA-DJENNE s'effectue principalement par le SOUMAN-BANI traversant la grande plaine de GANIA, mais elle est possible également par le mayo MANGA, passant plus à l'Ouest et contournant les hauteurs de SENOUSSA. Le SOUMAN-BANI lui-même se dédouble vers MANGA et envoie un bras, le mayo MAROU, rejoindre le NIGER à travers les grandes plaines inondées de TOUMAYE-SAHONA. A l'aval de KOUAKOUROU et jusqu'à MOPTI, les liaisons NIGER-BANI sont encore multiples. L'effluent le plus important du BANI dans ce dernier tronçon est le bras de SOYE entre SOFARA et TEKE.

Cette "Mésopotamie" NIGER-BANI possède un caractère propre ; elle est moins monotone que la région située au Nord du fleuve. Les terres émergées y sont plus fréquentes, les villages plus développés et les cultures moins pauvres.

La plaine de MOPTI réunit les apports du NIGER, du BANI et les eaux de ruissellement provenant des contreforts du massif de BANDIAGARA. L'inondation est totale dans la plaine de NGOMI et surtout à l'Est de MOPTI en direction de SEVARE.

8°) Bief MOPTI-Lac DEBO :

Le NIGER s'élargit encore et la pénétration des eaux d'inondation est profonde derrière le bourrelet de rive gauche.

A 25 km de MOPTI prend naissance en rive gauche le Mayo DEMBE qui rejoint presque directement le lac DEBO et peut facilement être emprunté par une embarcation légère en hautes eaux.

A KONA, le NIGER reçoit sur sa rive droite un véritable affluent, l'YAME, qui draine le plateau de BANDIAGARA.

Le fleuve passe ensuite à l'Ouest du Massif GOUNDOUROU qui limite l'extension des plaines inondées sur la rive droite.

En aval de BOUNA, le NIGER se partage en plusieurs bras sinueux qui tantôt sont bien calibrés, tantôt se perdent dans les "bourgoutières".

Les bras qui viennent d'être mentionnés débouchent en désordre dans le Lac DEBO, après avoir décrit des méandres très accentués de part et d'autre du rocher AIRE-KADIED (ou MARIE-THERESE). Ils sont dominés au Sud-Ouest par le mont AIRE SOROBA (ou SAINT CHARLES) haut de 70 mètres et au Nord par le mont GOURAO. Ces trois pics rocheux sont vraisemblablement les restes d'un ancien chaînon érodé dont le franchissement crée peut-être, sur les différents bras du NIGER, une légère augmentation locale de la pente, immédiatement avant leur débouché dans le lac. Les vitesses d'écoulement paraissent, en effet, un peu accrues dans ce secteur.

9°) Le Lac DEBO :

Le Lac DEBO a une forme allongée en direction du Nord-Ouest. Sa longueur est d'environ 25 Km et sa plus grande largeur d'une dizaine de kilomètres. Au Sud-Ouest, il est relié au lac OUALLADO qui a déjà été mentionné.

10°) Région comprise entre le Lac DEBO et TOMBOUCTOU :

Au Nord du Lac DEBO le paysage change quelque peu d'aspect, car les dunes font leur apparition. La végétation aquatique prend également plus d'ampleur et l'on remarque sur les dunes des épineux rabougris et quelques peuplements de palmiers fourchus.

Toute la région comprise entre le Lac DEBO et TOMBOUCTOU est ainsi couverte de dunes orientées sensiblement Est-Ouest et hautes de 5 à 20 mètres. Ces dunes font plus ou moins obstacle au cheminement des eaux vers le Nord et favorisent au contraire leur écoulement dans le sens des sillons dunaires. Le dessin du réseau hydrographique présente de ce fait un aspect généralement orienté, les bras secondaires et les "mayos" franchissant les lignes de dunes par des sortes de chicanes.

L'envahissement dunaire crée des sites d'habitat ; les villages sont ainsi plus nombreux que dans la région NIGER-DIAKA, au Sud du Lac DEBO, où les inondations ne laissent place qu'à de rares campements de pêcheurs ou de pasteurs. Par contre, la pénétration du sable réduit progressivement les ressources agricoles.

Deux bras principaux sortent du Lac DEBO. Ce sont l'ISSA-BER, le plus important, que l'on peut assimiler au NIGER lui-même et le BARA-ISSA qui rejoint l'ISSA-BER un peu en amont de DIRE à EL-OUALADJI. En faisant abstraction des multiples sinuosités de leurs cours, on peut dire que les deux bras décrivent chacun une grande boucle et qu'après leur jonction le NIGER s'écoule en direction du Nord-Ouest jusqu'à TOMBOUCTOU.

La navigation emprunte le bras ISSA-BER dont le parcours est moins long. Le BARA-ISSA serait également navigable et a un lit bien calibré, mais il décrit d'innombrables sinuosités en contournant des dunes fixées. Il baigne deux gros villages (SÂ et SARAFERE) et constitue un lieu de pêche très fréquenté. Il reçoit près de SARAFERE un bras secondaire, le KOLI-KOLI, qui se détache du NIGER en amont du Lac DEBO, traverse le Lac KORIENTZE, puis décrit des méandres extravagants et se perd plus ou moins dans des bas-fonds interdunaires.

D'autres bras secondaires, tels que le SORNERE, le GOUROU-BOBE-DJI et le ROUNDE-ROUAL se détachent du KOLI-KOLI et surtout du BARA-ISSA ; ils ont un cours orienté d'Est en Ouest et relient le fleuve à un système lacustre dit de rive droite qui sera examiné au sous-chapitre suivant.

A l'ISSA-BER et au NIGER lui-même entre EL-OUALADJI et TOMBOUCTOU se rattache un autre système de lacs, dit de rive gauche, qui sera également décrit plus loin.

C - LES LACS

1°) Système de rive droite :

a) Remarque générale

Les cartes établies par l'Institut Géographique National à partir d'une couverture photographique aérienne et publiées entre 1956 et 1959 ont précisé de façon très satisfaisante la planimétrie du système lacustre.

Le cours du NIGER est également bien connu en altimétrie, à la suite du nivellement général IGN, auquel a été rattaché un nombre suffisant d'échelles limnimétriques. Par contre, l'altimétrie des lacs n'a été déterminée que par des mesures barométriques, dont la précision est insuffisante pour offrir un réel intérêt.

En 1956, la mission hydrographique CANUEL a effectué des relevés bathymétriques de la série des lacs NIANGAYE-HARIBONGO, en s'appuyant sur la couverture photographique. On a pu ainsi déterminer le volume d'eau emmagasiné dans les lacs en fonction de leur cote de remplissage (rapporté au niveau maximal de 1955-56). Les levés des bras reliant les lacs entre eux ont également permis de déterminer le remplissage minimal de chaque lac de la série pour qu'il déborde vers le suivant.

La limnimétrie des lacs est pratiquement inconnue, à cause des difficultés d'accès et des difficultés de recrutement d'observateurs.

Quelques relations de voyage donnent une idée approximative du remplissage des lacs à telle ou telle date, mais ces renseignements sont beaucoup trop maigres pour permettre une étude des cycles annuels de remplissage et de vidange.

b) Lac KORAROU

Il est orienté Nord-Sud, long de 20 à 30 km et étroit. En hautes eaux, il s'étale au Nord vers KERSANI. Sa surface varie suivant le niveau des eaux entre 80 et 170 km². Il est très bien alimenté par le ruissellement sur les contreforts Nord du plateau de BANDIAGARA et la falaise Est des Monts GOUNDOUROU, où la pluviométrie est encore appréciable (450 à 500 mm).

Les fortes précipitations doivent apporter de gros débits de ruissellement et élever le lac jusque vers la cote maximale voisine de 262 m (Carte IGN), alors que la cote moyenne de crue du DEBO est de 266m. Il y a donc alimentation mixte, dans des proportions difficiles à préciser. Le ruissellement local se produit à l'occasion de quelques fortes averses, en juillet, août et septembre ; la crue du NIGER se fait ensuite sentir de novembre à janvier.

Il semble qu'à la fin de l'hivernage, le lac KORAROU s'écoule vers le Nord en direction du lac AOUGOUNDOU par le mayo KORADOU. La jonction avec les eaux provenant du NIGER se ferait dans la mare de BODEDJI dont les eaux viennent du KOLI-KOLI par le mayo TARABE (ou SORNERE) après un contournement dunaire bien caractéristique long de 35 Km.

Même si la dénivellation KOLI-KOLI/KORAROU atteint 4 mètres le parcours est très long (plus de 160 km), les lits très encombrés et les épandages nombreux. De telles conditions ne permettent pas le transport vers le lac de volumes importants venant du NIGER.

Le bassin d'alimentation du KORAROU (3200 km²) comprend à l'Ouest une grande partie du massif de GOUNDOUROU et, au Sud, la frange septentrionale du massif de BANDIAGARA surplombant en falaise abrupte la plaine sableuse au fond de laquelle se trouve le lac.

Le ruissellement est certainement fort dans les zones à pente élevée mais l'infiltration est intense au pied de la falaise (éboulis, ensablement) et dans la plaine le long du réseau de drainage.

On ne peut donc compter sur un apport d'hivernage supérieur à 150.10⁶ m³ (correspondant à 10% de ruissellement environ), insuffisant pour remplir le KORAROU et une partie de l'AOUGOUNDOU. Des apports complémentaires du NIGER sont nécessaires pour atteindre les cotes maximales observées en années abondantes et moyennes. Ne connaissant rien de la bathymétrie du lac, il n'est pas possible de donner plus de précisions sur son alimentation.

c) Lac AOUGOUNDOU

De forme grossièrement triangulaire, sa surface varie de 80 à 130 km² suivant l'état du remplissage.

Les collines d'OREVENDOU, à l'Est du lac, peuvent donner lieu à ruissellement, mais leur surface est très restreinte. Les apports dus au ruissellement direct sont donc minimes, mais comme on l'a vu il est probable qu'en fin d'hivernage le lac est alimenté par des eaux venant du KOURAROU.

La cote maximale du lac AOUGOUNDOU semble être voisine de 261 m ; il faut la comparer aux cotes de crues à NIAFUNKE (265m) et à SARAFERE sur le BARA-ISSA (264m). Ce dernier village est situé à 35 km seulement de l'entrée du lac. La charge paraît suffisante pour que le mayo DOIO (ou ROUNDE-ROUAL) transporte, malgré les infiltrations dunaires, des volumes d'eau importants vers les lacs AOUGOUNDOU-NIANGAYE, DO, GAROU et HARIBONGO.

Bien que l'on ne connaisse pas la bathymétrie du lac, on peut avancer que la majeure partie de ses apports vient du NIGER entre Novembre et Janvier.

d) Lac NIANGAYE

Il fait partie d'une importante série de lacs que l'on appelle "série NIANGAYE-HARIBONGO". Ces lacs sont reliés entre eux et s'alimentent par déversement successif de l'un vers l'autre. Par suite du relief peu accusé et de l'envahissement dunaire de la région, le ruissellement local est pratiquement nul.

Le lac NIANGAYE est le plus grand du système de rive droite. Constituant un triangle effilé, orienté Est-Ouest, long de près de 40km, large de 2 à 13 km, sa forme est assez caractéristique et rappelle celle de plusieurs autres lacs (FAGUIBINE notamment).

Sa plus grande profondeur, au maximum de la crue 1955-56, était d'environ 6,50 m au voisinage de son centre de gravité. Les courbes isobathes sont approximativement triangulaires et conduisent à admettre les capacités suivantes :

- niveau maximal crue 1955-56	:	1300 x 10 ⁶	m ³
- 1 mètre au-dessous	:	1000	"
- 2 mètres	"	730	"
- 3 " "	"	460	"
- 4 " "	"	260	"
- 5 " "	"	100	"
- 6,5 " "	"	0	"

Le lac NIANGAYE est alimenté par les eaux du NIGER qui sont acheminées par le BARA-ISSA, puis par le ROUNDE-ROUAL. Ce tributaire se partage à TIEKAWAI en deux bras, dont l'un se dirige vers le lac NIANGAYE.

Le niveau maximal du lac semble être voisin de 260 m en année moyenne ; la dénivelée depuis le BARA-ISSA à SARAFERE est ainsi d'environ 4 mètres pour un parcours d'environ 45 Km. La pente est donc appréciable et l'on peut penser que même en année déficitaire le tributaire achemine vers le lac des apports importants, car on verra que le remplissage de la série NIANGAYE-HARIBONGO exige des volumes considérables. L'importance des apports dépend de l'amplitude de la crue du NIGER et de la durée pendant laquelle les eaux se maintiennent au-dessus d'un certain niveau.

Le bras de BAMBARA-MAOUNDE, large de 200 à 500 m, et long de 11 km, est un émissaire du lac NIANGAYE qui alimente le lac DO. Sa profondeur rapportée au niveau maximal de 1955-56 varie entre 1,50 m et 4 m. Il faut environ 800 millions de m³ d'eau dans le lac NIANGAYE pour qu'il commence à déborder dans le lac DO.

e) Lac DO

Il semble être le prolongement du NIANGAYE et en avoir été séparé par l'envahissement sableux. Il est orienté Nord-Ouest/Sud-Est ; sa longueur est d'environ 18 km et sa largeur moyenne de 8 km.

Sa profondeur maximale approche de 10 mètres et sa capacité est la suivante :

- niveau maximal crue 1955-56	: 800 x 10 ⁶ m ³
- 1 mètre au-dessous	: 675 "
- 2 " "	: 540 "
- 3 " "	: 430 "
- 4 " "	: 330 "
- 5 " "	: 230 "
- 6 " "	: 140 "
- 7 " "	: 70 "
- 9,5 " "	: 0 "

Le lac DO a lui aussi un émissaire qui est constitué par le Canal du FAKO, long de 7 km et débouchant dans le GAROU à travers une bourgoutière profonde. Le point bas du canal se trouve à 1,50 m environ au-dessous de la crue maximale 1955-56. Il faut 600 millions de m³ dans le lac DO pour que commence le déversement dans le GAROU.

f) Lac GAROU

Le lac GAROU comprend en réalité 4 lacs que les dépôts éoliens tendent à séparer : lacs GAROU, GAKORE, TINGUERE au Sud du précédent et TITOLAOUEN à l'Est du GAROU.

Le GAROU, orienté parallèlement au NIANGAYE, est long de 30 km et large de 2 à 4 km. En 1956, la profondeur au maximum de la crue était de 8,5 à 9,0 m.

La capacité de l'ensemble des 4 lacs est la suivante :

- niveau maximal crue 1955-56	:	775	millions de m ³		
- 1 m au-dessous	:	575	"	"	
- 2 m	"	435	"	"	
- 3 m	"	320	"	"	
- 4 m	"	190	"	"	
- 5 m	"	135	"	"	
- 6 m	"	85	"	"	
- 7 m	"	60	"	"	
- 9 m	"	0	"	"	

Indépendamment des eaux déversées rarement par le DO, le lac GAROU est desservi directement par un tributaire venant du BARA-ISSA dont le cours est mal calibré et parsemé de mares d'épandages. Son régime d'alimentation peut se comparer à celui du NIANGAYE.

Le lac GAKORE est directement relié au GAROU à l'Est du village de DAKA FIFO par un seuil encombré de végétation aquatique, dont la cote se trouverait à environ 2,00 m au-dessous de la cote maximale 1955-56. Ce seuil ne déverserait dans le GAKORE qu'après une accumulation de 435 millions de m³ dans le GAROU.

Sa capacité maximale en Février 1956 était de 150 millions de m³ et sa plus grande profondeur voisine de 4,40 mètres.

Le lac TINGUERE représente à peu près le cinquième du précédent en étendue et en volume et reçoit ses eaux.

A l'extrémité orientale du GAROU, le lac TITOLAOUEN est alimenté par la passe profonde d'ABADAI-MALAMOUD. Sa profondeur₃ maximale en 1956 était de 6,6 m et sa capacité maximale de 80×10^6 m³.

g) Lac HARIBONGO

Il est de forme très effilée et encore orienté Est-Ouest. Sa longueur est de 25 km et sa largeur de 4 km au maximum.

Il est réuni au TITOLAOUEN par le canal de l'HAZABAB long de 10 km environ. Ce chenal est régulier, bien tracé, et présente plusieurs seuils dont le plus haut se trouverait à 1,50 m au-dessous du niveau maximal de 1956. Il n'alimente que rarement le lac HARIBONGO.

Celui-ci est le plus profond de tous les lacs de rive droite. En 1956, on a relevé des fonds de près de 11,5 m. Sa capacité maximale en 1956 était de 290 millions de m³ environ.

h) Lac KABONGO

Ce petit lac ressemble au TITOLAOUEN, auquel il est relié par le bras de TARASHAM. Sa plus grande capacité en 1956 a été de 75 millions de m³.

Il présente lui aussi des fonds importants. On en a mesurés en 1956 qui atteignaient 9,2 m. D'une façon générale, on peut d'ailleurs remarquer que ce sont les lacs les plus éloignés du fleuve qui sont les plus profonds, ce qui tend à montrer que les apports alluviaux ont une action plus importante que les apports éoliens dans le lent comblement des systèmes lacustres.

i) Variations du remplissage des lacs

Le graphique 39 donne une représentation schématique des conditions de remplissage des lacs du système de rive droite.

Dans le passé, il semble bien que le GAROU et les trois lacs associés, ainsi que l'HARIBONGO, le KABONGO et peut-être même le DO ont été à sec pendant la période 1895-1925 (1). Les fortes crues de 1893-95 avaient rempli l'ensemble de ces lacs, puis leur assèchement s'est effectué pendant la série d'années sèches qui a suivi et qui a été en particulier marquée par les grandes sécheresses de 1913 et 1914.

L'abondance exceptionnelle des années 1924 et 1925 a rempli à nouveau les lacs qui se sont maintenus à un niveau élevé jusqu'en 1933. L'assèchement a alors repris le dessus et s'est prolongé jusqu'en 1950. En 1955-56 ils étaient à nouveau pratiquement pleins par suite de l'apparition d'une nouvelle série d'années humides.

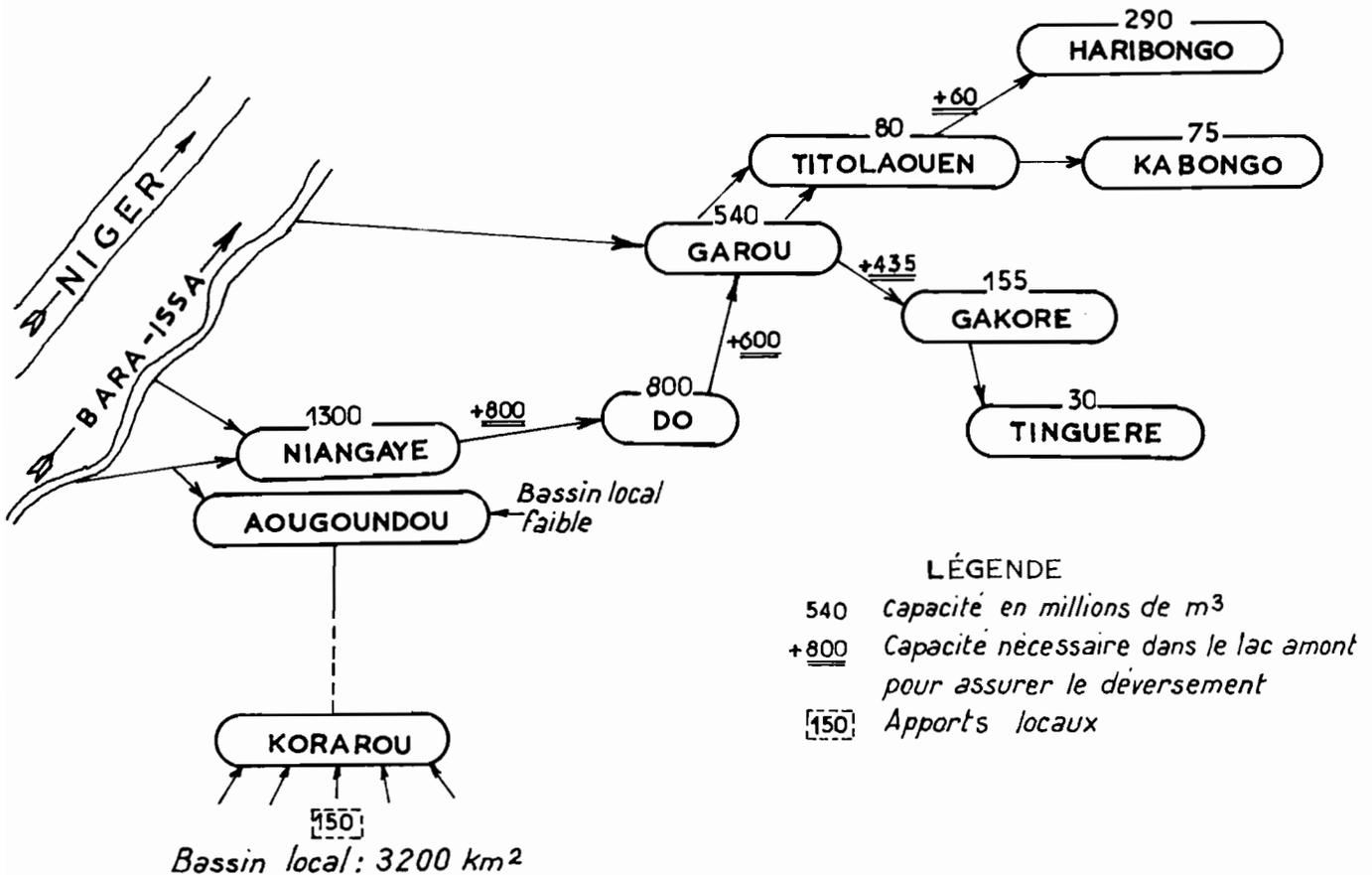
Les lacs HARIBONGO et KABONGO, situés à l'extrémité du système lacustre, sont exceptionnellement en eau et le restent pendant peu d'années de suite. Il faut pour assurer leur remplissage au moins deux années consécutives très abondantes ou séparées à la rigueur par une seule année médiocre. Une fois remplis, ces lacs s'assèchent complètement par évaporation en trois ans, s'ils ne reçoivent plus aucun apport.

Les lacs NIANGAYE, AOUGOUNDOU et a fortiori KORAROU, sont toujours en eau mais leur niveau subit des fluctuations saisonnières et interannuelles suivant le jeu des apports et des pertes par évaporation.

Le lac GAROU est également alimenté tous les ans, sauf peut-être certaines années très déficitaires. L'alimentation du DO est plus précaire, car elle exige un remplissage préalable du NIANGAYE aux deux tiers de sa capacité maximale.

(1) Nota : Cf. "Le moyen NIGER et sa boucle dans la région de TOMBOUCTOU" par G. MOURGUES - 1933.

REGIME DES LACS RIVE DROITE



ALIMENTATION

KORAROU	Chaque année suivant le régime des pluies
AOUGOUNDO	Mixte, chaque année même en crue déficitaire
NIANGAYE	Proportionnelle à la crue du Niger, même en crue déficitaire
GAROU	Proportionnelle à la crue du Niger, sauf peut être en crue déficitaire
DO	Exige le remplissage au 2/3 du Niangaye, en crue forte seulement
GAKORE	Exige le quasi-remplissage du Garou, en crue forte ou en cours de cycle abondant
TINGUERE	Peu fréquente, en cours d'un cycle abondant
TITOLAOUEN	Légèrement en retard sur le Garou
HARIBONGO	} Rare, cycle très abondant. Exige le remplissage de l'ensemble, à sec en 3 ans
KABONGO	

2°) Système des lacs de rive gauche :

a) Généralités

L'ensablement éolien de la région est général. On remarque les traces de grands "tayeurts" ou sillons interdunaires insérés dans des "ergs" anciens mis en place sous l'effet de vents puissants soufflant du Nord-Ouest/Nord. A ce large réseau dunaire ancien et fixé se superpose un système de dunes beaucoup moins développées et récentes poussées par les vents actuels dont la direction dominante est du Nord-Est.

On note également la présence de trois petits chaînons gréseux orientés Nord-Sud, qui sont jalonnés comme suit :

- Premier chaînon : ILE de TAGUILEM (FAGUIBINE)
TIN SOTRA
OROTONDI
Passe rocheuse de TONDIFARMA (ISSA-BER)
- Deuxième chaînon : Massif ABANKOR
Massif de GOUNDAM (KIROKAMBA)
FATI-TONDI
- Troisième chaînon : Mont FARACH
Passe rocheuse de DJIN-DJIN (TASSAKANT)

Ces trois chaînons plongent vers le Sud et disparaissent sous les sédiments de la Cuvette Lacustre.

Les lacs actuels occupent l'emplacement d'anciens "tayeurts". Leur forme s'est lentement modifiée par suite d'apports dunaire récents qui ont eu tendance à faire reculer leur berge septentrionale. On s'explique ainsi la forme allongée de certains lacs dans un sens à peu près orienté Est-Ouest. Le lac FAGUIBINE, dont il sera question plus loin, en est l'exemple le plus frappant. On a pu croire que son creusement était dû à un phénomène aérodynamique dans le sillage de l'écran montagneux constitué par l'ABANKOR, mais cette hypothèse ne résiste pas à l'examen.

Le tayeurt du FAGUIBINE se prolongeait sans doute autrefois jusque vers BASSI KOUNOU. Les lacs de la rive droite qui ont été décrits précédemment, sont eux l'aboutissement occidental d'anciens tayeurts s'étendant très loin dans le GOURMA mais maintenant en partie comblés.

Les petits chaînons montagneux semblent n'avoir joué qu'un rôle réduit dans la morphologie de la région des lacs. Ils ont localement modifié les processus d'ensablement éolien et infléchi le cours des émissaires.

b) Zone des lacs TANDA, KABARA et TAKADJI

Situés entre le fleuve et LERE, ces lacs sont alimentés par des bras issus de l'ISSA-BER. Ils sont peu profonds et bordés au Nord de dunes sableuses.

Au Sud de ces lacs et à l'Ouest du DEBO s'étend sur plus de cent kilomètres de large une vaste zone d'épandage qui va jusqu'aux villages de NAMPALA et de MEDALA. Cette zone n'est alimentée par aucun émissaire net et bien calibré provenant du NIGER. On observe une multitude de mares qui communiquent entre elles. L'écoulement superficiel est très diffus et difficile à déceler. Les sols sableux non submergés sont eux-mêmes humectés par capillarité et participent ainsi activement à l'évaporation générale de la région.

c) Lac HORO

A une vingtaine de kilomètres en aval de NIAFUNKE, le bras principal du NIGER, l'ISSA-BER, franchit l'affleurement rocheux de TONDIFARMA visible même en crue. En basses eaux, le NIGER défile pendant 1200 mètres entre des berges gréseuses, basses mais verticales.

A TONKA, s'embranchent le bras long de quelques kilomètres qui alimente le lac HORO. Celui-ci a une forme grossièrement triangulaire de 15 km de hauteur sur 10 km environ de base. Il s'étend au pied de la montagne HORO et reçoit de ce fait quelques apports dus au ruissellement sur les flancs de ce pointement gréseux. Mais la quasi-totalité des apports provient du NIGER.

A la décrue le sens du courant s'inverse dans le bras qui relie le lac au NIGER. Un ouvrage construit par l'Office du NIGER contrôle la vidange du lac pour favoriser les cultures sur ses franges Sud et Ouest.

d) Lac FATI

Quoique moins profond et relié au NIGER par un bras plus long, il ressemble au lac HORO dont il est séparé par les monts OROTONDI. Le régime de remplissage et de vidange des deux lacs est analogue.

Entre 1910 et 1915, on a tenté de relier par un canal le lac FATI au marigot de GOUNDAM pour améliorer l'alimentation des lacs TELE et FAGUIBINE dont l'assèchement progressif inquiétait les populations. Les travaux furent abandonnés avant l'achèvement, mais il en reste des traces imposantes.

e) Région du KESSOU

C'est la région d'alimentation des lacs éloignés de la rive gauche, s'étendant entre TINDIRMA à l'embouchure du bras du FATI et KORIOUME, escale de basses eaux de TOMBOUCTOU.

R. BRAQUAVAL et P. DUBREUIL ont fait l'étude hydrologique de cette région, en 1958-1959, dans le cadre de la MEAN, en vue de la régularisation du remplissage des lacs. Nous résumerons sommairement les résultats de cette étude.

La pente générale du KESSOU est dirigée vers le Nord-Ouest ; d'abord très faible en bordure du fleuve, elle s'accélère à l'Ouest d'un axe GALAGA-KONDI. La partie Sud du KESSOU isolée par la route endiguée DIRE-GOUNDAM est drainée par un marigot traversant la route au pont de DIALLOUBE. Dans ce marigot au droit du pont, les eaux du fleuve refluent vers le Sud-Est en début de crue, la partie Nord du KESSOU étant plus rapidement mise en eau par le marigot de KONDI ; le phénomène s'inverse au maximum de la crue et pendant la décrue ; les volumes écoulés dans ce sens sont les plus importants.

Le marigot de GOUNDAM est formé à l'aval de KANAYE par les marigots de KONDI et de TASSAKANT, eux-mêmes réunis parallèlement au fleuve par le marigot de KATOUA dont la pente, plus faible que celle du NIGER, interdit tout transit d'importants volumes d'eau.

Malgré la pente faible du TASSAKANT jusqu'à EL MANSARA, il transporte en crue abondante plus de la moitié des volumes écoulés à GOUNDAM (58 % pendant le cycle 1957-1958 et 56 % en 1958-1959).

En année déficitaire, la part relative provenant du marigot de KONDI aurait tendance à augmenter.

Les volumes écoulés annuellement à GOUNDAM en direction des lacs varient de quelques dizaines de millions de m³ en année très sèche à 3,5 milliards de m³ en année très abondante. Dans les mêmes conditions le débit maximal annuel à GOUNDAM varie de quelques m³/s à 350 m³/s.

f) Lac TELE

Le marigot de GOUNDAM débouche dans le lac TELE qui a d'abord une forme arrondie, puis s'étire vers le Nord sur 30 km en bordure d'un des chaînons gréseux déjà signalés.

Au Nord, le lac TELE est en communication, par l'intermédiaire du seuil de KAMAINA dont l'altitude exacte est inconnue, d'une part avec le lac FAGUIBINE à l'Ouest et d'autre part avec les petits lacs GOUBER et KAMANGO.

Le fond du lac se trouve à peu près à l'altitude 252,50 m. Pour une profondeur maximale de 5 m, sa capacité est comprise entre 300 et 350 millions de m³, tandis que sa surface est de 190 km².

g) Lac FAGUIBINE

Il est le plus grand lac d'Afrique Occidentale. Lorsqu'il est plein, il a la forme d'un triangle isocèle très effilé, long de 75 km. Sa base est de 15 km environ. Il comprend trois îles importantes (TAGUILEM, ARIEY et FONDOGORO), vestiges de la chaîne gréseuse la plus occidentale.

La plus grande profondeur du lac est d'environ 10,5 m. Le niveau maximal des eaux est voisin de l'altitude 256,50 ; la surface correspondante du plan d'eau est de 590 km².

Le niveau du lac subit d'une façon générale une pulsation annuelle, avec maximum à la fin de février ou au début de Mars et minimum en Novembre. Entre ces deux dates, compte-tenu des précipitations locales (250 mm environ), la baisse habituelle du plan d'eau est voisine de 1,50 m, ce qui pour une période d'environ 250 jours, correspond à une perte quotidienne de 6 mm en moyenne. Cette perte est due presque exclusivement à l'évaporation, car les infiltrations paraissent faibles à travers le fond constitué d'argile à diatomite.

Si au maximum de Février-Mars le lac se trouve complètement plein (niveau voisin de 256,50 m), la perte totale jusqu'au mois de Novembre suivant est de l'ordre de 1,5 milliard de m³ pour l'ensemble TELE-FAGUIBINE.

D'après des évaluations établies par SOGREAH en 1957, il faudrait à GOUNDAM un apport annuel de 635 millions de m³ (hydraulicité d'environ 90 %) pour maintenir le FAGUIBINE aux alentours de la cote 248, 50 m, cote qui a été choisie parce qu'elle correspond à une oscillation annuelle découvrant le maximum de terres cultivables. Pour que le lac se maintienne aux alentours du niveau maximal de 256,50 m, il faudrait à GOUNDAM des apports considérables qui ne sont écoulés qu'en année abondante (2 milliards de m³, soit hydraulicité d'environ 115 %). En fait, le remplissage complet du lac exige une succession d'années à hydraulicité excédentaire. Les variations interannuelles du niveau du FAGUIBINE reflètent ainsi les successions d'années sèches et humides du bassin du NIGER supérieur. On sait que dans le passé le lac a été très haut en 1894, 1930 et 1956 ; au contraire, il s'est asséché complètement en 1914, 1924 et 1944.

De 1924 à 1930, le lac vide s'est complètement rempli grâce à une succession de six années abondantes dont l'hydraulicité moyenne a été de 135 % (hydraulicités respectives de 142 % en 1924, 153 % en 1925, 112 % en 1926, 126 % en 1927, 140 % en 1928 et 135 % en 1929).

De la même façon, entre 1951 et 1955, le lac a vu son niveau monter progressivement, car pendant cinq années consécutives l'hydraulicité a été excédentaire (moyenne 128 %), tandis que de 1944 à 1950 le lac est resté complètement vide ou presque, par suite d'une hydraulicité moyenne nettement déficitaire.

Si le lac TELE est lui-même presque vide, une année d'hydraulicité moyenne ne suffira pas à le remplir assez pour qu'il déborde dans le lac FAGUIBINE. Celui-ci pourra donc continuer à s'assécher.

h) Lacs GOUBER et KAMANGO

Ces deux petits lacs sont situés dans une dépression comprise entre les massifs de l'ABANKOR et du FARACH. Comme le FAGUIBINE, ils sont alimentés par les débordements du lac TELE, mais dans des conditions plus difficiles.

On ne possède aucune indication sur la profondeur et la capacité de ces deux lacs. On sait seulement que lorsqu'ils sont pleins, ils ne forment pratiquement qu'un seul plan d'eau de 70 à 80 km². La partie Sud-Est de la dépression est, semble-t-il, en voie d'être comblée lentement par des sables issus du mont FARACH.

i) Les DAOUNA

On appelle "DAOUNA" les deux dépressions DAOUNA KEINA et DAOUNA BEHRI situées à 20 km au Sud du FAGUIBINE et reliées à ce dernier par un canal naturel sinueux, ensablé, long d'une trentaine de kilomètres.

Le fond des DAOUNA est sensiblement à la même cote que celui du FAGUIBINE, mais l'alimentation ne se fait que très difficilement par suite des seuils élevés du canal et surtout de son obturation progressive par le sable.

La dépression des DAOUNA est vraisemblablement un reste du tayeurt du TELE, remis en eau pour la dernière fois en 1893-1895. La communication FAGUIBINE-DAOUNA s'est ouverte probablement par déversement du FAGUIBINE et ne fonctionne que lorsque ce dernier est à un niveau très élevé.

En 1929-30, on a cherché à remettre en eau les DAOUNA mais, bien que le niveau du lac FAGUIBINE fut relativement élevé, la progression des eaux ne dépassa pas six kilomètres dans le canal, d'après G. MOURGUES. La même opération fut tentée sans succès en 1955-56. En fait il faudrait que le FAGUIBINE atteigne un niveau exceptionnellement élevé pour que le canal transite un débit suffisant et soit ainsi recalibré par l'érosion. C'est sans doute ce qui se passa en 1893 ou 1894, puisque JOFFRE a relaté la noyade d'un tirailleur à RAZ-EL-MA, localité à peine atteinte par les eaux du FAGUIBINE en 1930 et pas du tout en 1956.

La mise en eau naturelle des DAOUNA est donc un phénomène rare et qui, du fait de l'ensablement progressif du canal, tend à devenir d'autant plus exceptionnel qu'il ne s'est pas produit depuis longtemps.

Des travaux de déblaiement considérables permettraient évidemment une mise en eau artificielle, mais celle-ci resterait sous la dépendance du régime irrégulier du FAGUIBINE et offrirait donc peu d'intérêt. Dans le cas d'une régularisation du FAGUIBINE, il semble bien que l'on serait amené à adopter un niveau du lac assez bas, ce qui augmenterait démesurément le volume des travaux.

En définitive, malgré la fertilité de ses terres à diatomite, la cuvette de DAOUNA ne paraît guère susceptible d'être aménagée.

D - BASSINS VERSANTS DE L'YAME & DU BANA

L'YAME et le BANA sont deux affluents du NIGER qui rejoignent son cours entre MOPTI et DOUNA. Ils jouent réellement le rôle d'affluents, c'est-à-dire qu'ils apportent de l'eau au NIGER mais ne lui en prélèvent jamais. Ce fait est assez exceptionnel dans toute la Cuvette Lacustre pour mériter d'être souligné.

Le bassin de L'YAME est de beaucoup le plus important et a une superficie de 4 670 km². Il est alimenté par la presque totalité du plateau gréseux de BANDIAGARA s'étendant à l'Est de MOPTI et appelé encore plateau DOGON.

L'altitude du plateau varie de 300 à 600 mètres. Il surplombe à pic la plaine d'effondrement du GONDO vers le SUD-EST et le bassin du KORAROU au Nord. Il s'agit d'un ancien synclinal axé ENE-SSO. De part et d'autre de l'axe, les traces visibles des différentes couches de grès forment une multitude de chaînons tous orientés de la même façon et parallèlement à l'axe du synclinal. En outre, le massif de grès est largement faillé dans une direction grossièrement perpendiculaire à la première.

L'YAME emprunte une grande faille et un effondrement ; son affluent rive droite, le DOURO, coule dans l'axe du synclinal.

La pluviométrie moyenne annuelle de BANDIAGARA est de 560 mm. La pente de l'YAME entre BANDIAGARA et le NIGER est de 125 mètres pour 70 kilomètres ; la pente du DOURO est du même ordre de grandeur. Les conditions de ruissellement du bassin sont moyennes : grès de perméabilité faible ou nulle mais largement diaclasés et fissurés, arènes perméables provenant de l'altération des grès.

Certains cours d'eau coulent toute l'année grâce à des sources de fissures, mais l'YAME à BANDIAGARA cesse de débiter en année sèche.

Nous ne connaissons rien de l'hydrologie de cette région mais il est vraisemblable que l'YAME apporte au NIGER, suivant l'hydraulicité, entre 250 et 500 millions de m³ par an.

Le bassin du BANA (670 km²) est situé dans la partie Nord-Ouest du plateau. Il est séparé du bassin de l'YAME par le chaînon d'AIRE DOULE mais le régime des deux cours d'eau est identique.

Les eaux du BANA, après avoir traversé la route de KONA au pont de NIENAGOU, s'épandent dans la mare de DIAMBA-KOUROU et débordent dans le TAKASSI qui rejoint le fleuve à KONA. Le volume des apports au NIGER est compris entre 30 et 100 millions de m³, vraisemblablement, ce qui situe le total des apports des deux rivières, YAME et BANA, entre 300 et 600 millions de m³ suivant l'hydraulicité annuelle.

Le plateau de SANDIAGARA est une région pittoresque peuplée par les DOGONS qui sont craintifs mais habiles cultivateurs. Leurs villages sont parfois curieusement dissimulés dans les rochers.

E - LE NIGER DE TOMBOUCTOU A TOSSAYE

A partir de TOMBOUCTOU le fleuve s'engage sur plus de 250 km dans un large sillon dunaire orienté presque exactement vers l'Est.

Au fond de ce "tayeurt" le NIGER divague régulièrement sur une largeur de 5 à 8 km. A l'aval immédiat de KORIOUME on rencontre encore quelques inondations de très hautes eaux qui rappellent la Cuvette Lacustre, mais au-delà de TIN-NATEN il n'y a presque plus de bassin ni d'alimentation, ni d'épandage.

Les dunes vives s'étendent de part et d'autre du fleuve et la vie tend à disparaître. Seuls subsistent quelques campements de SONGAI qui s'acharnent à faire pousser quelques maigres cultures sur les berges et les bas-fonds argileux.

Au-delà de BAMBA, le lit du fleuve se rétrécit et se rapproche du socle précambrien du GOURMA ; des affleurements rocheux apparaissent (BARKAINA, îlots de KORGOYE et CHABARIA). Puis brusquement le NIGER s'engage dans une gorge large de 200 à 300 mètres et longue de 2400 mètres : c'est le défilé de TOSSAYE où les fonds atteignent 12 à 15 mètres. Ce défilé rocheux à partir duquel s'amorce une lente érosion régressive, commande le profil d'équilibre de toute la Cuvette Lacustre.

Nous signalerons enfin qu'un bras fossile du NIGER a été découvert par le géologue G. PALAUSI sur photographies aériennes. Son lit qui naît en aval de KORIOUME et se dirige vers le Nord en direction d'ARAOUANE, est maintenant masqué par des dépôts de sables éoliens.

C H A P I T R E I I

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

A - GEOLOGIE (d'après G. PALAUSI) - Voir Carte VIII

La Cuvette Lacustre et les régions environnantes comportent plusieurs formations géologiques importantes (1) que l'on peut citer par ordre d'ancienneté :

- le socle précambrien,
- les schistes birrimiens plissés du GOURMA
- les schistes infracambriens (paléozoïques)
- les grès horizontaux (primaires)
- le continental intercalaire
- le continental terminal (tertiaire)
- les dépôts quaternaires.

Le socle précambrien et les schistes plissés, dont la délimitation est assez imprécise, apparaissent dans le GOURMA, entre les lacs de rive droite et GAO. La "boucle" du NIGER contourne ces formations par le Nord ; toutefois le fleuve les a entaillées sur une courte distance, au défilé de TOSSAYE, probablement à la faveur d'une faille naturelle qu'il a par la suite élargie.

Dans la région de GOUNDAM et du lac FAGUIBINE, les puits révèlent l'existence à faible profondeur de schistes paléozoïques.

Sur le socle précambrien reposent des formations sédimentaires gréseuses ozoïques, appelées "grès horizontaux". On rencontre de bas en haut les étages suivant :

- grès de SOTUBA
- grès de BOBO-DIOULASSO

(1) Des recherches géochronologiques récentes donnent à penser que l'échelle stratigraphique à laquelle nous nous référons ici demandera à être révisée assez profondément.

- schistes gréseux, verts, bleus et rouges
- grès de KOUTIALA
- grès de BANDIAGARA

Les grès horizontaux, d'âge primaire, apparaissent sur le pourtour méridional de la Cuvette Lacustre ; ils plongent sous elle avec un pendage général dirigé approximativement vers le Nord-Nord-Ouest, mais ils sont affectés de certains plissements orientés Sud-Ouest/Nord-Est qui donnent lieu à divers affleurements :

- anticlinal de BANDIAGARA
- anticlinal de TOGO DEBO (affleurements de DIAFARABE, Mont GUINDIO, rocher MARIE-THERESE et Mont SAINT CHARLES).
- anticlinal de la région de BOULEL-NIONO.

Dans la région de GOUNDAM, les grès réapparaissent également et donnent lieu à des pointements du relief que l'on a déjà cités au chapitre précédent dans la description des lacs de rive gauche (Monts HORO-TONDI, FATI-TONDI, KIRO-KAMBA, ABANKOR et FARACH). Ces montagnes sont constituées par des grès de KOUTIALA ; seuls les sommets révèlent quelques bancs de grès conglomératique de BANDIAGARA. L'examen des directions de plissement indique que les grès de la région de GOUNDAM et ceux du plateau de BANDIAGARA ont subi des mouvements tectoniques différents. Il est donc probable que le radier gréseux au fond de la Cuvette Lacustre présente des ruptures et dislocations.

Cette hypothèse a été confirmée par des sondages électriques de la Compagnie Générale de Géophysique qui ont mis en évidence une fosse d'effondrement très allongée qui s'étendrait depuis la région de NARA jusqu'au lac FAGUIBINE (fosse d'OUARTEMACHET).

Nous n'entrerons pas dans le détail des caractères physiques des différents niveaux des grès horizontaux. Nous indiquerons seulement que les grès de BANDIAGARA sont plus puissants, plus silicifiés et moins poreux que ceux de KOUTIALA. La circulation des eaux y est importante par fissures et diaclases, mais les nappes y sont inexistantes.

Les grès de BANDIAGARA, dans la Cuvette Lacustre, sont démantelés et n'apparaissent que très rarement ; au contraire, les grès de KOUTIALA en constituent le radier général et le toit de la nappe profonde. Au-dessous, les schistes verts forment souvent le mur de la couche aquifère et peut-être une zone de circulation profonde.

Dans la Cuvette Lacustre et plus au Nord, les grès primaires sont recouverts par des dépôts tertiaires et quaternaires.

On distingue deux formations dans les sédiments tertiaires :

- le Continental intercalaire (grès, sables et argiles),
- le Continental terminal (grès argileux ocres, bariolés rouges ou violets).

Ces deux formations sont puissantes (jusqu'à 100 m). Entièrement aquifères, elles jouent un rôle fondamental dans l'hydrogéologie de la région.

Le Continental intercalaire est principalement localisé dans la fosse d'OUARTEMACHET. Le Continental terminal s'étend largement au Sud et surtout au Nord de cette fosse.

Les dépôts quaternaires qui recouvrent la plus grande partie de la Cuvette Lacustre, peuvent être d'origine fluviatile ; ils sont alors constitués par des sables grossiers, des graviers, des argiles appelées "banco" ou des argiles noires hydromorphes au voisinage des mares ou encore des diatomites dans le fond de certains lacs. D'autres apports quaternaires sont d'origine éolienne. Ils sont alors constitués de sables fins et d'argiles poudreuses très colmatantes.

B - EVOLUTION DE LA CUVETTE

On a toute raison de penser qu'à une époque reculée la Cuvette Lacustre constituait une véritable mer intérieure qui s'étendait beaucoup plus largement vers le Nord et était à peu près centrée sur l'emplacement actuel d'ARAOUANE. Le niveau de cette mer intérieure était sans doute voisin de l'altitude 270 m et elle n'avait aucune issue vers l'Atlantique, l'évaporation suffisant à compenser les apports malgré un climat plus humide à certaines périodes. Elle était vraisemblablement alimentée par une série de bras situés au Nord-Ouest de l'actuelle Cuvette Lacustre tels que le FALA de MOLODO, par exemple, et la fosse d'OUARTEMACHET (où au 14ème siècle SONI ALI aurait tenté de restaurer un chenal navigable à partir du lac FAGUIBINE). D'après P. VIGUIER, on trouverait sous le fond actuel du FAGUIBINE des sables alluviaux non éoliens très différenciés et des coques de mollusques qui indiqueraient "une submersion très prolongée et un courant d'écoulement assez puissant".

Les mouvements d'ensablement ont ensuite comblé plus ou moins la partie septentrionale de l'ancienne mer intérieure et en ont encombré les chenaux d'accès les plus importants. Les pertes par évaporation diminuant, le niveau des eaux a eu tendance à s'exhausser et des déversements ont commencé par-dessus le socle primaire aux environs de TOSSAYE.

L'érosion du seuil de TOSSAYE a alors abaissé régulièrement le niveau maximal de retenue et a augmenté le volume évacué ; petit à petit la mer intérieure a ainsi perdu beaucoup de son extension et a eu tendance à migrer vers le Sud-Est sous l'effet des apports éoliens venus du Nord. L'érosion régressive remontant à partir du seuil de TOSSAYE a abaissé le profil d'équilibre du NIGER et a eu tendance à creuser le lit actuel du fleuve et ses divers effluents-affluents, tandis que les bras situés plus au Nord s'ensablaient progressivement. La région du lac FAGUIBINE n'étant plus directement alimentée, les eaux se sont déversées en contournant le massif de GOUNDAM. Le sens d'écoulement s'est inversé dans la région du KESSOU qui a commencé à prendre son aspect actuel.

Les émissaires de la région de GOUNDAM ont eu tendance à se colmater par des apports éoliens, les berges du NIGER se sont peu à peu exhausées par dépôts latéraux de limon, tandis que le lit du fleuve se creusait inexorablement par suite de l'affouillement du défilé de TOSSAYE, laissant ainsi apparaître le seuil de TONDIFARMA. Plusieurs raisons ont ainsi concouru à l'assèchement définitif des régions situées pourtant en contrebas au Nord de l'actuelle cuvette lacustre.

On peut prévoir qu'à l'échelle des temps géologiques l'évolution de la Cuvette Lacustre se poursuivra dans le sens d'une réduction des surfaces inondées, par suite de l'approfondissement et de l'élargissement du défilé de TOSSAYE et de l'augmentation concomitante des débits évacués vers l'océan. Les vestiges de la grande cuvette septentrionale (DAOUNA et FAGUIBINE) sont fort probablement voués à un assèchement rapide. Le lit du fleuve tendra lentement vers un tracé plus direct et contournera vraisemblablement le seuil de TONDIFARMA, tandis que la plupart des bras secondaires seront successivement abandonnés par les eaux courantes. A lointaine échéance les lacs de rive droite cesseront à leur tour d'être alimentés et la Cuvette Lacustre s'asséchera totalement à moins que des mouvements tectoniques ou des changements climatiques importants ne bouleversent le cycle d'évolution actuel.

C - HYDROGEOLOGIE (voir carte IX)

L'étude hydrogéologique de la Cuvette Lacustre pose le problème des infiltrations profondes des eaux du NIGER et de l'alimentation des nappes sahariennes.

On connaît encore peu de choses sur les nappes sahariennes, mais on sait qu'elles sont puissantes et qu'elles s'étendent très loin vers le Nord. Comment ces nappes sont-elles alimentées ?

On estime qu'en région sahélienne ou désertique, lorsque la pluviométrie annuelle descend au-dessous de 300 ou 400 mm, il est impossible aux eaux de pluie de s'infiltrer profondément dans le sol et de participer efficacement à l'alimentation des nappes souterraines. En effet, l'évaporation, favorisée par la forte insolation et la sécheresse de l'air, retire rapidement des couches superficielles du sol toute l'eau qui s'y est occasionnellement infiltrée.

Même lorsque le ruissellement superficiel provoque une concentration des eaux de pluie dans le lit de cours d'eau temporaires ou dans des mares, l'infiltration reste très limitée à cause du colmatage argileux.

On est donc amené à envisager deux hypothèses :

- ou bien les nappes sahariennes sont alimentées par des infiltrations importantes provenant du NIGER (et éventuellement d'autres cours d'eau, tels que le SENEGAL et le CHARI),

- ou bien ces nappes sont fossiles et se sont constituées à une époque où le climat du SAHARA était beaucoup plus humide.

Pour décider entre ces deux hypothèses, il faudrait en premier lieu parvenir à une évaluation suffisamment précise des pertes par évaporation des nappes profondes. Si ces pertes réparties sur des surfaces énormes conduisent à des volumes importants, c'est la première hypothèse qui doit être retenue. Si, au contraire, on arrive à montrer que les pertes par évaporation sont négligeables, la deuxième hypothèse prévaudra. En fait, les pertes par évaporation doivent dépendre dans une large mesure de l'épaisseur et de la porosité des terrains qui surmontent les nappes. Actuellement il n'est pas possible de trancher le problème. L'étude du bilan hydrologique de la Cuvette Lacustre n'est pas non plus assez précise pour jeter quelque lumière sur cette question. En effet, même en admettant des infiltrations profondes de 3 ou 4 milliards de m³, ce volume considérable ne représenterait que 10 % environ des pertes par évaporation de la cuvette et resterait inférieur à la marge d'erreur que l'on peut escompter sur l'évaluation de ces pertes.

Laissant donc de côté cette question, nous nous bornerons à une description rapide de la nappe phréatique de la Cuvette Lacustre en nous inspirant des travaux de G. PALAUSI et J. ARCHAMBAULT. Nous utiliserons également la carte piézométrique de J. ROURE.

Dans la cuvette proprement dite, la nappe du fleuve est continue. L'eau est partout à faible profondeur et abondante.

Entre NIGER et BANI, la nappe semble descendre au maximum à la cote 250, soit environ 20 mètres au-dessous du sol naturel.

Au nord du NIGER, dans le MACINA, la nappe plonge très rapidement vers le Nord/Nord-Ouest en direction de la fosse d'OUARTEMACHET. Dans la région de LOUGUEL la nappe se rapproche beaucoup du radier gréseux. C'est vers la cote 210 que la nappe franchit le seuil souterrain de KOLIMA pour déboucher dans la fosse du Continental Terminal et Inter-calaire. Dans cette fosse profonde, le niveau moyen de la nappe est voisin de 210 mètres, soit 50 à 70 mètres au-dessous du sol naturel. L'examen des niveaux statiques dans les puits extrêmement abondants conduirait à penser qu'elle s'abaisse légèrement vers le Nord-Est et qu'il n'existe aucun débouché vers le Nord ou vers l'Ouest (schistes cambriens de NARA).

Aux alentours du lac DEBO, le niveau de la nappe est encore voisin de la cote 260.

La région des Lacs est la plus déshéritée, car il n'existe aucune nappe profonde, les quelques puits donnant de l'eau en quantité très faible se trouveraient alimentés par un réseau de fissures formant drains.

Dans les DAOUNA les puits sont peu abondants et l'eau y est très salée, pour des raisons encore assez mal expliquées.

Au Nord du parcours dunaire TOMBOUCTOU-TOSSAYE, la nappe plonge également rapidement vers le Nord-Ouest. Le problème se pose de savoir si cette nappe est capable d'alimenter la grande nappe du Continental Terminal que l'on retrouve abondante à ARAOUANE. Il pourrait y avoir écoulement dans le Nord de Tombouctou, au-dessus du socle primaire

reliant les monts de GOUNDAM à TIMETRIN ; on y trouve, en effet, de l'eau à une profondeur variant entre 45 et 70 mètres. L'écoulement doit être important car les courbes isopièzométriques se rapprochent les unes des autres indiquant une mise en vitesse.

Vers le Nord-Est, les puits sont secs, car la nappe se trouve à un niveau inférieur à celui du radier gréseux. Entre ANEFIS et le TIMETRIN, il est probable que le socle est continu et que l'écoulement de la nappe est impossible vers le Nord.

Il semble donc que les écoulements souterrains vers le Nord soient limités à la fosse d'OUARTEMACHET qui jouerait le rôle de collecteur d'épanchement vers les sédiments de l'ancienne mer intérieure centrée sur ARAOUANE. Plus au Nord, vers TAOUDENI, le relief s'abaissant graduellement jusque vers l'altitude 150 m, le niveau de la nappe se rapprocherait de la surface du terrain. L'évaporation de la nappe ainsi facilitée aurait donné naissance aux puissants dépôts salins exploités dans la région.

Pour terminer, nous citerons les concentrations en sel dissous qui ont été mesurées sur divers échantillons d'eau prélevés sur le NIGER à BAMAKO et dans la Cuvette Lacustre :

- NIGER à BAMAKO	:	30 mg/litre (extrait sec à 110°)
- NIGER à MOPTI	:	80 "
- Mare de LERE	:	190 "
- NIGER à DIRE	:	85 "
- Marigot de GOUNDAM	:	100 "
- Lac FAGUIBINE	:	160 "

Il est assez surprenant que la salinité du lac FAGUIBINE ne soit pas plus élevée. Ce lac évapore, en effet, chaque année quelque 500 millions de mètres cubes d'eau, ce qui devrait l'enrichir d'environ 50 000 tonnes de sel par an. Il est probable que le lac subit des pertes par infiltrations qui affectent peut-être de façon préférentielle des eaux plus chargées en sel au voisinage du fond. Ces fuites souterraines s'écouleraient vers le Nord et tendraient par évaporation à se concentrer davantage.

De fait on a observé des degrés hydrotimétriques généralement croissant au Nord du FAGUIBINE :

- lac FAGUIBINE : 6 à 8 (degré hydrotimétrique)
- puits de QUARTEMACHET : 250
- puits de TIN ATARAYE : 115
- puits de MOGADOUGOU : 95

Cette hypothèse demanderait cependant à être étudiée de plus près. D'une façon générale d'ailleurs, les indications qui viennent d'être données ici ne permettent pas encore d'éclaircir complètement le problème des écoulements souterrains de la Cuvette Lacustre et de leurs relations avec les grandes nappes sahariennes.

B I B L I O G R A P H I E

- G. PALAUSI - Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des formations primaires au SOUDAN méridional et en HAUTE-VOLTA-1959 - Bull. SGPM Dakar n° 33.
- BURGEAP
(J. ARCHAMBAULT) - Les eaux souterraines de la Boucle du NIGER - Février 1953.
- Y. URVOY - Les bassins du NIGER (IFAN) - 1942.
- J. ROURE - Cartes hydrogéologiques du SOUDAN (Service de l'hydraulique du SOUDAN).
- M. ZIMMERMANN - Nouvelle subdivision des séries anté-gorandéennes de l'Afrique Occidentale (MAURITANIE, SOUDAN, SENEGAL) - XXIème Congrès géologique international, COPENHAGUE, fasc. VIII, p. 26 - 36. 1960.
- J.P. LAJOIME - Observations sur le Primaire de la région de BOBO-DIOULASSO (Haute-Volta) - B.S.G.F., p. 208 - 212.-1960.
- R. DARS - Les formations sédimentaires et les dolérites du Soudan Occidental (Afrique de l'Ouest) - Mém. BRGM n° 12, PARIS, 328 p. 27 pl. 2 c.h.t. - 1961.

C H A P I T R E I I I

SOLS & VEGETATION

=====

(d'après B. DABIN)

A - GENERALITES

En amont de la Cuvette Lacustre, ou delta inférieur nigérien, qui commence dans la région de SEGOU-SANSANDING, le lit majeur du fleuve est constitué d'un sol gris, limoneux à limono-sableux, hydromorphe et moyennement humifère. On y rencontre de petites cuvettes n'excédant pas un kilomètre de large et bordant des bras ou des affluents du NIGER. Une fois aménagées, ces cuvettes peuvent être consacrées à la culture du riz.

Au-delà du lit majeur, il existe un certain nombre de terrasses alluviales, formées d'éléments gravillonnaires plus ou moins soudés entre eux et fortement latéritisés (étude de A. EHRART). Ces terrasses anciennes sont recouvertes en majeure partie d'un sol ferrugineux tropical de texture sableuse, de couleur ocre plus ou moins foncée, et ayant subi des remaniements éoliens. Ces sols utilisés pour des cultures pauvres de mil et d'arachide sont souvent érodés et laissent apparaître des cuirasses et des "bowés". La végétation y est de type Malien (1) (*Parkia biglobosa*, *Guiera Senegalensis*, *Faidherbia albida*, différentes espèces de "Combretum" et Kapokiers).

Dans le delta nigérien on doit distinguer :

- d'une part, le delta vif qui comprend les zones périodiquement inondées, c'est-à-dire les plaines du MACINA, du DIAKA et la région des lacs.

(1) Anciennement dit "Soudanien".

- d'autre part, le delta mort, c'est-à-dire les plaines asséchées depuis longtemps qui bordent le FALA de MOLODO et constituent les provinces du KALA, KOUROUMARY, NEMA, FARIMAKE, etc...

Cette distinction régionale a son importance. Dans tous les cas les sols sont d'origine alluvionnaire, mais alors que dans le delta vif nous avons des dépôts récents soumis à une hydromorphie actuelle, dans le delta mort, ces dépôts sont un peu plus anciens et ne conservent que des traces d'une hydromorphie passée ou sont soumis à un engorgement très temporaire ; ils ont subi, en outre, une évolution climatique complémentaire qui donne une mosaïque de sols très complexe.

Au Nord du KOUROUMARY, une banquette gréseuse détourne le cours du FALA de MOLODO en direction Ouest-Est. Cette banquette est recouverte d'une épaisse cuirasse latéritique ancienne, que l'on peut, par analogie avec d'autres formations du même type, dater du miopliocène ; c'est une des rares formations latéritiques de la zone deltaïque.

La construction du barrage de SANSANDING et l'endiguement de certains marigots, comme le FALA de MOLODO en particulier, ont permis l'irrigation et la mise en culture de divers périmètres dans le delta mort. Dans la région du MACINA des sols du delta vif, protégés par des digues contre les inondations, ont également pu être irrigués à partir du barrage de SANSANDING. En dehors de la zone d'action de l'Office du NIGER, d'autres aménagements hydro-agricoles plus modestes ont été réalisés dans certaines plaines bordant le fleuve.

B - FACTEURS DE PEDOGENESE

Parmi les facteurs de pédogénèse, il faut considérer d'une part, les conditions de dépôts des matériaux originels, d'autre part, l'évolution subie par ces dépôts.

Pendant les périodes d'inondation, il se produit un triage des sédiments en fonction de leur grosseur, de la longueur du transport de la rapidité du courant etc..., c'est ainsi que se forment d'abord des bourrelets de berge limonosableux (sols "DANGA FING"), puis des sols limoneux dans les zones plates et plus loin du fleuve des sols argileux dans les thalwegs.

En bordure des zones d'inondation, on retrouve la succession des sols limoneux, limono-sableux et sableux. Lorsque les sols sont exondés, les eaux de ruissellement entraînent les éléments fins des points hauts vers les points bas ; les sables grossiers restant en place sont remaniés par le vent pour former des lignes de dunes.

En ce qui concerne les bas-fonds, dans le cas des sols à hydromorphie permanente ou prolongée, il se produit une accumulation de matière organique due, à la fois, à la masse importante d'herbe qui se décompose sur place et aux conditions permanentes d'humidité qui provoquent un manque d'aération et ralentissent la minéralisation. De cette façon se forment certains sols argileux humifères du delta vif (Sols "BOA FING") ; lorsque les bas-fonds sont exondés durant une grande partie de la saison sèche, les eaux chargées de sels minéraux qui s'écoulent dans ces bas-fonds, venant des pentes avoisinantes, s'infiltrant et s'évaporent sur place. Elles provoquent par remontée une concentration d'éléments basiques et conduisent à la formation de certains sols riches en calcium mais pauvres en matière organique (sols "Moursis", à vocation cotonnière).

Dans les sols limoneux ou limono-sableux hydromorphes (DANGA FING), le taux de matière organique est un peu moins élevé que dans les sols "BOA FING", mais reste néanmoins assez bon ; en profondeur, on observe un horizon d'accumulation ferrugineuse, dû aux oscillations de la nappe phréatique, qui présente des taches ocres et une structure polyédrique.

Dans le delta mort, les sols ont subi à l'origine une formation identique à ceux du delta vif mais ne sont plus inondés périodiquement et évoluent vers des types subarides ; seuls quelques bas-fonds imperméables constituent des mares temporaires en saison des pluies.

La dessiccation des sols, amenant une diminution de la végétation herbacée et une aération du sol, a provoqué un abaissement général du taux de matière organique ; les phénomènes d'érosion par l'eau et par le vent sont devenus plus importants, accentuant les transports d'éléments fins et de sels minéraux vers les bas-fonds et favorisant la formation des dunes. L'alternance des saisons humides et sèches a provoqué, par évaporation et concentration, la formation de nodules calcaires dans les argiles noires "Moursis" et le concrétionnement des oxydes de fer dans les sols limono-sableux.

Ces sols limono-sableux ont évolué soit vers des sols brun-rouges subarides, soit vers des sols ferrugineux tropicaux ; sous l'influence de l'érosion, les horizons d'accumulation ferrugineux ont été amenés en surface avec par endroits apparition d'un revêtement superficiel de gravillons ferrugineux durcis ; c'est ainsi que se sont formés les sols "DANGA" (ou sols brun-rouges subarides) et les sols "DANGA blé" (sols ferrugineux tropicaux).

C - CLASSIFICATION DES SOLS

Nous avons indiqué les principaux noms vernaculaires par lesquels les agriculteurs Bambara désignent les différents types de sol. Nous reprenons ici cette classification en donnant les principales caractéristiques de ces sols et leur végétation.

1°) Delta mort :

a) GENO

Sols ferrugineux tropicaux, non lessivés, beiges, sableux. Se rencontrent sur les hauteurs près des dunes.

Coupe-type

0 - 50 cm : Horizon beige-ocre clair. Très sableux, très friable.

50 - 100 cm : Horizon ocre foncé, sableux friable.

Végétation : *Guiera senegalensis*, *Schonefeldia gracilis*, Baobab (*Adansonia digitata*), *Acacia tortilis*.

Sols à forte perméabilité, rétention d'eau et point de flétrissement très bas.

b) DANGA

Sols brun-rouges subarides, ou sols ferrugineux peu lessivés et non érodés. Se rencontrent dans les zones plates.

Coupe-type

- 0 - 30 cm : Horizon beige clair, sablo-limoneux, pulvérulent à l'état sec, très compact après irrigation.
- 30 - 60 cm : Horizon beige-ocre, limono-sableux assez compact ; quelques taches ocre.
- 60 - 100 cm : Horizon ocre plus foncé, nombreuses taches ocre-rouges, parfois concrétions un peu durcies, texture limono-argileuse, structure polyédrique.

Végétation : *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Boscia senegalensis*, *Acacia tortilis*, *Pterocarpus lucens*, *Adansonia digitata*, *Commiphora africana*. Tapis herbacé de *Schonefeldia gracilis* et *Pennisetum pedicellatum*.

Sols très peu perméables en surface, rétention d'eau moyenne. Se dispersent facilement quand il pleut ou après irrigation (Terres battantes).

c) DANGA blé

Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, plus ou moins érodés. Se distinguent par une couleur ocre assez franche sur l'ensemble du profil ; texture limono-sableuse à limono-argileuse en surface ; structure grumeleuse à polyédrique, friable en surface ; peuvent devenir très compacts avec un revêtement dense de gravillons ferrugineux durcis dans les zones très érodées.

Végétation : Identique aux DANGA, mais avec *Pterocarpus lucens* dominant.

Sols moyennement perméables en surface et en profondeur, rétention d'eau moyenne. Infiltration des eaux possible. Offrent souvent des zones privilégiées de l'écoulement en profondeur.

d) DIAN

Sols bruns subarides. Forment de larges zones plates uniformes s'intercalant entre les sols DANGA et MOURSI.

Coupe-type

0 - 25 cm : Horizon brun, argilo-limoneux, très compact, quelques rares nodules calcaires.

25 - 100 cm : Horizon brun, argilo-limoneux, très dur ; fentes de retrait.

Végétation : Steppe très claire, Acacia seyal, tapis de Schoenefeldia gracilis.

Sols très peu perméables en surface et en profondeur ; rétention d'eau et point de flétrissement élevés. Sujets au ruissellement.

e) MOURSI

Argiles noires tropicales - Sols de thalweg à Micro-relief "Gilgai" (moutonnement superficiel dû à l'infiltration non uniforme).

Coupe-type

0 - 10 cm : Horizon noir, argileux, friable, structure polyédrique fine, nombreux nodules calcaires de 3 à 5 cm de diamètre.

10 cm à 1 m : Horizon gris noir, très argileux, très compact larges crevasses verticales, nodules calcaires répartis dans la masse.

Végétation : Acacia arabica, Acacia seyal.
assez dense

Perméabilité élevée en surface, moyenne en profondeur ; rétention d'eau et point de flétrissement élevés. Même en plein hivernage, ne ruissellent pas. Perméabilité forte grâce à la structure (richesse en Ca).

f) BOA

Sols gris hydromorphes dans mares temporaires.

Coupe-type

0 - 25 cm : Gris ardoise, parfois taches ocres d'hydromorphie. Texture limono-argileuse, structure compacte, moyennement

25 - 100 cm : Argileux, gris à nombreuses taches ocres d'hydromorphie, structure polyédrique.

Végétation : Anogeissus leiocarpus, Myrtragina inermis, Acacia pinnata, Acacia ataxacantha.

Perméabilité nulle en surface, moyenne en profondeur.

2°) Delta vif

a) BOA FING

Sol gris noir hydromorphe, à engorgement total prolongé.

Coupe-type

0 - 25 cm : Horizon gris noirâtre, humifère, friable. Structure grumeleuse, texture limoneuse à limono-argileuse.

25 - 40 cm : Horizon jaunâtre, limono-argileux, peu compact trainées ocres.

40 - 75 cm : Horizon gris, à nombreuses taches ocres, argilo-limoneux, structure polyédrique.

Végétation : Dans les sols limoneux à engorgement de profondeur, végétation arbustive :

Terminalia Macroptera,
Bauhinia reticulata,
Pseudocedrela Kotschii.

Dans les sols à engorgement prolongé, seules les graminées se maintiennent :

Panicum anabaptistum,
Andropogon amplexans,
Vetiveria nigriflora.

Dans les zones à engorgement semi-permanent :

Bourgout (*Echinochloa stagnina*)

Sols très répandus dans toutes les zones d'inondation du delta vii. Perméabilité moyenne à bonne en surface, moyenne à faible en profondeur, suivant l'engorgement.

b) DANGA FING

Sols brun-gris à hydromorphie temporaire de profondeur, souvent sur bourrelets de berge et en bordure des zones d'inondation.

Coupe-type

- 0 - 10 cm : Horizon gris noirâtre, assez humifère, sablo-limoneux riche en éléments fins, assez friable.
- 10 - 30 cm : Horizon jaunâtre, limono-sableux à limono-argileux structure polyédrique, rares concrétions.
- 30 - 50 cm : Horizon ocre, avec quelques concrétions durcies, argilo-limoneux, structure polyédrique. Perméabilité moyenne sur l'ensemble du profil.
- Végétation : Végétation arbustive identique à celle des BOA FING.

Sols peu perméables, sujets à ruissellement.

c) Sols à diatomées

Sols gris, hydromorphes, formés par accumulation de test de diatomées au fond des lacs.

Très poreux. Exondés, donnent des fentes de retrait considérables (1 mètre de large et plusieurs mètres de profondeur parfois). En bordure des lacs, diminution progressive des fentes de retrait par suite du mélange de sable et de limon.

Du point de vue hydrologique, on peut grouper les sols de la Cuvette Lacustre en trois grandes catégories :

- 1°) Les sols DANGA, DANGA-FING et DIAN provoquent le ruissellement superficiel des eaux de pluies.
- 2°) Les sols BOA et BOA-FING font stagner l'eau dans les bas-fonds.
- 3°) Les sols DANGA-Blé, MOURSI et SENO laissent s'infiltrer les eaux fluviales.

B I B L I O G R A P H I E

- B. DABIN (ORSTOM) - "Contribution à l'étude des sols du Delta Central Nigérien".
Revue "Agronomie tropicale" Novembre et Décembre 1951.

C H A P I T R E I V

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

=====

A - GENERALITES

Comme celui du bassin du Niger supérieur, le climat de la Cuvette Lacustre est régi par le mouvement alternatif de deux masses d'air :

- l'"Harmattan" ou air tropical continental qui provient du SAHARA, air très sec, à température élevée en été, dont la direction générale est du Nord-Est.

- la "Mousson" ou air équatorial maritime, humide et instable de température relativement fraîche et issu de l'anticyclone de Sainte-Hélène, donc venant du Sud-Ouest.

De Novembre à Avril, sous l'influence de l'anticyclone du SAHARA, l'harmattan souffle à peu près continuellement du Nord-Est, poussant lentement vers le Sud-Ouest le front intertropical (trace au sol du contact des deux masses d'air).

De Mai à Octobre, une dépression saharienne remplace progressivement l'anticyclone précédent, tandis que l'anticyclone de Sainte-Hélène se renforce et se déplace de quelques degrés vers le Nord ; la mousson envahit alors le NIGER supérieur, puis la zone lacustre. Le retour du F.I.T. vers le Nord est d'abord accompagné d'une élévation du degré hygrométrique au sol et de tornades sèches, puis de tornades courtes mais violentes.

De véritables pluies de mousson, moins intenses mais plus prolongées, ne se produisent pas sur la cuvette lacustre, car l'épaisseur de la mousson n'y est jamais suffisante.

D'après la classification traditionnelle, on peut distinguer dans la Cuvette Lacustre trois climats distincts :

- climat "Malien-Nord" (1) entre la latitude de SEGOU et celle du lac DEBO (pluviométrie moyenne comprise entre 750 et 450 mm).

- climat "Sahélien-Sud" entre la latitude du lac DEBO et celle de GOUNDAM (pluviométrie comprise entre 450 et 250 mm).

- climat "Sahélien-Nord" au nord du parallèle de GOUNDAM (pluviométrie comprise entre 250 et 100 mm).

Pour éviter une confusion possible avec la classification de J. RODIER qui concerne non pas les climats mais les régimes hydrologiques, nous rappellerons que cet auteur distingue :

- le régime "Sahélien" qui règne sur la frange tropicale comprise approximativement entre les isohyètes 750 et 300 mm/an.

- le régime "subdésertique" qui s'étend aux régions comprises entre les isohyètes 300 et 100 mm/an.

B - EQUIPEMENT METEOROLOGIQUE

NOPTI-SEVARE est la seule station située à l'intérieur de la Cuvette Lacustre . Plusieurs sont situées sur sa périphérie : SEGOU et SAN au Sud, TOMBOUCTOU au Nord.

Les éléments climatiques varient souvent en fonction de la latitude, on a également considéré les deux stations de NEMA et HOMBORI malgré leur éloignement de la cuvette.

On trouvera ci-après les coordonnées, altitudes et dates de mise en service de ces six stations principales.

(1) L'ancienne dénomination était "soudanien-nord".

Stations	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Altitude (m)	Date de mise en service
SEGOU	13° 24'	6° 09'	288	1920
SAN	13° 20'	4° 50'	287	1921
MOPTI	14° 30'	4° 12'	268	1921
HOMBORI	15° 20'	1° 41'	299	1921
NEMA	16° 37'	7° 16'	269	1923
TOMBOUCTOU	16° 46'	3° 01'	299	1949

Pour l'étude particulière de la pluviométrie, les stations de base ne sont pas exactement les mêmes : six postes, répartis le long du NIGER de SEGOU à GOURMA - RHAROUS, ont été retenus comme particulièrement représentatifs des variations saisonnières ; pour le tracé des isohyètes annuelles on a utilisé une quinzaine de postes situés sur les bords ou à l'intérieur de la cuvette, ainsi que cinquante autres postes existants dans un rayon de 300 km autour de MOPTI, station centrale de la zone lacustre ; cet ensemble de plus de soixante postes a permis un tracé suffisamment précis des isohyètes dans le polygone encadrant la cuvette : NEMA - BAMAKO - KOUTIALA - HOMBORI - GAO - TOMBOUCTOU.

C - LES VENTS

Le régime des vents dans la zone lacustre est analogue à celui observé dans les bassins du NIGER supérieur et du BANI : l'harmattan, vent d'Est ou de Nord-Est, domine durant la saison sèche et la mousson, vent du Sud ou du Sud-Ouest, pendant la saison des pluies.

La direction générale des vents peut subir quelques déviations locales. On remarque ainsi que dans le Nord de la cuvette la direction prédominante de l'harmattan en saison sèche est du secteur Est/Nord-Est, alors qu'elle est du Nord/Nord-Est à MOPTI et du Nord-Est à SEGOU.

Le tableau ci-dessous donne la répartition des vitesses à six stations, pendant les semestres Novembre-Avril et Mai-Octobre que l'on peut approximativement assimiler à la saison sèche et à la saison des pluies.

Saison sèche (Novembre 1954 - Avril 1955)					
Stations	≤ 1 m/s	2 à 4 m/s	5 à 6 m/s	7 à 14 m/s	15 à 21 m/s
SEGOU	35	95	39	12	0
SAN	43	124	9	3	0
MOPTI	63	69	29	19	0
TOMBOUCTOU	50	122	8	1	0
NEMA	22	49	17	90	1
HOMBORI	114	53	12	2	0

Hivernage (Mai-Octobre 1955)					
Stations	≤ 1 m/s	2 à 4 m/s	5 à 6 m/s	7 à 14 m/s	15 à 21 m/s
SEGOU	56	106	17	5	0
SAN	61	100	14	7	0

Hivernage (Mai-Octobre 1955)					
Stations	≤ 1 m/s	2 à 4 m/s	5 à 6 m/s	7 à 14 m/s	15 à 21 m/s
MOPTI	65	64	33	20	1
TOMBOUCTOU	76	103	4	1	0
NEMA	30	93	23	38	0
HOMBORI	43	128	10	3	0

La dispersion des résultats est assez élevée. On doit noter cependant que la station de TOMBOUCTOU est située en contrebas de dunes et se trouve ainsi abritée du vent. De même l'exposition des stations de NEMA et HOMBORI permet dans une certaine mesure d'expliquer la prédominance des vents moyens et forts pour la première et faibles pour la seconde.

La comparaison des deux tableaux montre que la mousson et l'harmattan sont tous deux des vents de vitesse généralement assez faible, inférieure à 4 m/s. En hivernage, les vitesses de 2 à 4 m/s sont plus fréquentes qu'en saison sèche, tandis que celles de 5 à 6 et 7 à 14 m/s sont plus rares ; la mousson est donc, les coups de vent accompagnant les tornades mis à part, un vent plus faible que l'harmattan.

D - TEMPERATURES

De même que dans le bassin du NIGER supérieur, la température moyenne dans la Cuvette Lacustre a tendance à croître lentement lorsqu'on se déplace du Sud vers le Nord. Mais la présence en zone sahélienne d'une immense étendue d'eau suffit à créer des conditions climatiques particulières.

Le tableau suivant donne les températures moyennes à différentes stations :

Station	Altitude en mètres	Température moyenne degrés C
SAN	287	28° 3
SEGOU	288	28° 6
MOPTI	268	27° 7
TOMBOUCTOU	299	29° 1
NEMA	269	30° 2
HOMBORI	299	30° 0

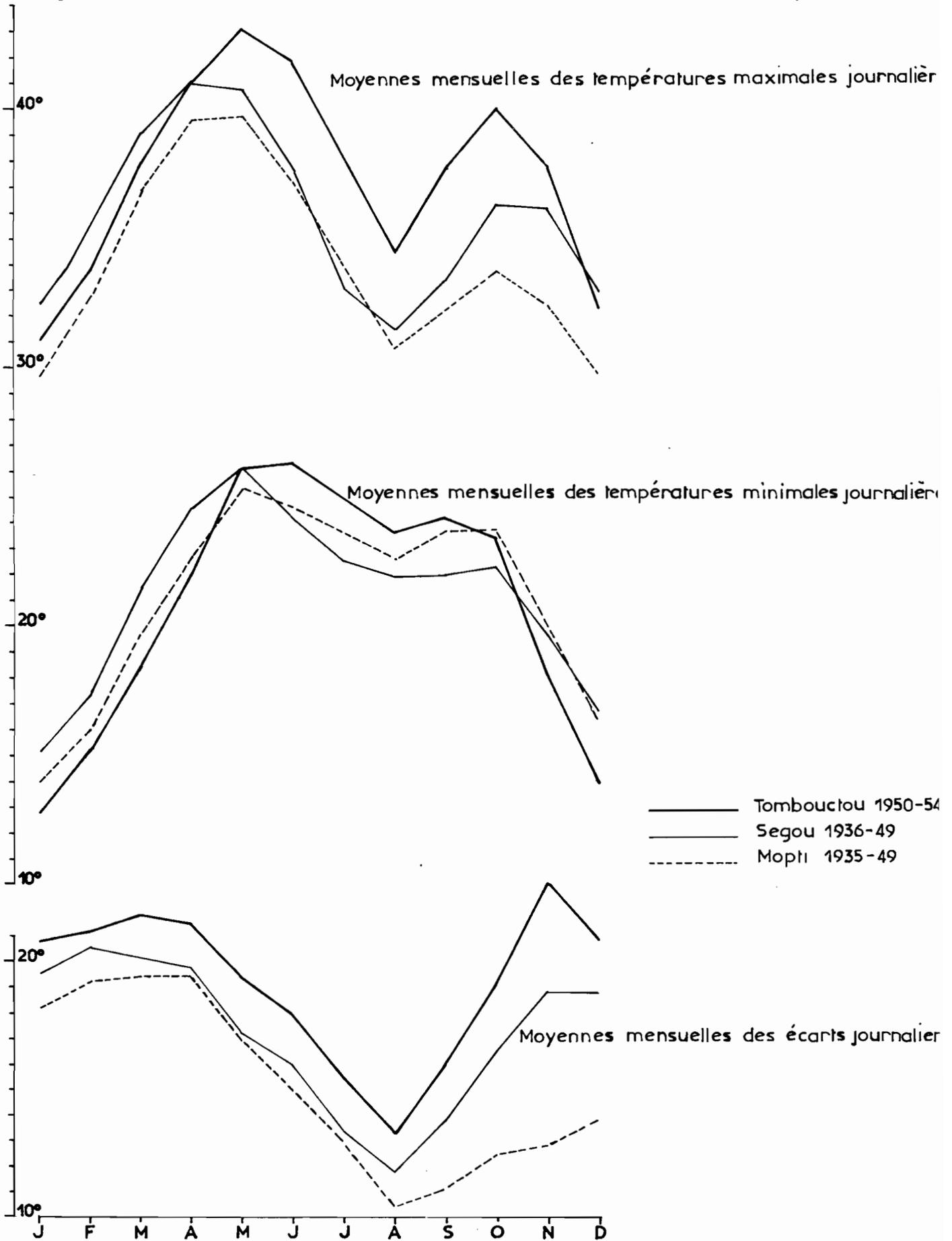
Malgré sa latitude plus élevée, MOPTI a une température moyenne un peu inférieure à celles de SAN et SEGOU. Cette anomalie s'explique vraisemblablement par l'influence rafraîchissante de la Cuvette Lacustre, car MOPTI est situé une bonne partie de l'année au milieu de plaines inondées.

Sur le graphique ci-après ont été représentées les variations des moyennes mensuelles des températures maximales (T_x) et minimales (T_n) journalières ainsi que de leurs écarts, aux stations de SEGOU, MOPTI et TOMBOUCTOU.

La courbe des T_n de MOPTI s'intercale normalement entre celles de SEGOU et de TOMBOUCTOU, tandis que sa courbe des T_x se situe généralement au-dessous d'elles par suite de l'influence déjà signalée.

A toutes les stations, les températures passent par un minimum en Janvier.

CUVETTE LACUSTRE - Variations mensuelles des températures



Après une remontée régulière en Février et Mars, les plus fortes chaleurs ont lieu en Août ou en Mai. Il y a un décalage de quelques semaines entre le maximum de SEGOU ($40^{\circ} 9$) et celui de TOMBOUCTOU (43°) à cause d'une arrivée plus tardive des pluies. Les températures nocturnes suivent une évolution sensiblement parallèle, avec maximum en Mai voisin de 26° .

A partir de Juin, les pluies entraînent un rafraîchissement général plus sensible d'ailleurs le jour que la nuit.

Un minimum relatif de Tx se produit en Août, avec $31^{\circ} 6$ à SEGOU, $30^{\circ} 8$ à MOPTI et $34^{\circ} 4$ à TOMBOUCTOU.

En Septembre, on observe avec la diminution des pluies une remontée générale des températures diurnes. Un maximum secondaire se produit en Octobre ou Novembre, avec 40° à TOMBOUCTOU, $36^{\circ} 3$ à SEGOU et $32^{\circ} 8$ à MOPTI. Par contre, les températures nocturnes marquent pratiquement un palier d'Août à Octobre.

En Novembre débute la saison sèche ; les températures amorcent leur descente vers le minimum absolu de Décembre-Janvier.

Quant aux écarts journaliers de température, ils subissent des variations annuelles assez comparables aux diverses stations, mais ils sont toujours plus importants à TOMBOUCTOU qu'à SEGOU et à MOPTI, surtout pour cette dernière station pendant le dernier trimestre de l'année.

D'une façon générale, l'écart est minimal en Août (8 à 11°) et maximal en Février, Mars ou Avril (17 à $19^{\circ} 5$). A TOMBOUCTOU, l'écart journalier est également très élevé en Novembre ($20^{\circ} 6$).

En fait, les écarts journaliers de température sont essentiellement liés à l'humidité de l'air et varient en sens inverse du degré hygrométrique.

E - HYGROMETRIE ET EVAPORATIONa) Humidité de l'air

Les moyennes annuelles décroissent en général du Sud au Nord, comme le montre le tableau suivant :

Stations	Humidité relative U (%) Tension de vapeur e (mb)			
	Moyenne des maximums		Moyenne des minimums	
	\bar{u}_x	\bar{e}_x	\bar{u}_n	\bar{e}_n
TOMBOUCTOU	54	22,7	21	8,2
NEMA	49	-	22	-
HOMBORI	50	-	21	-
MOPTI	75	26,8	30	10,2
SEGOU	74	26,4	32	10,9
SAN	79	-	32	-

La proximité ou l'éloignement par rapport aux plaines inondées de la Cuvette Lacustre a cependant une influence sensible sur l'humidité relative, comme on peut le voir en comparant la valeur de \bar{u}_x de TOMBOUCTOU à celles de NEMA et HOMBORI qui sont plus faibles malgré une latitude moins septentrionale.

Les variations, au cours de l'année, des humidités relatives maximales et minimales mensuelles, se présentent sous la forme d'une oscillation simple, avec un maximum au coeur de l'hivernage (Août) et un minimum en fin de saison sèche (Février à Avril).

Le tableau ci-dessous donne les valeurs extrêmes des Ux et des Un :

Stations	Fin de saison sèche		Hivernage	
	Ux %	Un %	Ux %	Un %
SEGOU	50 (Fév-Mars)	13 (Fév-Mars)	96 (Août)	63 (Août)
MOPTI	49 (Avril)	12 (Mars)	95 (Août)	60 (Août)
TOMBOUCTOU	32 (Avril)	10 (Avril)	90 (Août)	46 (Août)

b) Evaporation

L'évaporation a été mesurée sur bac COLORADO en quatre points situés à proximité plus ou moins immédiate de la Cuvette Lacustre :

- Au KENIE, en bordure du NIGER, entre BAMAKO et KOULIKORO.
- A KOUMBAKA à environ cinquante kilomètres au Sud de MOPTI.
- A TIN-ADJAR en plein coeur du GOURMA à la latitude de DIRE.
- A MBOUNA, sur le bord du lac FAGUIBINE.

Les deux premiers bacs étaient installés dans le lit majeur du fleuve et bénéficiaient ainsi d'un micro-climat quelque peu humide, moins toutefois que le dernier situé toute l'année auprès d'un vaste plan d'eau. Le bac de TIN-ADJAR était au contraire situé dans une région aride où il n'y a d'écoulement qu'à la suite des fortes averses.

Les résultats obtenus sont donnés ci-dessous en millimètres /
jour :

Mois	KENIE	KOUMBAKA	TIN-ADJAR	MBOUNA
Janvier	7,4	-	7,7	4,4
Février	8,9	-	7,6	5,4
Mars	9,7	-	8,3	6,3
Avril	10,7	-	9,8	7,6
Mai	9,7	-	10,4	(8,9)
Juin	7,7	9,1	11,3	(9,5)
Juillet	4,7	5,8	9,2	9,2
Août	3,5	4,1	6,5	5,3
Septembre	4,2	4,2	7,6	6,0
Octobre	5,0	-	9,3	7,1
Novembre	6,4	-	(8,7)	7,2
Décembre	6,4	-	7,8	5,3
Total annuel	2 550	-	3 170	(2 500)
Période d'observation	1954-55	1957	1956-58	1959

Malgré la brièveté des périodes d'observation, ces relevés permettent d'évaluer approximativement l'évaporation moyenne annuelle sur bac Colorado. D'une manière générale, l'évaporation croît du Sud vers le Nord, à mesure que l'on s'éloigne des régions de végétation florissante pour se rapprocher du désert. Sa hauteur annuelle est de 2 550 mm au KENIE et de 3 170 mm à TIN-ADJAR.

Les variations saisonnières suivent une courbe grossièrement sinusoïdale. Le minimum absolu a toujours lieu en Août, mois de pluviométrie et d'humidité maximales. En Septembre et Octobre, l'évaporation recommence à croître, puis marque un palier en Novembre et Décembre ou même subit un fléchissement à cause de la baisse de température surtout sensible dans le Nord de la Cuvette Lacustre. Dans les premiers mois de l'année l'évaporation augmente rapidement pour atteindre son maximum en Avril, Mai ou Juin.

La comparaison des résultats des stations de TIN-ADJAR et de MBOUNA, qui sont situées à peu près à la même latitude, met en lumière l'influence du micro-climat relativement humide créé par le lac FAGUIBINE. Cette influence est surtout importante pendant la saison sèche et s'atténue à l'époque des grosses chaleurs humides (Juin-Juillet).

Il est rassurant de constater un parallélisme satisfaisant entre les relevés qui viennent d'être mentionnés et ceux effectués sous un climat analogue sur la rive Nord du lac TCHAD :

- A TIN-ADJAR et BOL-dune, stations de micro-climat sec, on a relevé respectivement 3 170 et 3 300 mm d'évaporation annuelle.

- A MBOUNA et BOL-île, stations de micro-climat relativement humide, on a obtenu respectivement 2 500 et 2 600 mm/an.

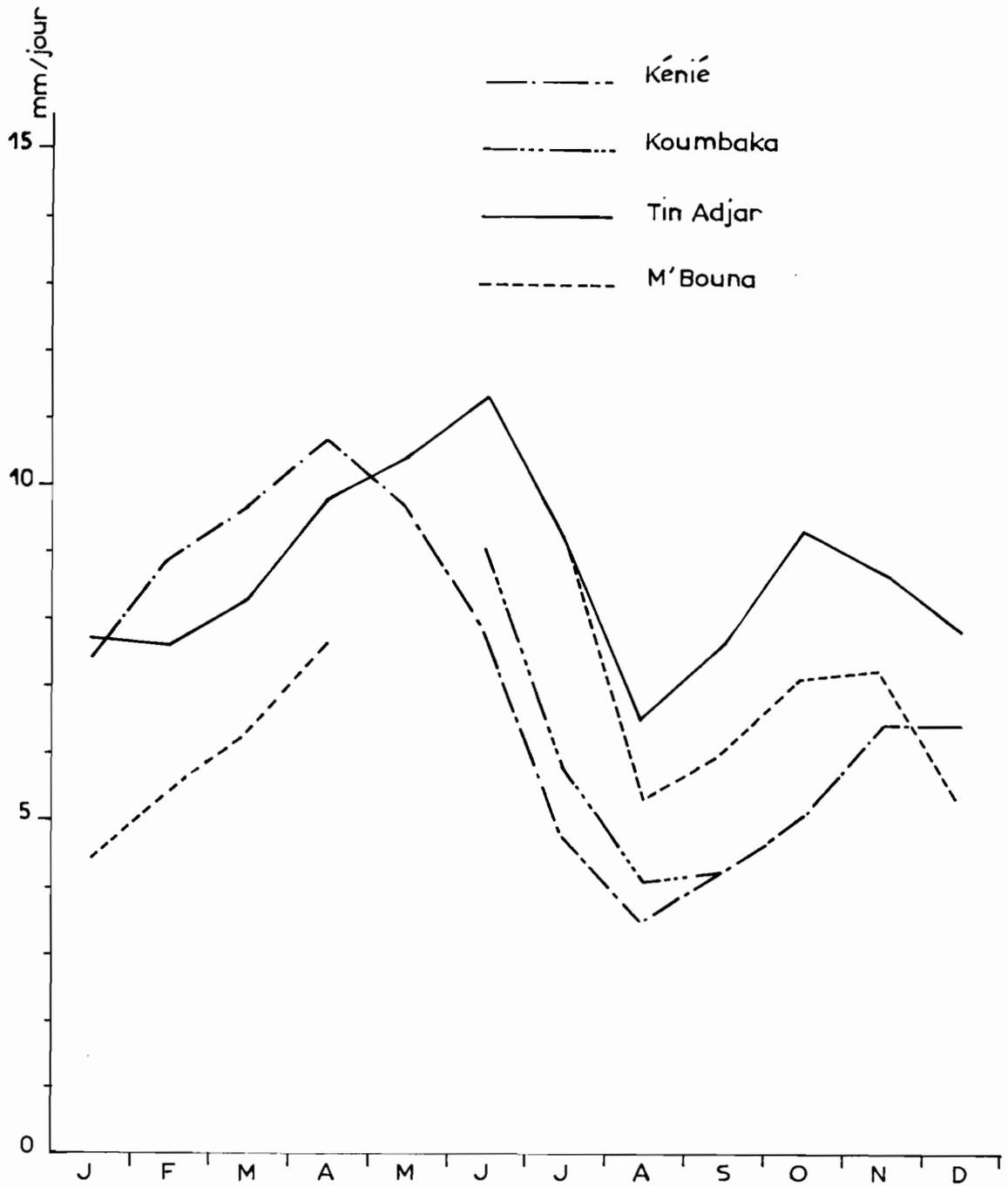
Signalons en outre, que par l'étude du bilan hydrologique du lac TCHAD, A. BOUCHARDEAU a pu évaluer à 2 300 mm/an l'évaporation réelle du lac. Cette valeur correspond à :

- 90 % environ de l'évaporation mesurée sur bac Colorado en micro-climat relativement humide.

- 70 % environ de l'évaporation mesurée sur bac Colorado en micro-climat sec.

CUVETTE LACUSTRE

Variations mensuelles de l'évaporation
sur bac Colorado



On peut ainsi admettre que l'évaporation réelle de la Cuvette Lacustre est voisine de 2 250 mm/an dans sa partie septentrionale et qu'elle s'abaisse jusqu'à environ 1 900 mm/an sur sa bordure méridionale. Ces valeurs sont applicables aux régions largement inondées. Il est probable qu'au Nord de la Cuvette Lacustre, l'évaporation approche de 3 000 mm/an dans quelques petites mares isolées et bien exposées aux vents. De même dans le Sud de la cuvette des évaporations atteignant localement 2 500 mm/an paraissent plausibles.

F - PRECIPITATIONS

1°) Hauteurs annuelles :

A la demande du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, l'ORSTOM a entrepris, à partir de 1962, une étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. A l'occasion de cette étude, dont les résultats sont progressivement publiés Etat par Etat, Y. BRUNET MORET a établi des cartes d'isohyètes interannuelles qui ont été utilisées pour tracer les isohyètes de la Cuvette Lacustre figurées sur la carte X (Cf. rapports relatifs à la République du MALI et à la République Islamique de MAURITANIE). Pour l'étude des précipitations sur le bassin du NIGER Supérieur et celui du BANI, nous n'avions pas pu utiliser l'étude générale de Y. BRUNET-MORET car elle ne couvre pas le territoire de la République de GUINEE ; les hauteurs moyennes de précipitations avaient été calculées sur une période commune s'étendant de 1923 à 1957. On ne s'étonnera donc pas de trouver de légères différences dans le tracé des isohyètes de 600 à 1 100 mm qui sont communes aux cartes IV et X.

Nous donnons ci-dessous, les hauteurs moyennes aux principales stations pluviométriques de la Cuvette Lacustre, classées suivant les variantes du climat :

a) Climat malien Sud :

FALADIE	: 1 025 mm (30 ans)	BAMAKO	: 1 080 mm (39 ans)-
KATIBOUGOU	: 951 mm (20 ans)	KOUTIALA	: 1 013 mm (39 ans)
BANAMBA	: 843 mm (27 ans)	NIENEBALE	: 938 mm (32 ans)
BAROUELI	: 814 mm (29 ans)	NOUNA	: 845 mm (21 ans)
SEGOU	: 718 mm (34 ans)	SAN	: 759 mm (40 ans)
DJENNE	: 622 mm (36 ans)	MARKALA	; 694 mm (19 ans)
SOFARA	: 598 mm (25 ans)		

b) Climat malien Nord :

BANDIAGARA	: 598 mm (39 ans)	DOUMENTZA	: 499 mm (35 ans)
MOPTI	: 543 mm (37 ans)	DOGO	: 533 mm (12 ans)
NARA	: 517 mm (34 ans)		

c) Climat sahélien Sud :

HOMBORI	: 429 mm (29 ans)	SARAFERE	: 308 mm (23 ans)
NIAFUNKE	: 324 mm (38 ans)	EL OUALADJI	: 300 mm (25 ans)
TIMBEDRA	: 320 mm (31 ans)	GAO	: 276 mm (39 ans)
NEMA	: 292 mm (37 ans)	GOUNDAM	: 257 mm (41 ans)

d) Climat sahélien Nord :

TOMBOUCTOU	: 234 mm (13 ans)	GOURMA-RHAROUS	: 180 mm (35 ans)
KABARA	: 223 mm (36 ans)	BOUREM	: 160 mm (33 ans)

La pluviométrie tombe de 750 mm à SAN et SEGOU jusqu'à moins de 200 mm dans l'extrême Nord de la boucle (RHAROUS). La pluviométrie moyenne sur la zone inondable de la Cuvette Lacustre est de 475 mm.

De KOULIKORO à MOPTI, la pluviométrie passe de 1000 mm à 540 mm ; aussi la hauteur d'eau moyenne sur l'ensemble du bassin du NIGER qui était de 1600 mm à KOULIKORO n'est-elle plus que de 1450 mm à MOPTI. Le bassin du BANI, moins favorisé dans sa partie amont, ne totalise que 1170 mm de pluie moyenne annuelle à MOPTI.

L'ensemble du bassin NIGER-BANI limité à MOPTI bénéficie d'une pluviométrie moyenne de 1310 mm. Le bassin limité à DIRE ne reçoit plus que 1160 mm.

2°) Variations saisonnières :

On peut les suivre facilement sur le tableau ci-dessous, où figurent les hauteurs mensuelles moyennes pour la période 1923-1957 à quatre stations bien réparties du Sud au Nord de la Cuvette Lacustre, chacune représentant une variante de climat :

- Malien Sud	: SEGOU
- Malien Nord	: MOPTI
- Sahélien Sud	: NIAFUNKE
- Sahélien Nord	: KABARA

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
SEGOU	0	0	2	13	29	87	194	244	125	25	3	0
MOPTI	0	0	1	5	25	60	155	200	97	16	1	0
NIAFUNKE	1	0	0	2	5	20	89	122	77	7	0	0
KABARA	0	0	0	1	2	20	58	94	38	4	0	0

Ces valeurs montrent clairement comment la saison des pluies se modifie en durée et en importance du Sud au Nord de la Cuvette Lacustre.

En amont des zones inondables, il pleut quatre mois par an du 15 Juin au 15 Octobre ; l'hivernage survient en Avril, mais les mois d'Avril et de Mai sont fort peu arrosés.

Les premières pluies attendent Mai et même Juin pour se produire en région sahélienne. La saison des pluies n'y dure plus que 3 mois, de Juillet à Septembre.

Le maximum de pluviométrie se produit pratiquement toujours en Août sur toute l'étendue du delta central. La hauteur de ce mois varie dans le rapport de 1 à 2,5 entre KABARA et SEGOU (94 à 244 mm).

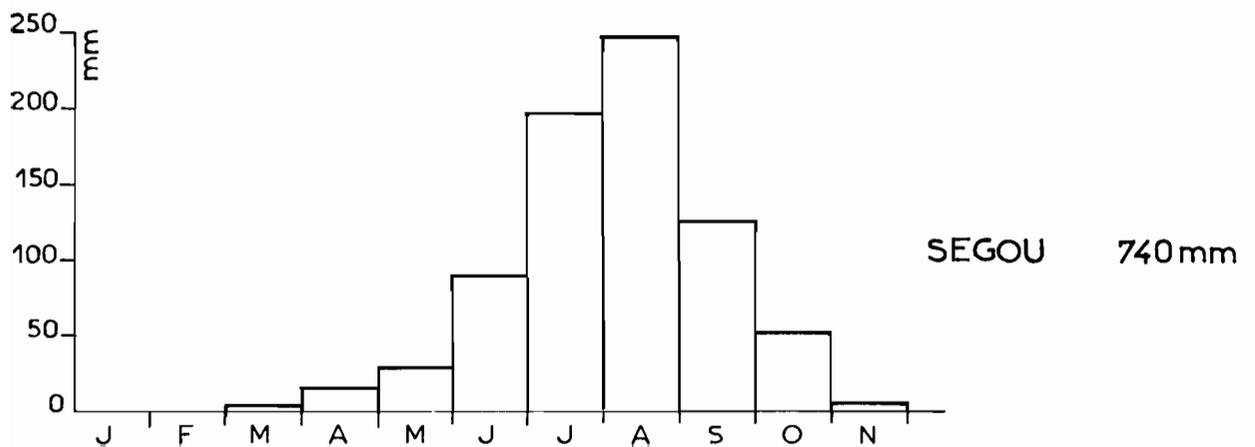
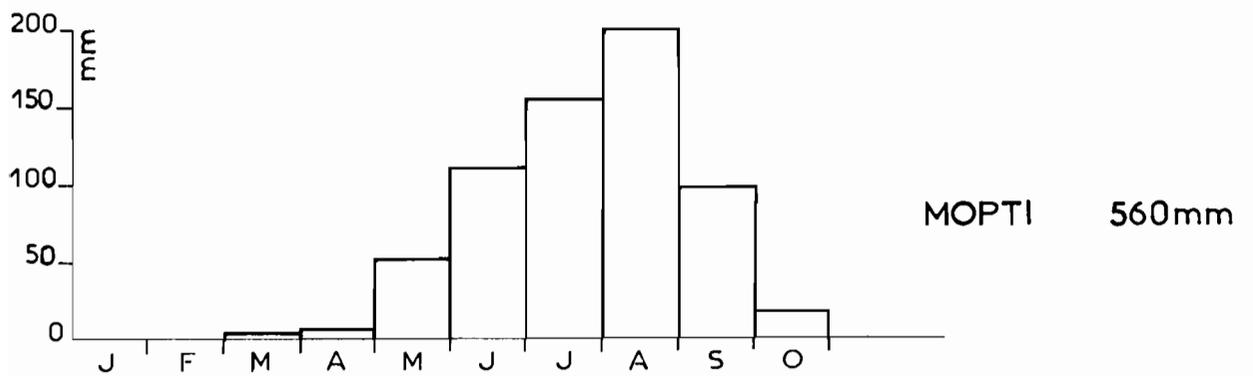
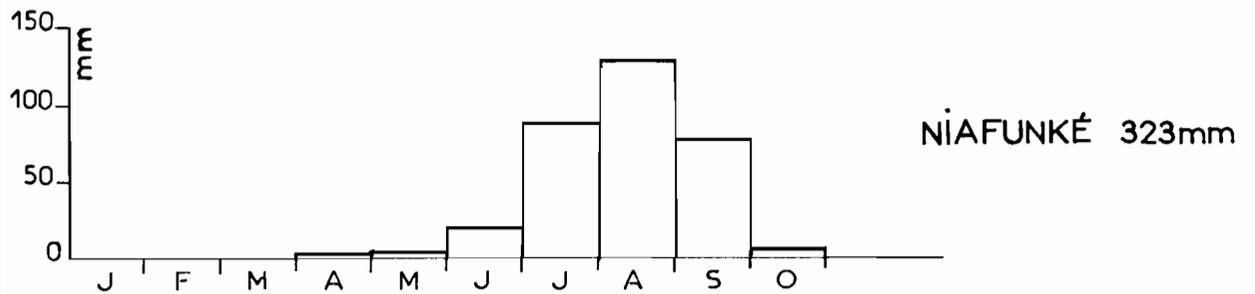
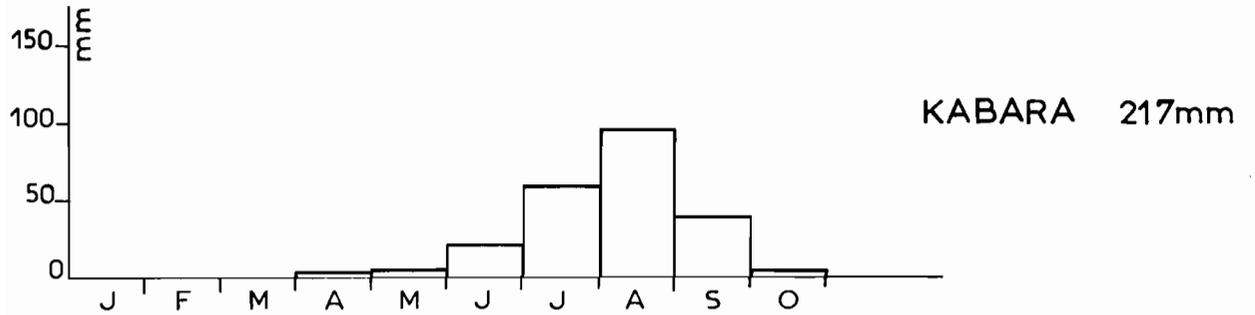
La saison sèche dure sept à huit mois en climat malien et huit à neuf mois en climat sahélien.

Dans le Sud, cette saison sèche est interrompue, une année sur dix environ, par la "pluie des mangues" survenant en Janvier ou Février.

Dans le Nord, la "pluie des mangues" est inconnue. Toutefois certaines rares années, en 1883-84 notamment, on a pu observer de petites pluies très fines à la fin de Décembre ou au début de Janvier, sans incidence d'ailleurs sur le régime du NIGER.

CUVETTE LACUSTRE

Variations saisonnières de la pluviométrie



3°) Précipitations journalières :

Toutes les précipitations sont des tornades qui se produisent généralement l'après-midi ou la nuit. Le diagramme classique de répartition dans le temps des intensités d'une tornade moyenne ou forte est le suivant :

- une période préliminaire de courte durée et d'intensité modérée (10 à 30 mm/h).

- un corps à forte ou très forte intensité moyenne (40 à 80 mm/h) durant 5 à 20 minutes ; le paroxysme, d'une durée souvent inférieure à 5 minutes, peut atteindre 150 à 200 mm/h. Cette pointe peut se dédoubler assez souvent au Sud de l'isohyète 500 mm.

- une traîne longue de 1/2 h à 2 h environ, dont l'intensité tombe rapidement de 20 mm/h environ jusqu'à 5 et 1 mm/h.

Il est fréquent que la période préliminaire n'existe pas ; l'absence de traîne est plus rare. La tornade peut être double ou triple avec des accalmies de 1 à 2 h environ après chaque pluie élémentaire.

Vers le Nord, la durée des différentes phases de la tornade tend à diminuer, mais les intensités ne subissent pratiquement pas de modification. Le nombre d'averses doubles ou à pointes multiples se réduit aussi fortement au Nord de l'isohyètes 500 mm.

On peut donc dire sans simplification abusive que l'étude des averses individuelles se ramène pratiquement à celle des averses de 24 heures.

Du Sud au Nord le nombre de jours de pluie par an diminue
Il est de :

56 à SEGOU
41 à MOPTI
28 à NIAFUNKE
22 à KABARA
19 à RHAROUS

La plus grande partie de ces pluies est de faible hauteur, comme l'a montré une étude statistique concernant des stations de climats malien et sahélien, étude qui conduit aux résultats suivants :

Fréquence de dépassement	Hauteur de pluie
50 %	6 à 7,5 mm
30 %	11 à 16 mm
10 %	24 à 34 mm

L'augmentation de la pluviométrie annuelle du Nord au Sud de la Cuvette Lacustre est due davantage à des averses plus fréquentes plutôt qu'à des averses plus fortes, tout au moins en ce qui concerne les précipitations les plus fréquentes.

4°) Précipitations exceptionnelles

On pourra se reporter utilement à l'"Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale" de Y. BRUNET-MORET, dont nous extrairons les résultats essentiels.

L'averse de fréquence biennale, c'est-à-dire dont la hauteur n'est atteinte ou dépassée qu'une année sur deux, tend à décroître du Sud vers le Nord comme la pluviométrie annuelle. Elle est comprise entre 65 et 70 mm à SEGOU, SAN et SOFARA. Elle est voisine de 50 mm à DIRE et GOUNDAM. Elle atteint à peine 40 mm à GOURMA-RHAROUS.

Quant à l'averse décennale, elle est de l'ordre de 105 mm dans le Sud de la Cuvette Lacustre, elle tombe à 80 mm à DIRE et devient inférieure à 70 mm à GOURMA-RHAROUS.

Nous citerons enfin quelques valeurs de pluies exceptionnelles relevées entre 1920 et 1949 et qui paraissent assez sûres :

95 mm à KABARA	1e 16/7/1933
103,5 mm à MOPTI	1e 27/5/1932
142 mm à NIAFUNKE	1e 5/8/1925

Quoiqu'élevée cette dernière valeur ne paraît pas invraisemblable. Nous signalerons, à titre de comparaison, que sous une latitude analogue, à FORT-LAMY, on a relevé de façon certaine, le 12 Août 1950, une averse de 181 mm, dont 135 mm tombés en deux heures (pluviométrie annuelle de 620 mm).

5°) Irrégularité interannuelle :

Si on classe les hauteurs de précipitations annuelles d'une station donnée par ordre décroissant, on peut caractériser l'irrégularité annuelle par le rapport du premier au dernier décile.

Pour la période d'observation 1923-1957, ce rapport admet les valeurs suivantes :

SEGOU	: 1,84	GROUNDAM	: 2,26
MOPTI	: 1,89	GAO	: 2,63
BANDIAGARA	: 1,90	RHAROUS	: 2,50
NIAFUNKE	: 2,21	KABARA	: 2,82

Les stations qui se rattachent à la variante Nord du climat malien ont un rapport d'irrégularité de l'ordre de 1,8 à 1,9.

Au Nord de l'isohyète 500 mm/an, avec l'apparition du climat sahélien, le rapport d'irrégularité tend à augmenter rapidement et atteint des valeurs de l'ordre de 2,5.

C H A P I T R E V

HYDROMETRIE

=====

A - EQUIPEMENT ET MESURES HYDROMETRIQUES -

Les différentes stations hydrométriques installées dans la Cuvette Lacustre sur le NIGER lui-même, ses bras secondaires, effluents et lacs figurent dans le tableau I ci-après.

Outre les coordonnées géographiques de chaque station, on a donné des indications succinctes sur l'installation des échelles limnimétriques, la continuité des observations et la valeur des étalonnages. On trouvera également, à titre d'exemple, les courbes d'étalonnage des stations principales.

Pour tout détail complémentaire sur l'historique des stations et la description de leur installation, on pourra se reporter à la Monographie originale publiée de 1958 à 1962. On y trouvera également la liste complète des jaugeages effectués jusqu'en 1957. Pour obtenir les résultats des jaugeages et les relevés limnimétriques postérieurs à 1959, on pourra s'adresser à BAMAKO au Service de l'Hydraulique du Mali.

Parmi les 24 stations qui sont mentionnées dans le tableau I, on peut distinguer trois stations principales et quatre stations secondaires.

Les stations principales sont les suivantes :

- TILEMBEYA, située sur le Niger en aval de l'embranchement du DIAKA (relevés excellents depuis 1940, moins précis de 1923 à 1929).

- MOPTI, située au centre de la Cuvette Lacustre et au confluent NIGER-BANI (précision des débits pas excellente à cause des difficultés de jaugeage et du caractère non-univoque de la courbe d'étalonnage).

T A B L E A U I

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER	1- TAMANI	13° 20' N 6° 50' W 130 000 km ²	Echelle installée en Juillet 1952 Altitude zéro : 282,36 m (IGN)	Cinq jaugeages entre 90 et 2 800 m ³ /s. Etalonnage incomplet.
	2- SEGOU	13° 27' N 6° 07' W 134 000 km ²	Relevés intermittents depuis 1915 Altitude zéro : 279,47 m	Deux jaugeages à 53 et 3 200 m ³ /s Etalonnage très incom- plet.
	3- KIRANGO- Amont	13° 43' N 6° 02' W	Relevés continus depuis Février 64 Altitude zéro : 271,67	Néant
	4- KIRANGO- Aval (ou DIAMARA- BOUGOU)	13° 42' N 6° 04' W 137 000 km ²	Echelle installée en 1925 Nouvelle échelle en 1950 Altitude zéro actuel : 274,99. Observations assez complètes de 1925 à 1940, puis à partir de Juillet 1950.	56 jaugeages en 1931-32 De 1954 à 57, 12 jaugea- ges entre 12 et 5 600 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	5- SAMA	13° 44' N 5° 45' W	Echelle installée en 1953. Observations intermit- tentes.	Néant
	6- KE-MACINA	13° 58' N 5° 21' W	Echelle installée en 1952. Altitude zéro : 268,79	5 jaugeages entre 100 et 4 330 m ³ /s. Etalonnage incomplet.
	7- TILEMBEYA (DIAFARABE)	14° 09' N 4° 59' W	Echelle actuelle instal- lée en 1952. Altitude zéro : 266,82m Relevés assez douteux de 1923 à 1929, puis sûrs de 1940 à 1949 et à partir de 1952.	50 jaugeages en 1944-45. 16 jaugeages de 1954 à 59 entre 40 et 3 250 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant.
	8- KOUAKOUROU	14° 13' N 4° 30' W	Echelle installée en 1955. Altitude zéro à déter- miner.	Néant

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	9- MOPTI	14° 30' N 4° 12' W	Echelle actuelle instal- lée en 1949. Altitude zéro : 260,60 Observations de 1922 à 1929, de 1934 à 1936 et depuis 1943.	30 jaugeages de 1951 à 1963, entre 37 et 2 800 m ³ /s. Etalonnage non univoque, peu précis *
NIGER/ ISSA-BER	10- AKA	15° 24' N 4° 14' W	Echelle installée en 1952. Altitude zéro à déter- miner.	Néant
	11- NIAFUNKE	15° 56' N 3° 59' W	Echelle actuelle instal- lée en 1954. Altitude zéro : 257,66 Observations sûres depuis: 1950.	Néant
	12- TONDIFARMA	16° 03' N 3° 48' W	Deux échelles installées en 1955. Altitude zéro (provi- soire) : 257,92 (amont) 257,72 (aval) Observations avec la- cunes depuis 1955	Néant

* Cet étalonnage a été tout récemment remis en question à la suite des jaugeages de hautes eaux effectués en 1967 (voir "la crue exceptionnelle du NIGER en 1967" par G. JACCON - cahiers ORSTOM 1968).

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER/ ISSA-BER (suite)	13- TONKA	16° 08' N 3° 45' W	Echelle installée en 1954. Altitude zéro (provi- soire) : 258,25 m ? Observations peu sûres depuis 1954.	17 jaugeages de 1954 à 1958 entre 190 et 2 830 m ³ /s. Etalonnage non univoque à préciser.
	14- TINDERMA	16° 07' N 3° 38' W	Echelle installée en 1955. Altitude zéro (provi- soire) : 257,70 ou 257,94 ? Observations depuis 1955.	Néant
	15- DIRE	16° 16' N 3° 23' W	Echelle actuelle instal- lée en 1949 Altitude zéro (provi- soire) : 256,84 m. Observations corrigées de 25 à 30 cm de 1924 à 1929, puis bonnes depuis 1930	24 jaugeages entre 120 et 2 650 m ³ /s. Etalonnage non univoque pas très satisfaisant

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER/ ISSA-BER (suite)	16- GOURMA- RHAROUS	16° 53' N 1° 55' W	Echelle installée en 1954. Altitude zéro non dé- terminée.	Néant
	17- TOSSAYE (Etudiée dans la 3ème partie de la Monogra- phie).	16° 58' N 0° 34' W	Echelle installée en 1954. Altitude zéro : 250,25 m (provisoire) Anciens relevés diffi- cilement utilisables en 1904-05, 1909-10 et 1936-37	18 jaugeages entre 230 et 2 300 m ³ /s. Etalonnage non univoque mais assez satisfaisant.
DIAKA	18- KARA	14° 09' N 5° 01' W	Echelle installée en 1952. Altitude zéro : 267,00 Observations régulières depuis 1952. Bonne cor- rélation avec relevés de TILEMBEYA.	44 jaugeages effectués en 1944-45 par l'Office du NIGER. 15 jaugeages de 1954 à 1959 entre 24 et 1 650 m ³ /s. Etalonnage satisfaisant mais assez instable en basses-eaux.

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
DIAKA (suite)	19- DIAKERA	14° 13' N 5° 00' W	Echelle installée en 1952. Altitude zéro : 266,89 Lectures bi-hebdomadaires depuis 1952.	Néant
BARA-ISSA	20- SARAFERE	15° 49' N 3° 42' W	Echelle installée en 1954. Altitude zéro : 259,015	23 jaugeages entre 10 et 420 m ³ /s. Etalonnage non univoque et mal défini à la dé- crue.
Lac FATI	21- TONDIGAME	16° 15' N 3° 39' W	Echelle installée en 1955.	-
Lac TELE	22- ALFAO	16° 38' N 3° 45' W	Echelle installée en 1957.	-

T A B L E A U I (Suite)

RESEAU HYDROMETRIQUE de la CUVETTE LACUSTRE

=====

Cours d'eau	Stations	Coordonnées superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
Lac FAGUIBINE	23- MBOUNA	16° 41' N 3° 59' W	Echelle installée en 1958.	-
Marigot de GOUNDAM	24- GOUNDAM	16° 25' N 3° 39' W	Echelle actuelle instal- lée en 1957. Altitude zéro : 255,47 Observations anciennes corrigées en 1931-33, 1935-40, 1941-43, 1945- 46 et 1951-56. Observa- tions continues depuis 1957.	9 jaugeages Office du NIGER. 37 jaugeages MEAN de 1954 à 1958 entre 1,4 et 313 m ³ /s. Etalonnage assez satis- faisant, quoique pas très stable en basses eaux.

- et DIRE, située près de la sortie de la Cuvette Lacustre (la meilleure des trois stations principales).

Quant aux stations secondaires, ce sont :

- KIRANGO-aval, qui permet d'évaluer les débits du fleuve après les prélèvements pour les irrigations de l'Office du NIGER (revalorisation des relevés anciens pas très précise).

- KE-MACINA, qui est située à la limite de la zone d'action de l'Office du NIGER mais qui est d'installation récente et n'a pas encore été complètement étalonnée.

- KARA qui, étayée par TILEMBEYA, permet d'évaluer les débits du KIAKA.

- et GOUNDAM qui voit passer la totalité des apports alimentant les lacs TELE et FAGUIBINE.

B - GENERALITES sur les DEBITS OBSERVES -

L'étalonnage des stations principales et secondaires du réseau hydrométrique de la Cuvette Lacustre a permis de traduire en débits journaliers tous les relevés de hauteurs d'eau recueillis jusqu'à ces dernières années. Il n'a pas été possible de reproduire ici la totalité de ces débits journaliers. Cependant, on trouvera ci-après divers graphiques illustrant les variations saisonnières des débits aux stations importantes en année sèche et en année humide. On trouvera également en annexe une série de tableaux donnant, pour les sept stations principales et secondaires mentionnées ci-dessus, les débits mensuels et annuels, ainsi que les débits de crue, d'étiage et les débits caractéristiques.

D'une façon générale, on peut dire que le régime des débits dans la Cuvette Lacustre dépend :

- d'une part, des conditions hydrologiques qui règnent dans les bassins du NIGER Supérieur et du BANI, puisqu'ils fournissent la quasi-totalité des apports.

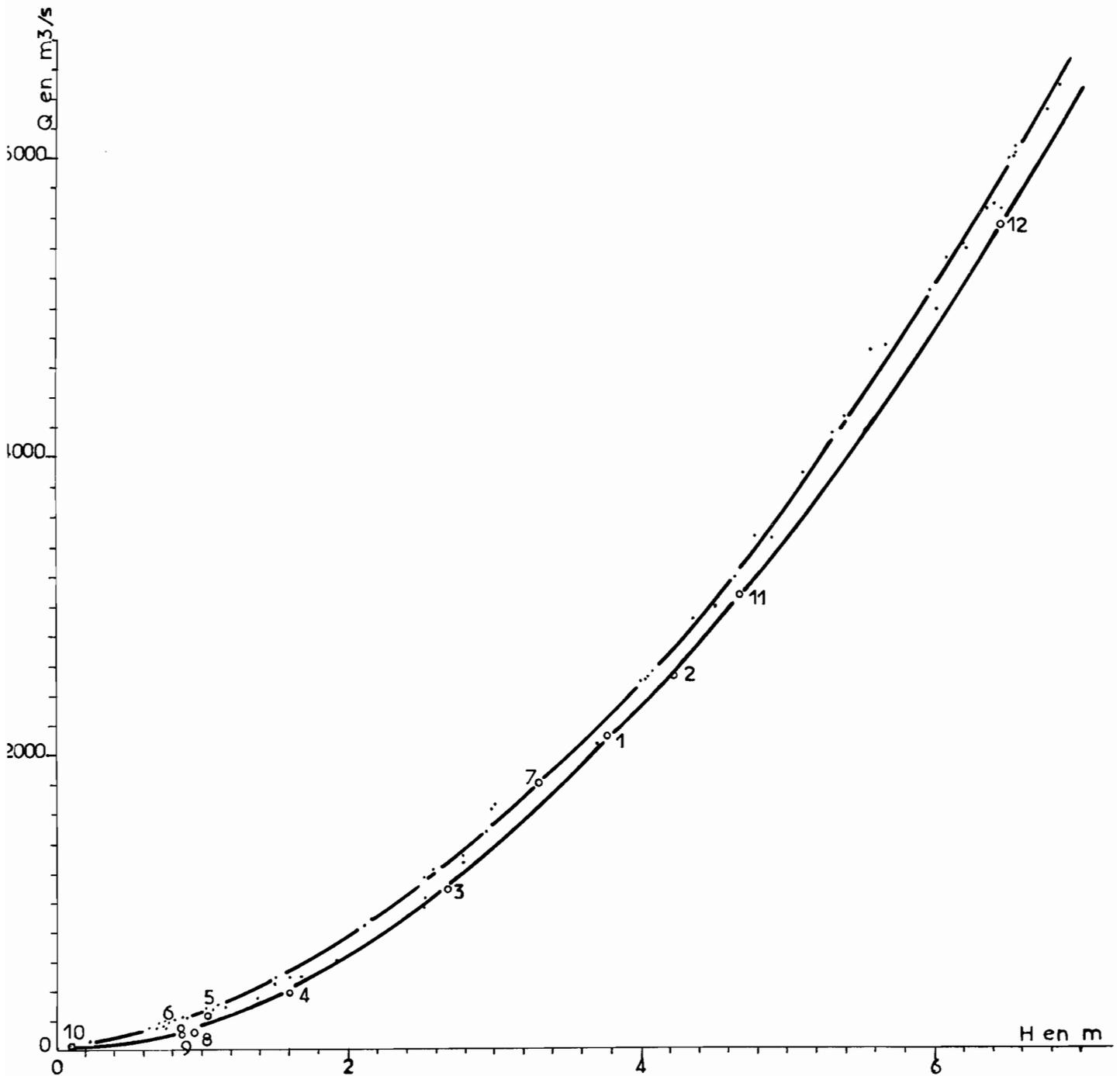
Gr. 43

Le NIGER à KIRANGO

• Diamaribougou 1931-33

◦ Hydraulique 1954-59

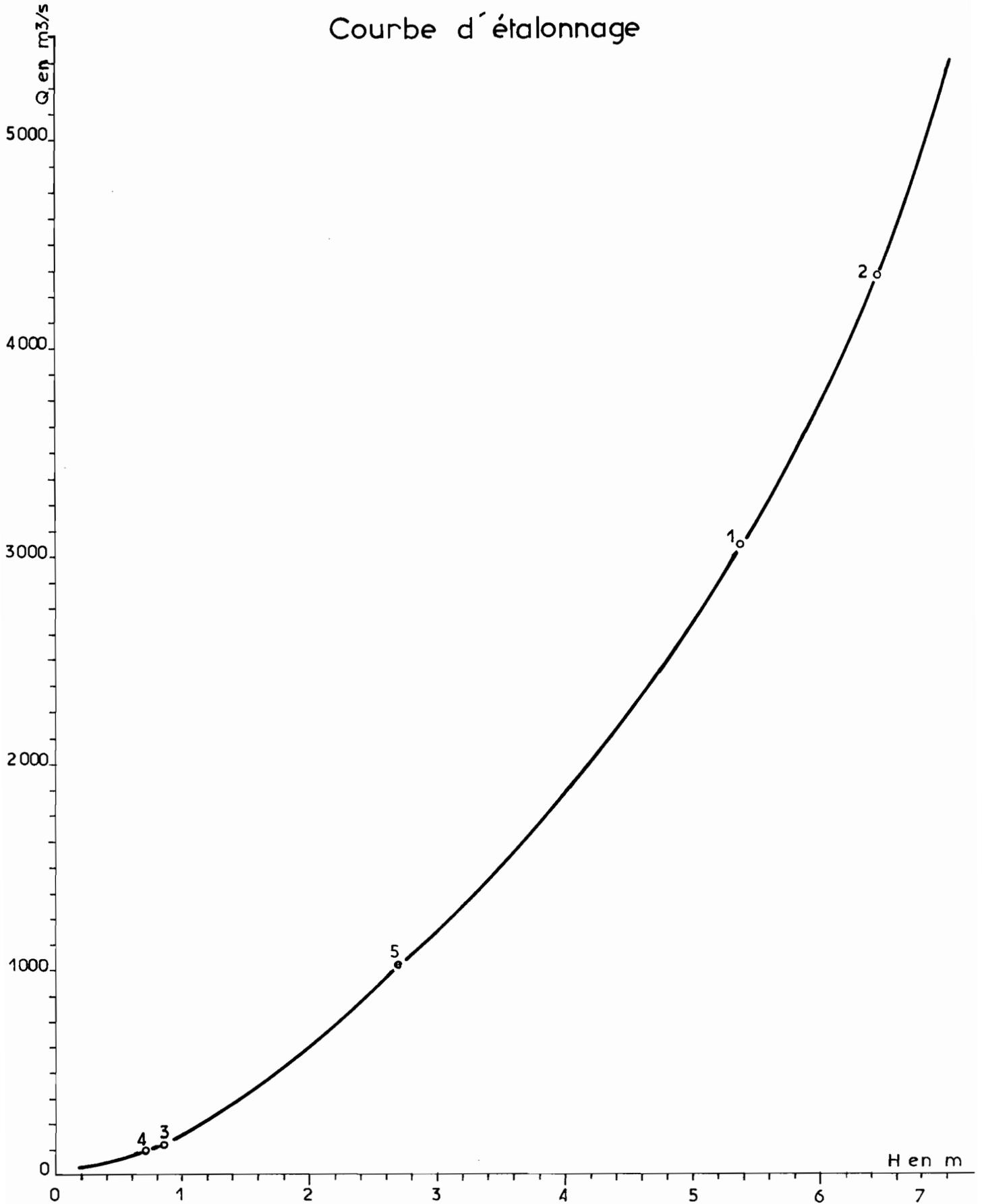
(Zéro hydraulique = Zéro Diamaribougou + 0,18)



Gr_44

Le NIGER à KÉ-MACINA

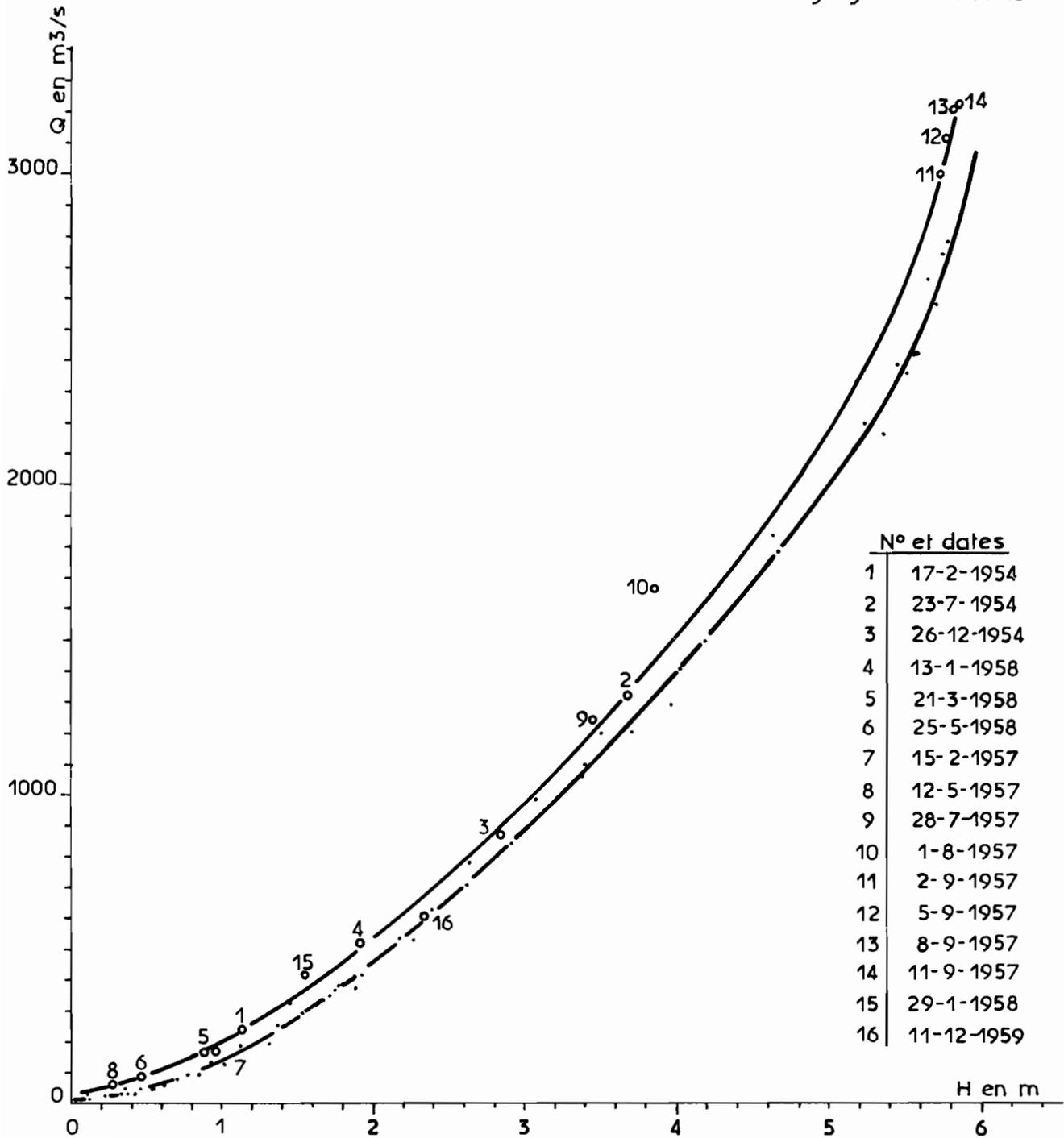
Courbe d'étalonnage



Gr. 45

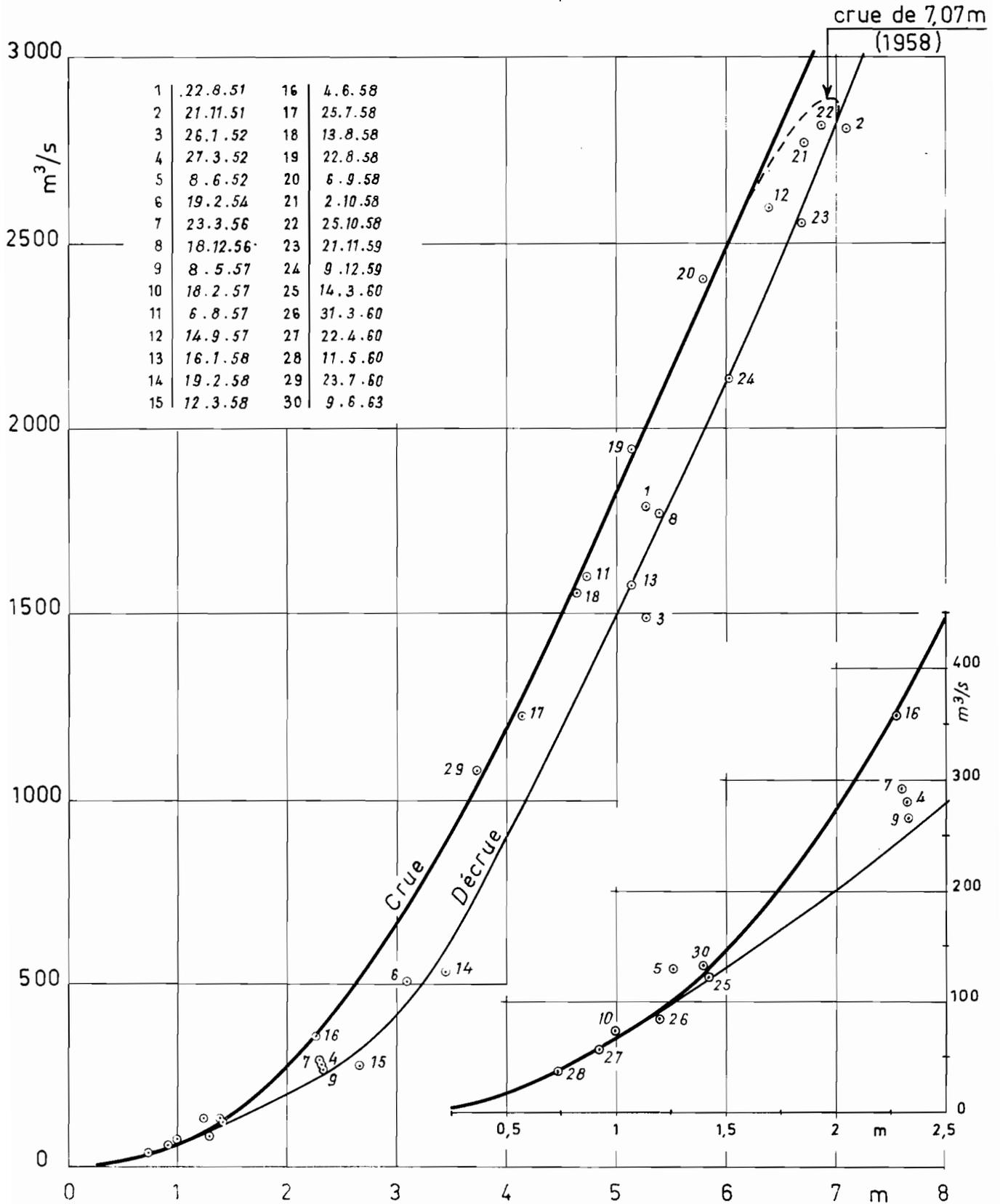
Le NIGER à TILEMBEYA

○ Jaugeages S.H.1954-58
• Jaugeages O.N.1944-45



Le NIGER à MOPTI

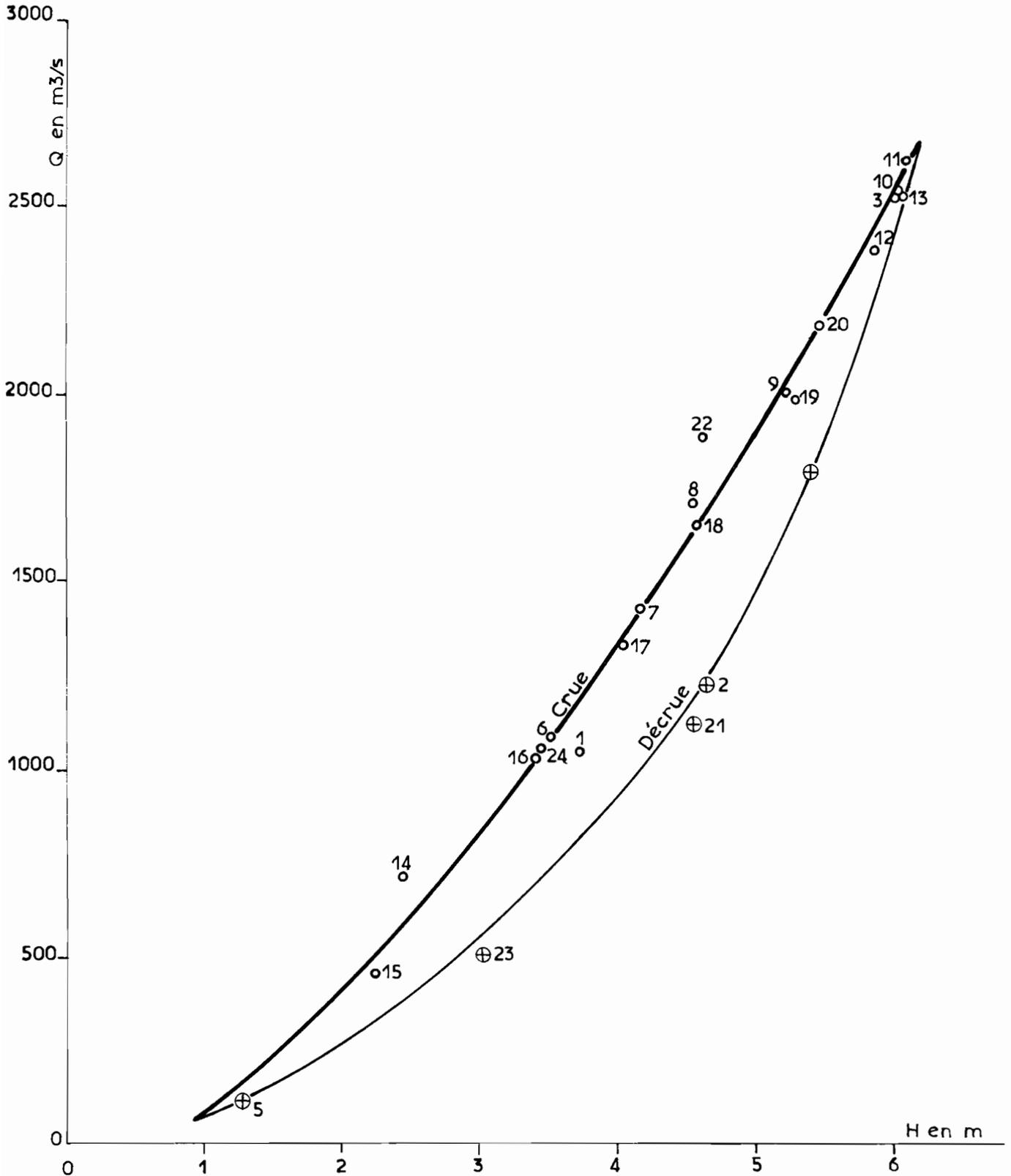
Courbe d'étalonnage



Gr_47

Le NIGER à DIRÉ

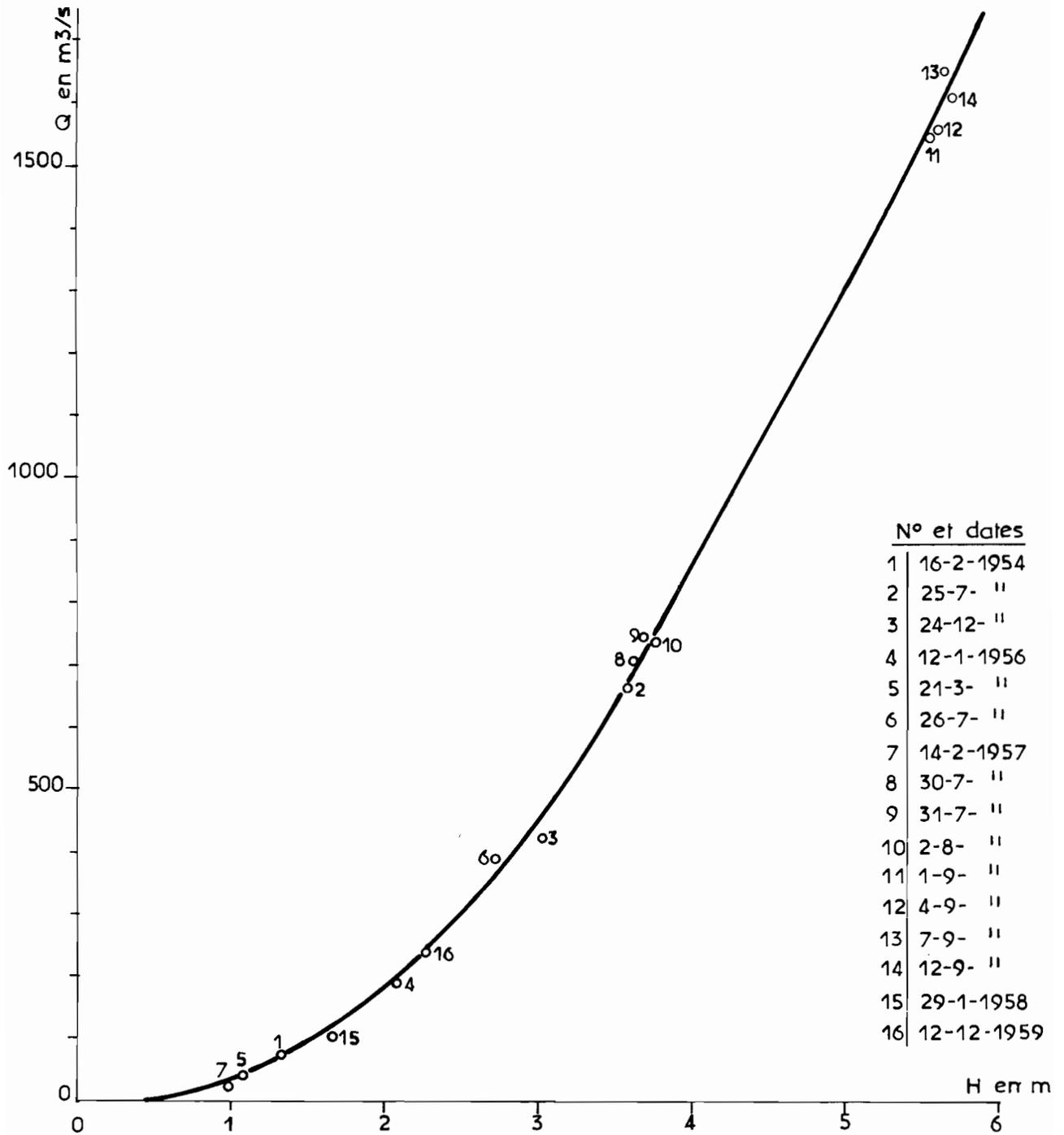
Courbe d'étalonnage



Gr. 48

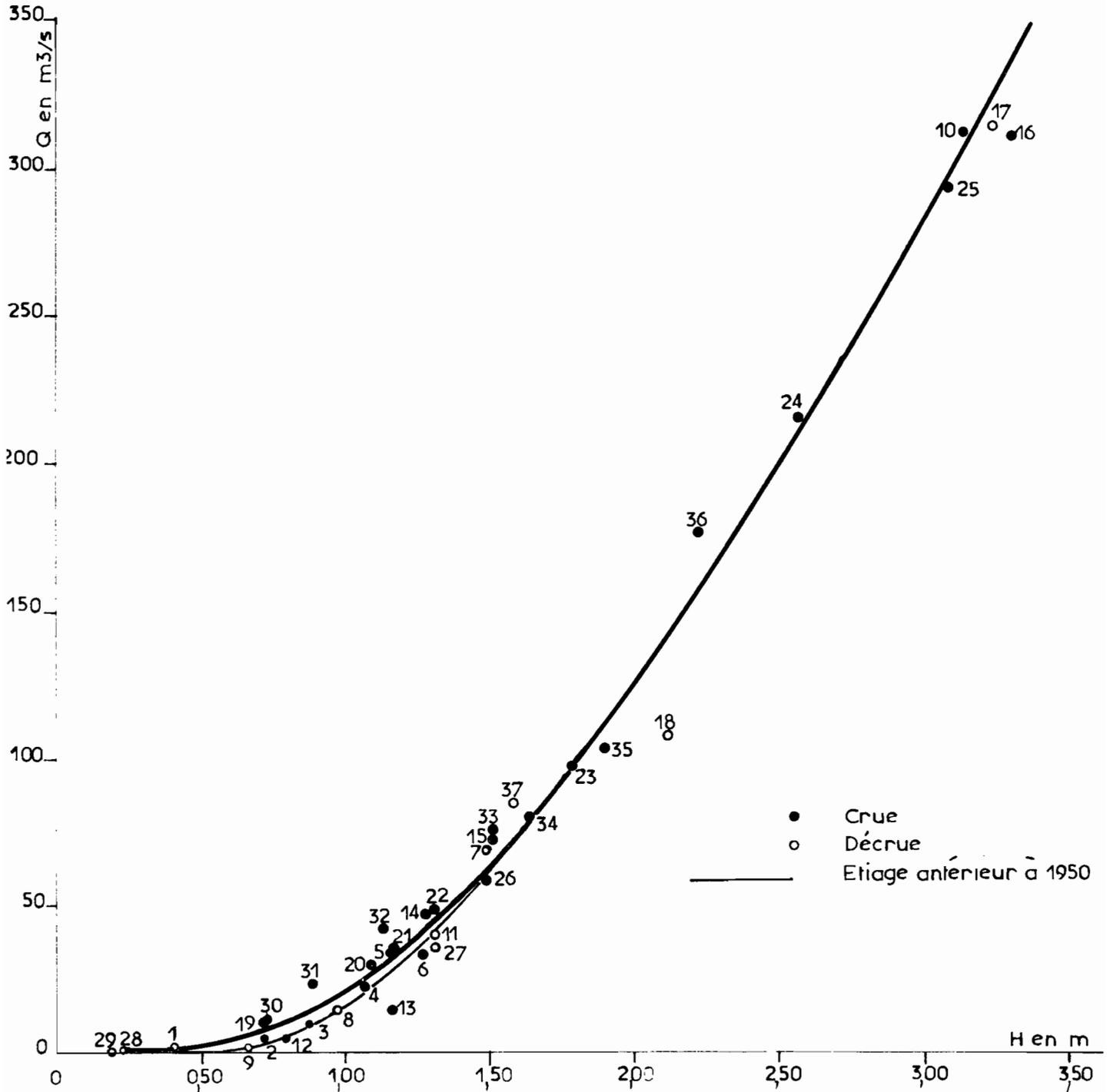
Le DIAKA à KARA

Courbe d'étalonnage

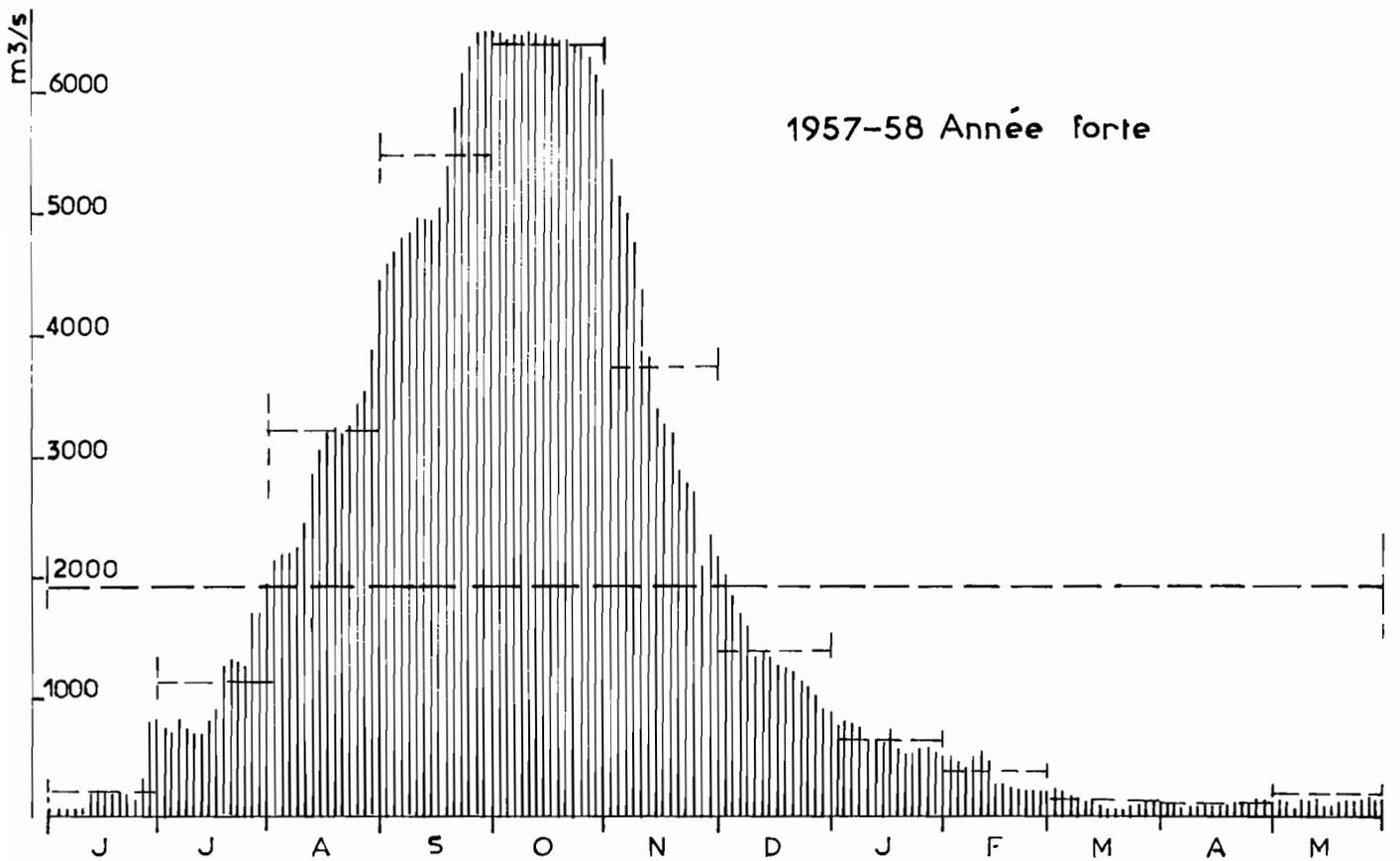
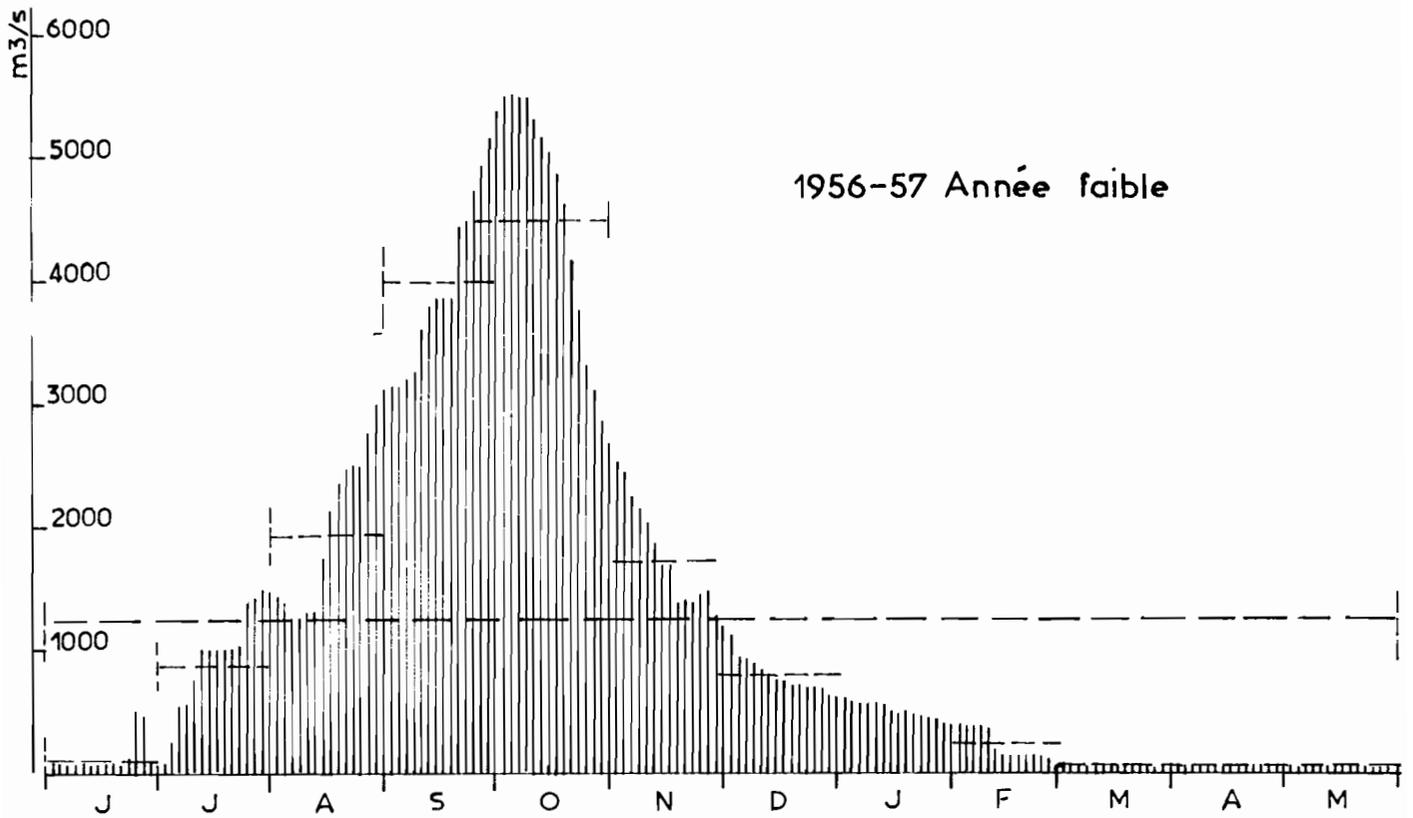


Le marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

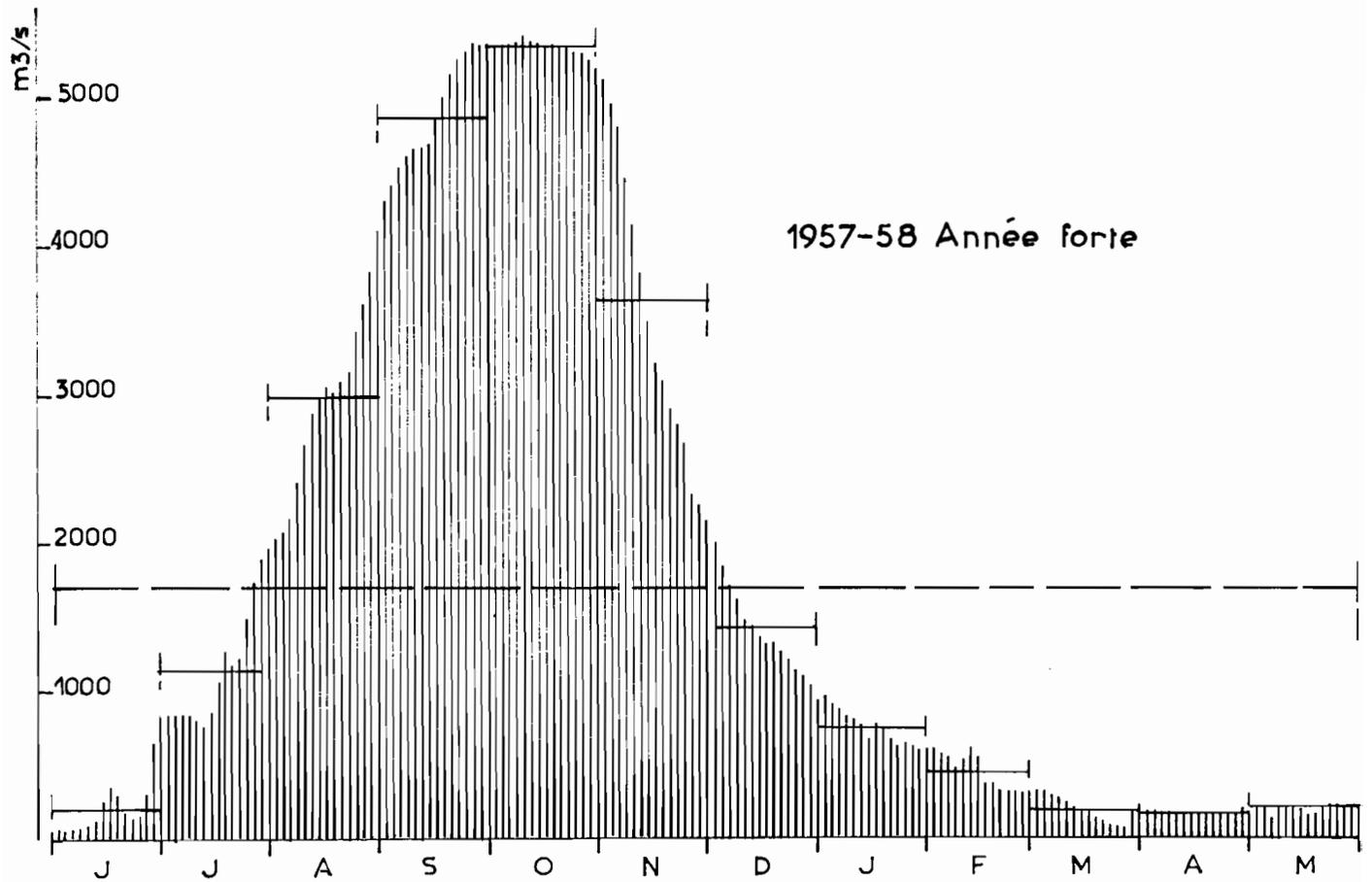
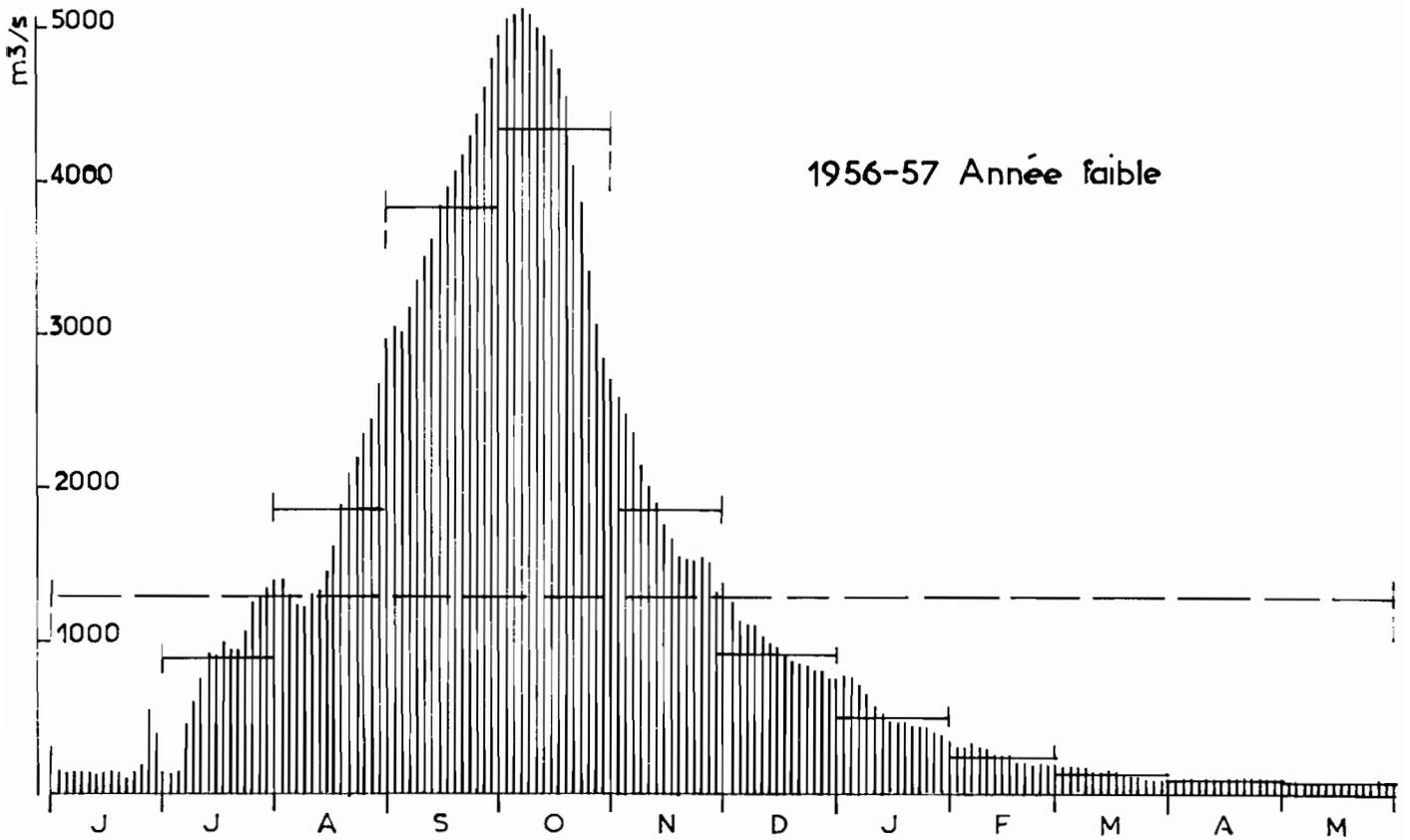
Courbe d'étalonnage



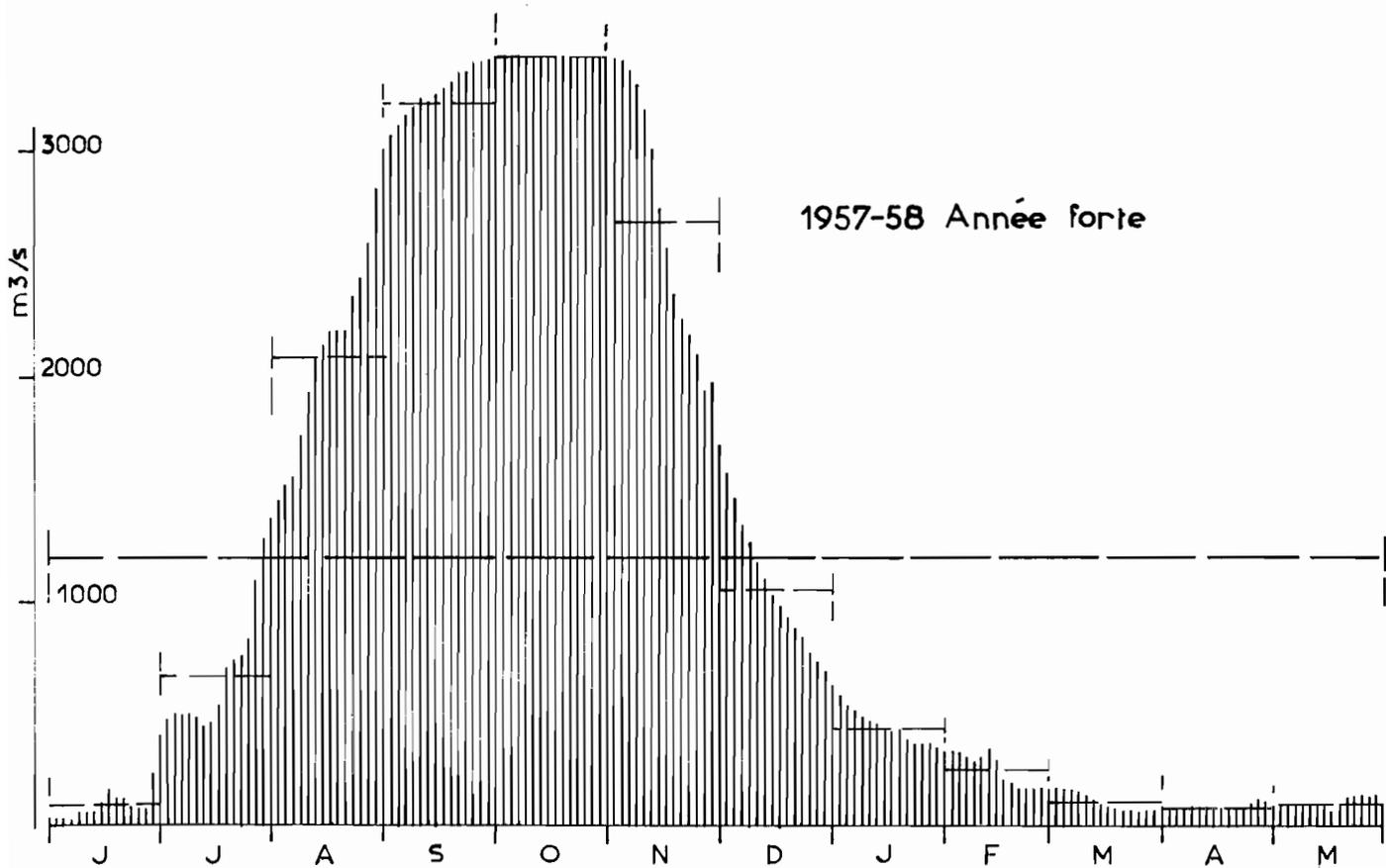
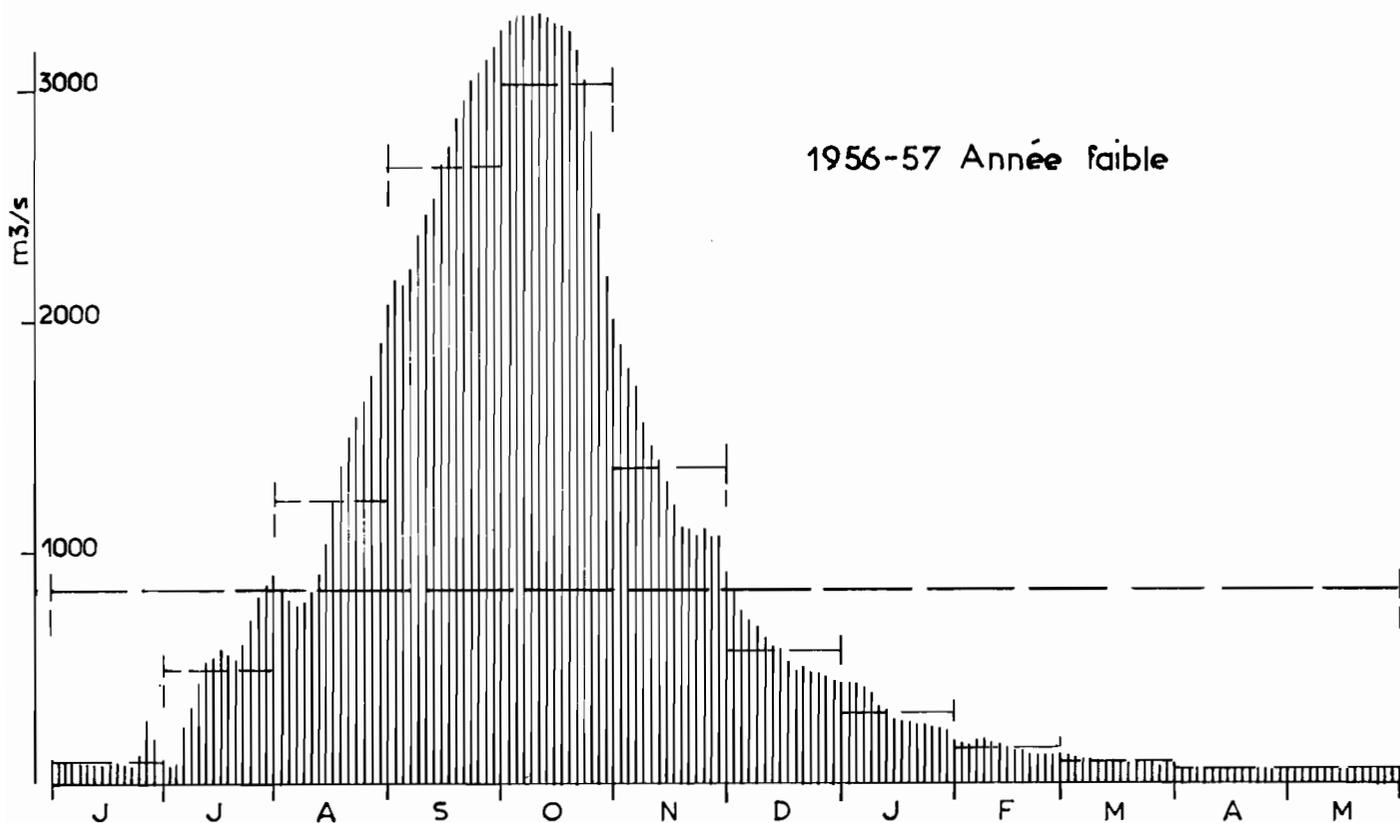
Le NIGER à KIRANGO



Le NIGER à KÉ-MACINA



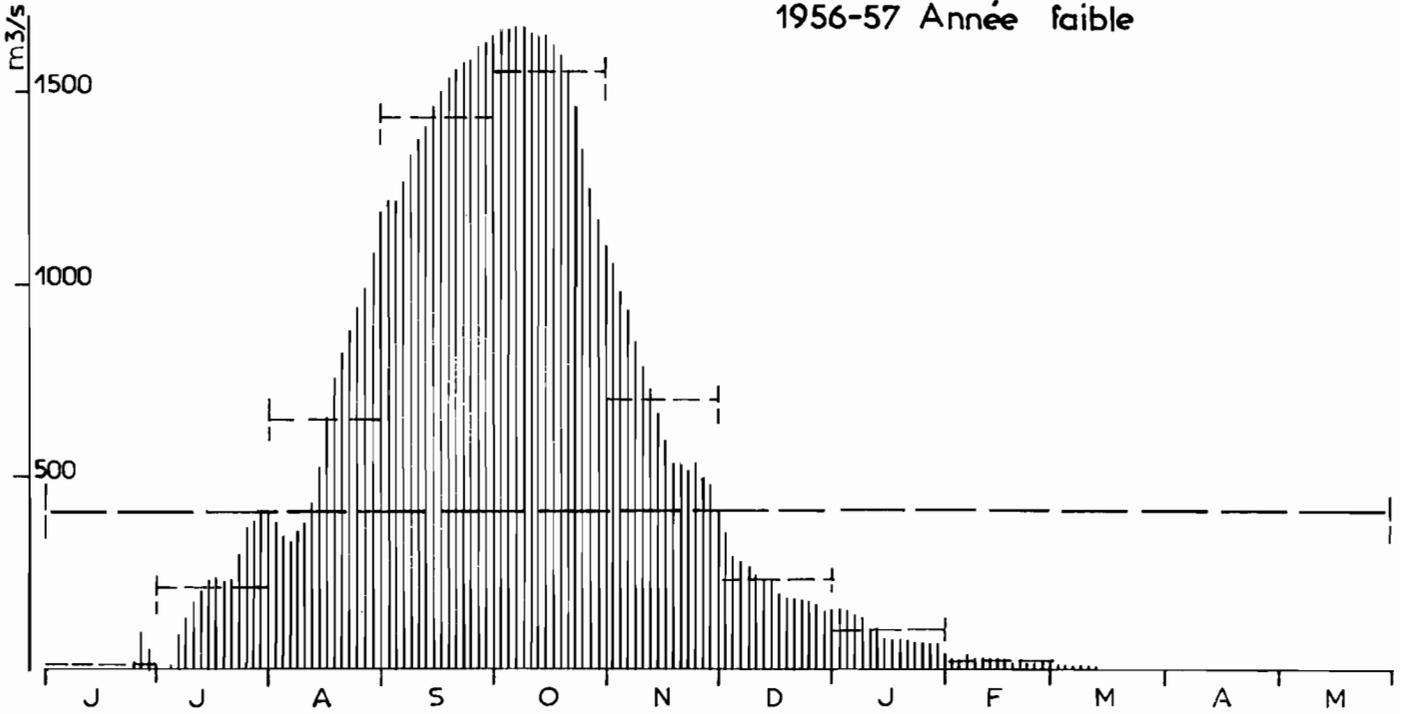
Le NIGER à TILEMBEYA



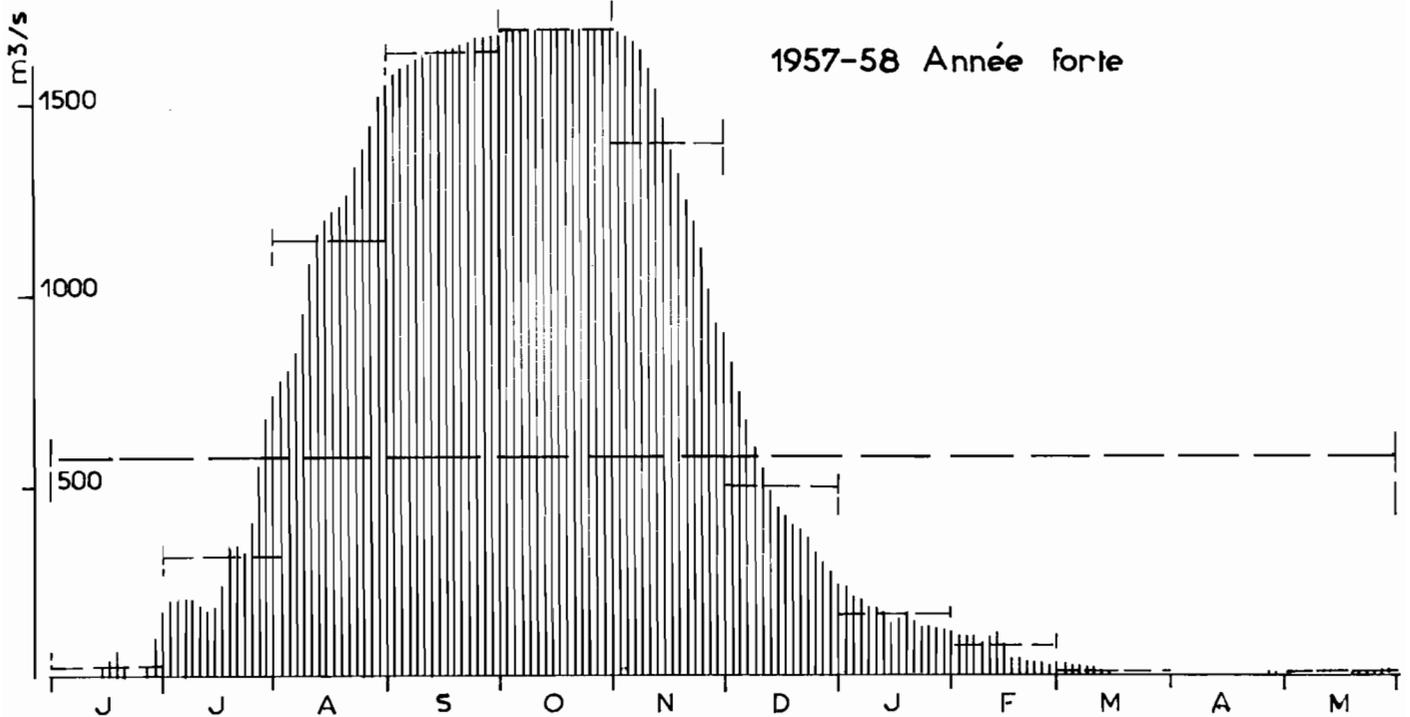
Gr.55

Le DIAKA à KARA

1956-57 Année faible

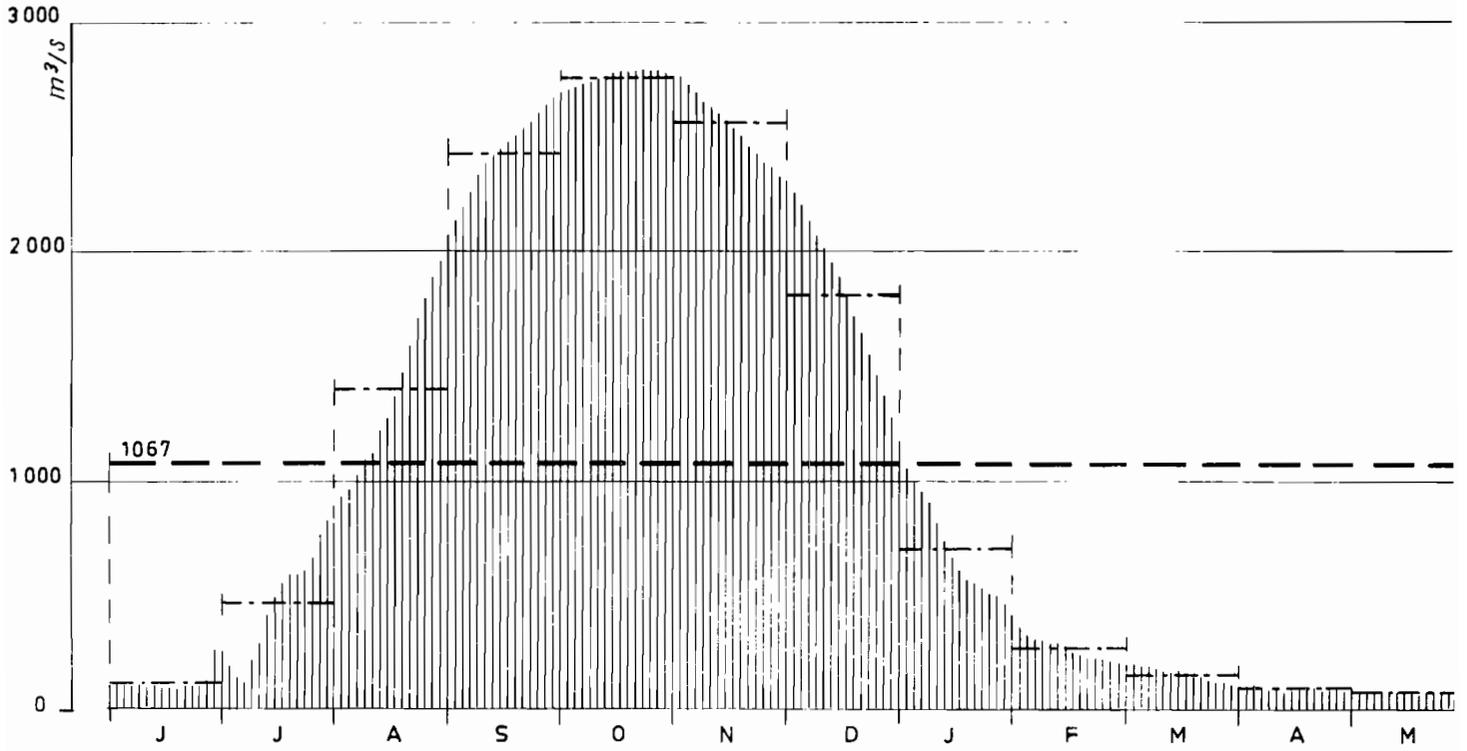


1957-58 Année forte

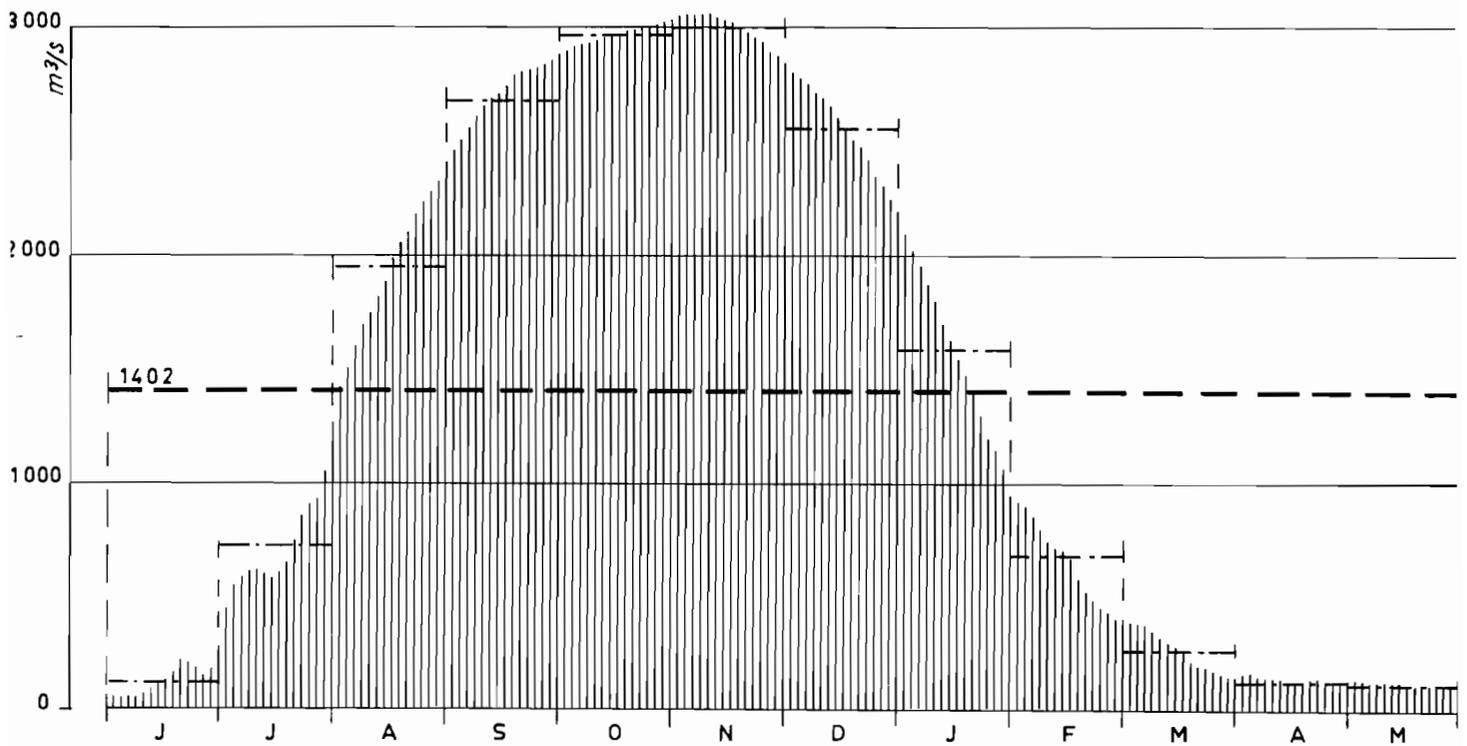


Le NIGER à MOPTI

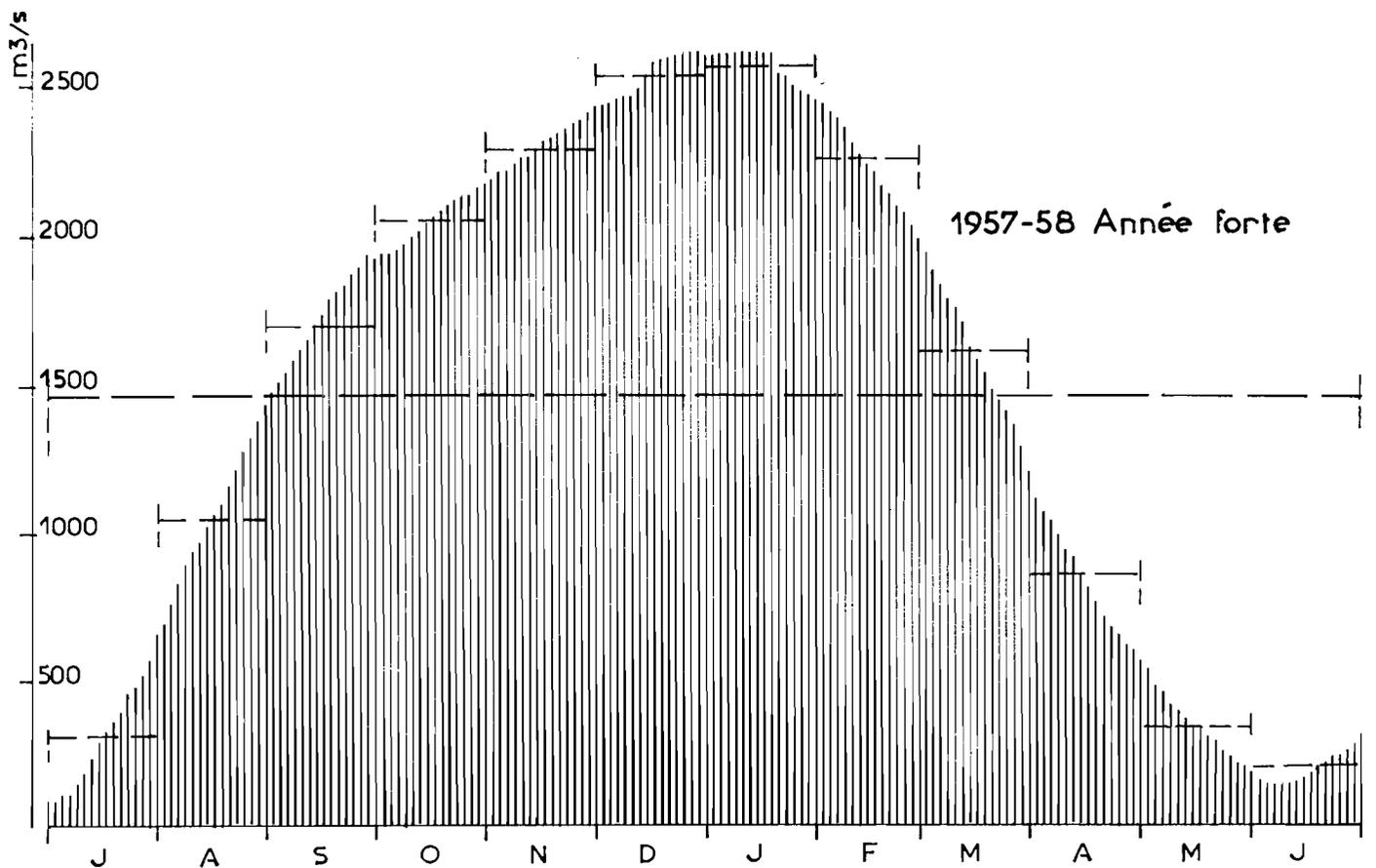
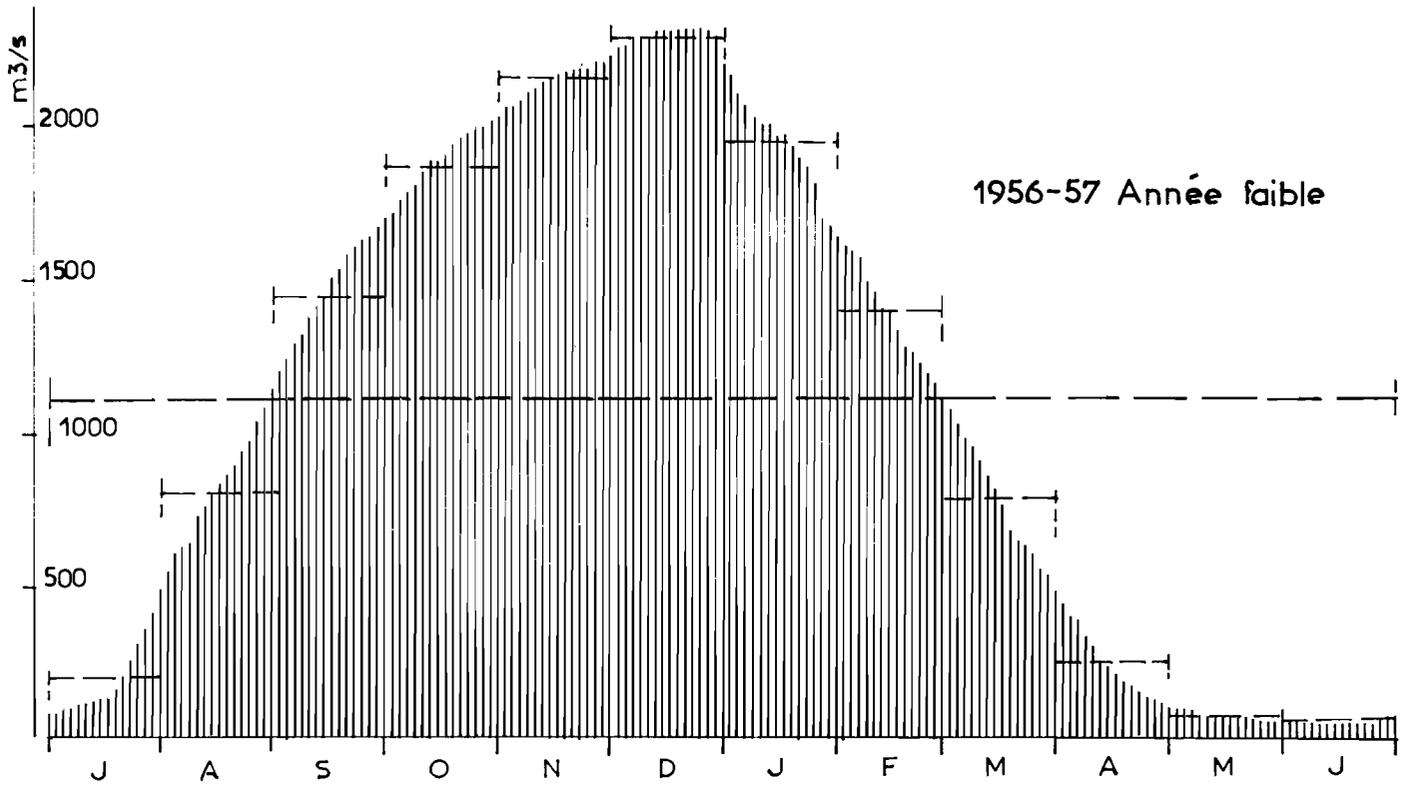
_ en 1956-57 _ année faible _



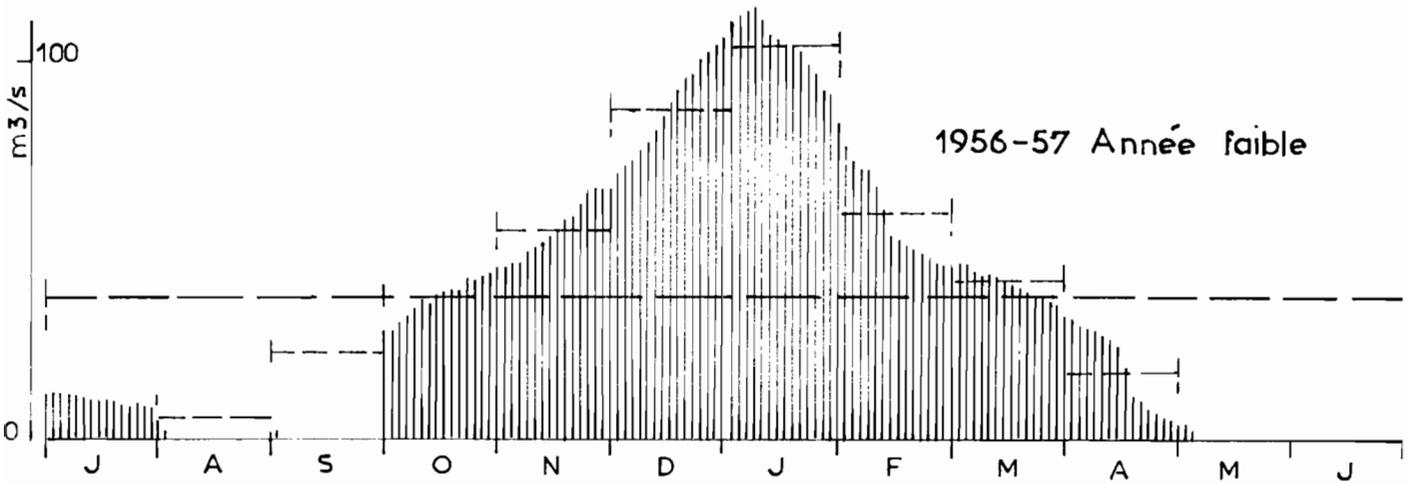
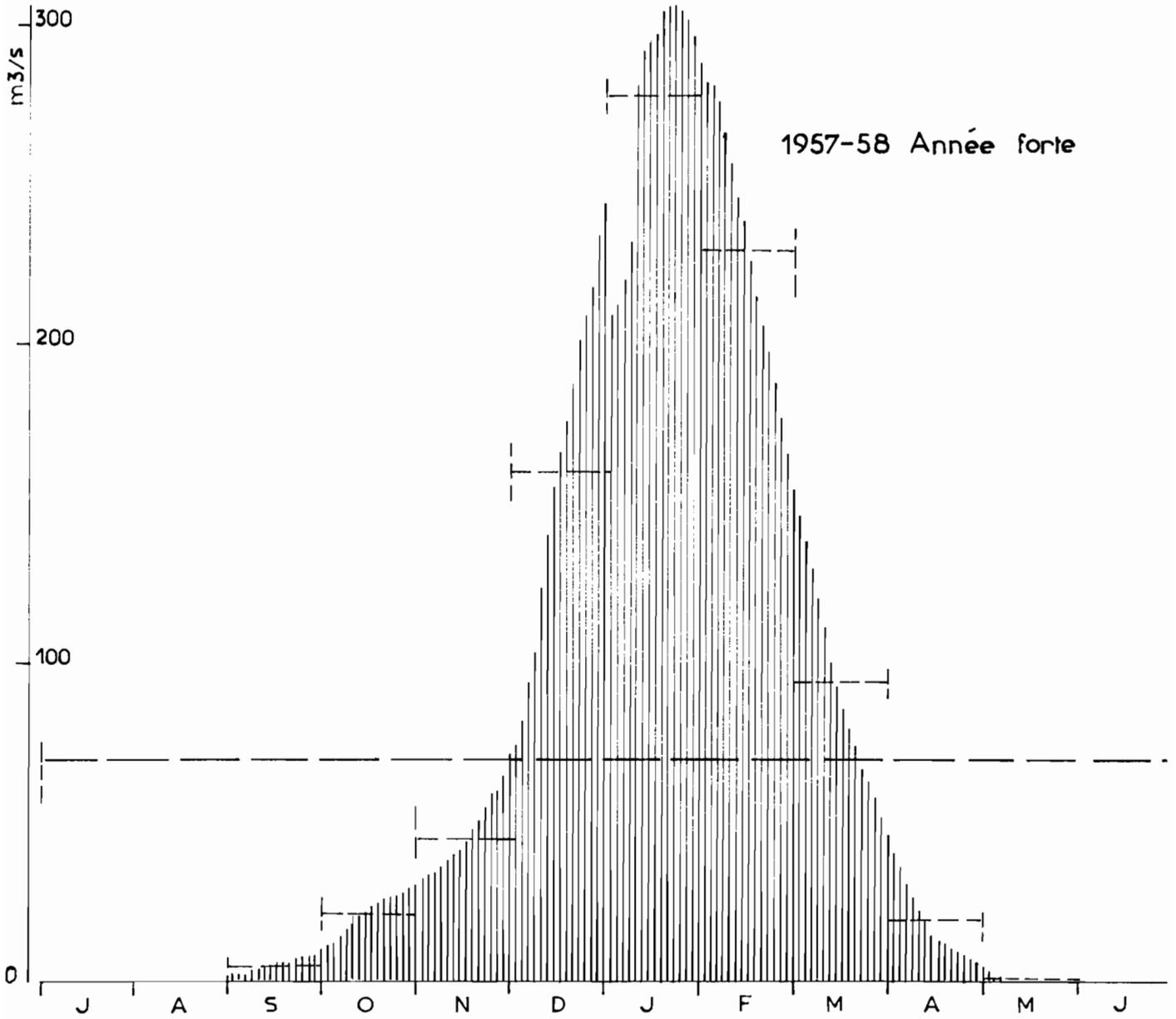
_ en 1957-58 _ année forte _



Le NIGER à DIRÉ



Le marigot de GOUNDAM à GOUNDAM



- d'autre part, du jeu complexe du remplissage et de la vidange des immenses plaines de débordement et des divers systèmes lacustres.

Le régime "tropical de transition" qui est celui du NIGER Supérieur à KOULIKORO et du BANI à DOUNA, subit une profonde transformation à la traversée de la Cuvette Lacustre. Un puissant effet d'amortissement estompe progressivement toutes les irrégularités de la crue annuelle, réduit considérablement son volume et "lamine" son hydrogramme en l'étalant sur une plus longue durée.

On se souvient qu'à KOULIKORO et DOUNA la crue annuelle s'étendait approximativement d'Août à Novembre et qu'elle culminait à la fin de Septembre ou au début d'Octobre avec un débit maximal respectivement voisin de 6 300 et 2 700 m³/s en année moyenne.

A MOPTI, au centre de la Cuvette, le maximum n'a lieu qu'en Octobre-Novembre et la crue dure jusqu'en Décembre-Janvier. A l'aval immédiat du confluent NIGER-BANI, le débit maximal atteint à peine 3 000 m³/s. Il est vrai que vers l'amont le marigot de DIAKA et divers autres prélèvent sur la rive gauche du NIGER des débits importants qu'ils restituent en partie au fleuve dans la région du Lac DEBO.

A DIRE, le laminage est encore beaucoup plus sensible : la crue s'étale de Septembre à Février ; le débit de pointe reste inférieur à 2 500 m³/s et ne se manifeste pas avant Décembre ou Janvier. Bien que le régime de DIRE ne puisse pas être tout à fait assimilé à celui de l'exutoire de la Cuvette Lacustre, puisque cette station est encore située en amont du système TELE-FAGUIBINE, on constate que le maximum de la crue y est déjà décalé d'environ trois mois par rapport à celui de KOULIKORO et de DOUNA. On mesure ainsi l'ampleur tout à fait exceptionnelle de l'amortissement hydraulique provoqué par la Cuvette Lacustre.

L'étude détaillée du régime hydrologique et de ses variations d'une station à l'autre fera l'objet des chapitres qui suivent et obéira à un plan différent de celui adopté pour le bassin supérieur, compte tenu des conditions hydrologiques très particulières de la Cuvette Lacustre.

C - LIGNES D'EAU DU FLEUVE -

Dans la Cuvette Lacustre, les pentes d'écoulement sont toujours faibles et ne dépassent pas quelques centimètres par kilomètres. Le profil en long du fleuve dépend plus des conditions hydrauliques d'écoulement que du relief général des régions traversées et se trouve ainsi lié assez étroitement aux variations saisonnières des débits. C'est pour marquer le caractère plus hydraulique que géographique du profil en long que nous avons préféré retenir l'expression "lignes d'eau" et que nous en avons abordé l'étude dans ce chapitre, puisqu'elle s'appuie essentiellement sur les relevés de hauteurs d'eau des stations hydrométriques.

On trouvera ci-après dans le tableau II les pentes moyennes relevées entre les principales stations au début de chaque mois de l'année 1955. On en a déduit le graphique 50 où sont figurées les lignes d'eau instantanées correspondant aux dates suivantes : 1er Avril, 1er Juin, 1er Août, 1er Octobre et 1er Décembre 1955.

D'une façon générale, si l'on fait abstraction de l'influence du barrage de SANSANDING, on peut dire que la pente décroît assez progressivement depuis KOULIKORO jusqu'à MOPTI. En aval de MOPTI elle tombe à une valeur insignifiante et ne recommence à croître légèrement qu'entre DIRE et TOSSAYE.

Les fortes variations relatives que subissent les pentes superficielles au cours d'un cycle hydrologique annuel sont très caractéristiques de la Cuvette Lacustre. Nous allons examiner mois par mois et bief par bief l'évolution des pentes en commençant par le bief KOULIKORO-TAMANI qui, bien que situé nettement en amont de la Cuvette Lavustre, permet d'avoir une vue plus complète des modifications de pente provoquées par le barrage de SANSANDING.

1°) Bief KOULIKORO-TAMANI :

La pente varie seulement entre 7,4 et 7,8 cm/km. Elle est maximale en Septembre-Octobre et minimale en Avril-Mai.

T A B L E A U II

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955

Date	<u>KOULIKORO</u>	Pente moyenne sur 102 km (en cm/km)	<u>TAMANI</u>	Pente moyenne sur 65 km (cm/km)	<u>SEGOU</u>	Pente moyenne sur 42 km (cm/km)	<u>KIRANGO</u> Amont
	(Zéro à 290,08) Cotes à l'échelle		(Zéro à 282,36) cotes échelle		(Zéro à 279,47) cotes échelle		(Zéro à 271,67) Cotes à l'échelle
1- 1	292,50	7,5	284,82	4,2	282,07	3	280,80
1- 2	291,84	7,5	284,20	3,6	281,92		
1- 3	291,34	7,4	283,75	2,9	281,87		
1- 4	291,26	7,5	283,62	2,8	281,82		
1- 5	290,83	7,4	283,25	2,3	281,77	2,4	280,77
1- 6	291,36	7,5	283,71	2,8	281,87		
1- 7	293,62	7,6	285,84	4,7	282,77		
1- 8	294,40	7,7	286,56	5,1	283,27	5,8	280,80
1- 9	296,14	7,7	288,26	5,6	284,62	7,5	281,47
1-10	297,12	7,8	289,16	5,8	285,37	7,3	282,32
1-11	295,12	7,6	287,36	5,5	283,82	7,1	280,90
1-12	293,34	7,6	285,51	4,7	282,42	3,9	280,80

Nota : - Les cotes sont arrondies à 5 cm près, de TAMANI à KIRANGO Amont.

- Les pentes naturelles sont modifiées 9 mois sur 12, entre TAMANI et KIRANGO Amont, par la fermeture plus ou moins complète du barrage de MARKALA.

T A B L E A U II (Suite)

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955

(Suite)

Date	<u>KIRANGO</u> Aval (Zéro à 274,99) Cotes à l'échelle	Pente moyenne sur 93 km (en cm/km)	<u>KE-MACINA</u> (Zéro à 268,80) Cotes à l'échelle	Pente moyenne sur 50 km (en cm/km)	<u>TILEMBEYA</u> (Zéro à 266,82) Cotes à l'échelle	Pente moyenne sur 110 km (cm/km)	<u>MOPTI</u> (Zéro à 260,61) Cotes à l'échelle
1- 1	277,55	6,26	271,73	4,70	269,38	2,26	266,89
1- 2	276,79	6,40	270,84	4,62	268,53	3,20	265,01
1- 3	276,21	6,42	270,24	4,48	268,00	3,85	263,77
1- 4	276,17	6,61	270,02	4,54	267,75	4,41	262,90
1- 5	275,89	6,58	269,77	4,42	267,56	4,75	262,35
1- 6	275,84	6,53	269,77	4,42	267,56	4,95	262,11
1- 7	278,05	6,70	271,82	5,58	269,08	5,04	263,55
1- 8	278,79	5,95	273,26	4,84	270,84	5,08	265,25
1- 9	280,87	5,99	275,30	5,54	272,58	5,26	266,79
1-10	281,91	6,58	275,79	6,08	272,75	4,76	267,51
1-11	280,37	5,84	274,94	4,88	272,50	4,20	267,89
1-12	278,29	6,14	272,58	4,42	270,37	2,52	267,60

T A B L E A U II (Suite)

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955

(Fin)

Date	<u>MOPTI</u> (Zéro à 260,61) Cotes échelle	Pente moyenne sur 319 km (en cm/km)	<u>DIRE</u> (Zéro à 256,84) Cotes échelle	Pente moyenne sur 390 km (cm/km)	<u>TOSSAYE</u> (Zéro à 250,25) environ
1- 1	266,89	1,20	262,95	2,08	254,87
1- 2	265,01	0,68	262,85	2,01	255,03
1- 3	263,77	0,42	262,42	1,93	254,89
1- 4	262,90	0,40	261,62	1,84	254,46
1- 5	262,35	0,66	260,24	1,73	253,47
1- 6	262,11	1,05	258,76	-	
1- 7	263,55	1,57	258,54	-	
1- 8	265,25	1,58	260,20	1,93	252,69
1- 9	266,79	1,72	261,30	1,98	253,59
1-10	267,51	1,73	262,00	2,04	254,04
1-11	267,89	1,71	262,44	2,06	254,38
1-12	267,60	1,51	262,78	2,09	254,62

2°) Bief TAMANI-KIRANGO :

La pente subit neuf mois sur douze l'influence de la fermeture plus ou moins complète des hausses du barrage de SANSANDING. Elle est comprise entre 2,3 et 5 cm/km. D'août à Novembre, la plupart des hausses sont abaissées et l'écoulement redevient naturel ; les pentes se groupent entre 5 et 6 cm/km jusqu'à SEGOU ; on retrouve entre SEGOU et l'écluse de TIO (KIRANGO Amont) des pentes de 7 et 7,5 cm/km comme en amont de TAMANI.

3°) Bief KIRANGO - KE-MACINA :

La variation relative de la pente reste encore très réduite (5,8 à 6,7 cm/km). La pente augmente de façon générale avec la crue, d'autant plus que le marnage des stations aval est plus faible que celui des stations amont. Mais les variations de pentes sont perturbées par les manoeuvres des vannes du barrage de SANSANDING notamment aux mois d'août et Septembre.

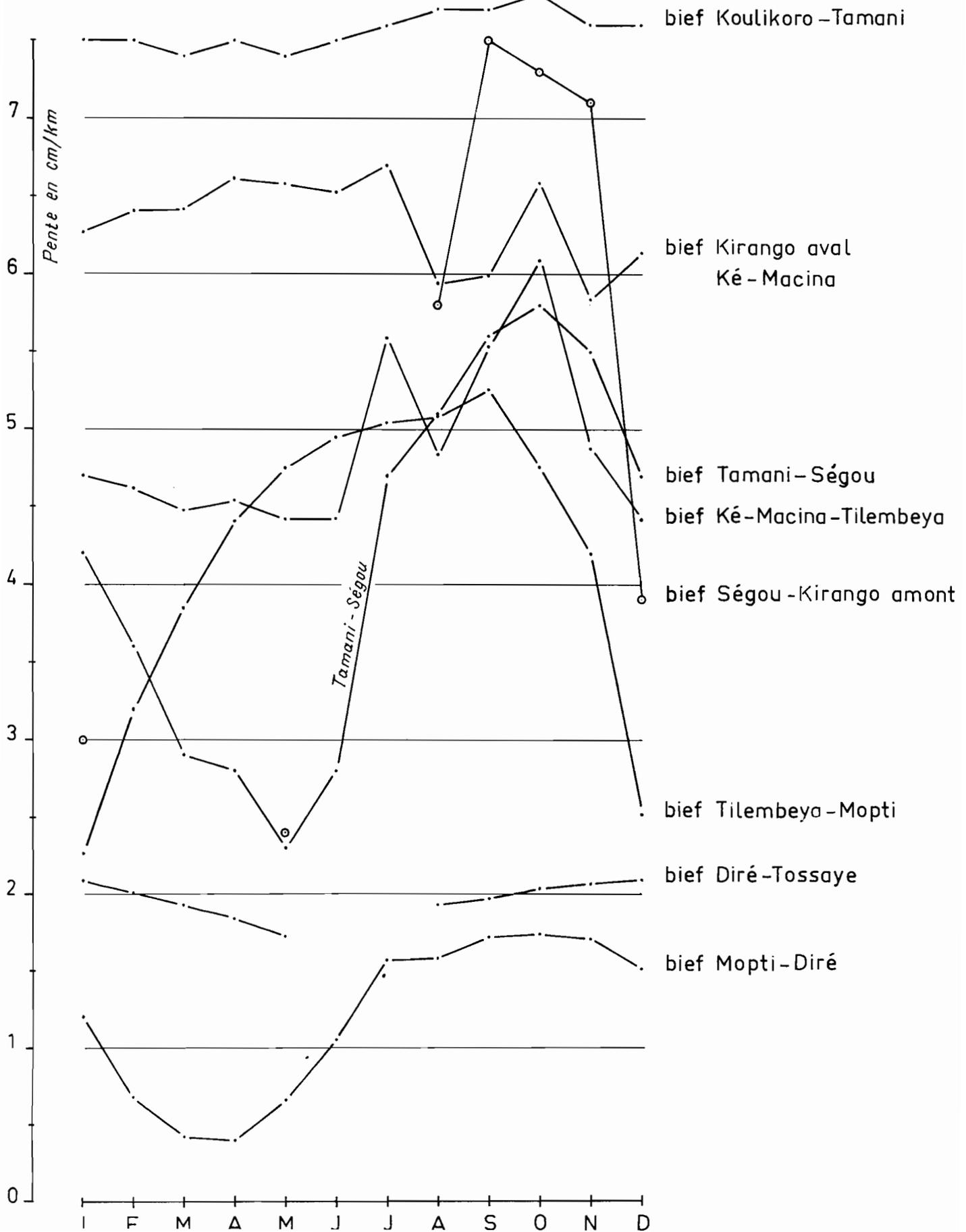
4°) Bief KE-MACINA - TILEMBEYA :

La pente diminue avec le débit et atteint sa valeur minimale vers l'étiage absolu (4,4 cm/km). Elle remonte ensuite brusquement à l'arrivée de la crue qui s'accompagne de lâchures assez soudaines du barrage de SANSANDING. En année très abondante, les hautes eaux plafonnent à un niveau sensiblement constant par suite de l'importance des débordements et des prélèvements du DIAKA. De ce fait, des pointes de crues secondaires qui sont sensibles à KE-MACINA, mais non à TILEMBEYA, entraînent des variations de pente momentanées. On voit ainsi la pente osciller entre 4,8 et 6,1 cm/km de Juillet à Novembre.

5°) Bief TILEMBEYA-MOPTI :

Dans ce bief, la pente commence à varier dans de grandes proportions. Elle est maximale un peu avant l'arrivée des plus hautes eaux (5,3 cm/km), puis commence à décroître lorsque le niveau des eaux plafonne à TILEMBEYA et que les plaines à l'aval de MOPTI commencent à se remplir avec l'arrivée de la crue du BANI.

Pentes superficielles instantanées du NIGER en 1955



La pente est minimale en Décembre-Janvier, lorsque le fleuve est déjà en basses eaux à TILIMBEYA, tandis qu'il est encore en pleine décrue à MOPTI. A partir de Février, l'écoulement de basses eaux s'étend peu à peu à l'aval de MOPTI et la pente recommence à croître rapidement.

6°) Bief MOPTI-DIRE :

La pente est toujours très faible puisqu'elle ne dépasse pas 1,75 cm/km, mais elle varie dans un rapport dépassant 1 à 4. Elle est relativement élevée de Juillet à Novembre, avec une valeur maximale lorsque les eaux sont à leur plus haut niveau à MOPTI. La pente décroît ensuite rapidement à mesure que la pointe de crue se propage vers l'aval. Elle atteint sa valeur minimale en Mars-Avril, lorsqu'à MOPTI le débit est tombé au voisinage de l'étiage, tandis que la vidange des plaines inondées et des systèmes lacustres est encore assez loin d'être achevée à DIRE. La pente remonte rapidement en Mai-Juin lorsque cette vidange tire à sa fin.

7°) Bief DIRE-TOSSAYE :

La pente moyenne de ce bief augmente légèrement par rapport à celle du bief précédent, mais elle reste de l'ordre de 2 cm/km. Sa caractéristique la plus frappante c'est sa relative régularité, puisque le rapport de ses valeurs extrêmes n'est plus que de 1,2. Comme dans le cours supérieur, la valeur maximale s'observe vers les plus hautes eaux et la valeur minimale vers l'étiage absolu.

Sur le graphique 50, on a également figuré les lignes d'eau du BANI inférieur, entre DOUNA et MOPTI. Les pentes de cet affluent sont plus faibles que celles du NIGER.

De DOUNA à SOFARA, la pente reste sensiblement égale à 2,5 cm/km en étiage et s'élève à 3 ou 4 cm/km en période de hautes eaux.

En aval de SOFARA, à l'approche du confluent, la pente diminue quelque peu. Elle est de 1,5 cm/km en étiage et de 2,5 à 3 cm/km en crue.

Notons enfin que dans le triangle TILEMBEYA - MOPTI - LENENY KEGNY, la valeur relative des pentes a une incidence importante sur les conditions d'écoulement dans la Mésopotamie NIGER-BANI.

C H A P I T R E VI

Le REGIME du NIGER à KIRANGO

=====

A - DEBITS MENSUELS

Le régime à KIRANGO diffère peu du régime du NIGER à KOULIKORO étudié dans la première partie. Deux facteurs interviennent cependant :

- 1°) Les apports et prélèvements du bassin intermédiaire, entre KOULIKORO et KIRANGO.
- 2°) Les perturbations causées, en saison sèche, par des prélèvements de l'Office du NIGER, pour des irrigations, ainsi que par les manoeuvres des hausses du barrage.

Par rapport à ceux de KOULIKORO, les débits mensuels de KIRANGO sont presque toujours déficitaires. Le déficit va croissant de Mai jusqu'en Septembre où il atteint près de 650 m³/s en moyenne (période 1950-1957) ; il s'atténue ensuite et reste très faible de Novembre à Février, puis réapparaît en Mars par suite des prélèvements de l'Office du NIGER. Il arrive cependant qu'en début de saison sèche, les débits de KIRANGO soient légèrement excédentaires (en moyenne de 55 m³/s en Décembre).

Pendant les mois pluvieux, c'est-à-dire de Juin à Septembre, les débits dérivés par le FALA de MOLODO sont de l'ordre d'une centaine de mètres cubes par seconde et dépassent les apports que l'on pourrait escompter du bassin intermédiaire entre KOULIKORO et KIRANGO.

De Février à Mai, les débits prélevés par l'Office du NIGER pour ses irrigations tendent à croître et semblent varier de 25 à 110 m³/s. En Juin, les débits naturels sont encore fortement altérés par le fonctionnement du barrage, et l'on observe soit des lâchures brusques soit, au contraire, un amortissement complet des premières petites crues venant de l'amont.

Si l'on se reporte maintenant à la période antérieure à la mise en service du barrage de MARKALA (1934), on constate que les débits mensuels de KIRANGO, de Juin à Septembre, étaient déjà inférieure à ceux de KOULIKORO et que l'écart était du même ordre de grandeur qu'actuellement. L'écart était également négatif pour les autres mois de l'année (sauf Novembre), mais il était un peu atténué en général, principalement pour les mois de Mars, Avril et Mai où les prélèvements de l'Office du NIGER sont les plus apparents.

Remarquons que la précision des courbes d'étalonnage ne permet pas d'analyser de façon très poussée les écarts de débit entre les deux stations.

B - MODULES et VOLUMES ANNUELS

D'après les données du tableau II - a) (cf. annexes), le module moyen de KIRANGO pour les deux périodes d'observations 1925-1940 et 1950-1958 ressort à 1 575 m³/s. Celui de KOULIKORO, pour les mêmes séries d'années, est de 1 805 m³/s. Ces valeurs paraissent trop fortes car il manque la décennie 1940-1950 qui a été nettement déficitaire.

Le module moyen de KOULIKORO entre 1907 et 1957 valant 1 545 m³/s, on pourrait admettre approximativement que le module de KIRANGO, pour la même période, varie dans le même rapport et vaut environ 1 345 m³/s. En fait, divers recoupements donnent à penser que le module de KIRANGO est voisin de 1 500 m³/s. (voir chapitre IX)

Les volumes moyens annuels correspondants sont respectivement de 48,5 et 42,5 milliards de m³. La valeur de KIRANGO accuse un déficit de 13 % par rapport à celle de KOULIKORO, ce qui appelle quelques éclaircissements.

Il existe une très bonne corrélation entre les volumes annuels écoulés à KOULIKORO et KIRANGO (voir graphique 59). On constate :

- 1°) que la corrélation est linéaire jusque vers 64 milliards de m³ à KOULIKORO, (un module de 2 015 m³/s, de fréquence sensiblement décennale). Au-delà de 64 milliards de m³, les volumes écoulés à KIRANGO croissent moins vite que ne le voudrait la corrélation linéaire.
- 2°) qu'il se produit dans le bief KOULIKORO-KIRANGO des pertes qui sont généralement de l'ordre de 4 à 5 milliards de m³ et augmentent avec l'abondance annuelle de KOULIKORO. En année exceptionnellement humide, elles peuvent approcher de 7 milliards de m³.
- 3°) que la corrélation n'a pas subi de modification notable depuis la mise en service du barrage de MARKALA. Il y a là une anomalie, car les prélèvements effectués par l'Office du NIGER pour ses irrigations et l'évaporation sur la retenue de MARKALA auraient dû augmenter les pertes du bief KOULIKORO-KIRANGO.

En fait, on peut évaluer comme suit les apports et les pertes de ce bief :

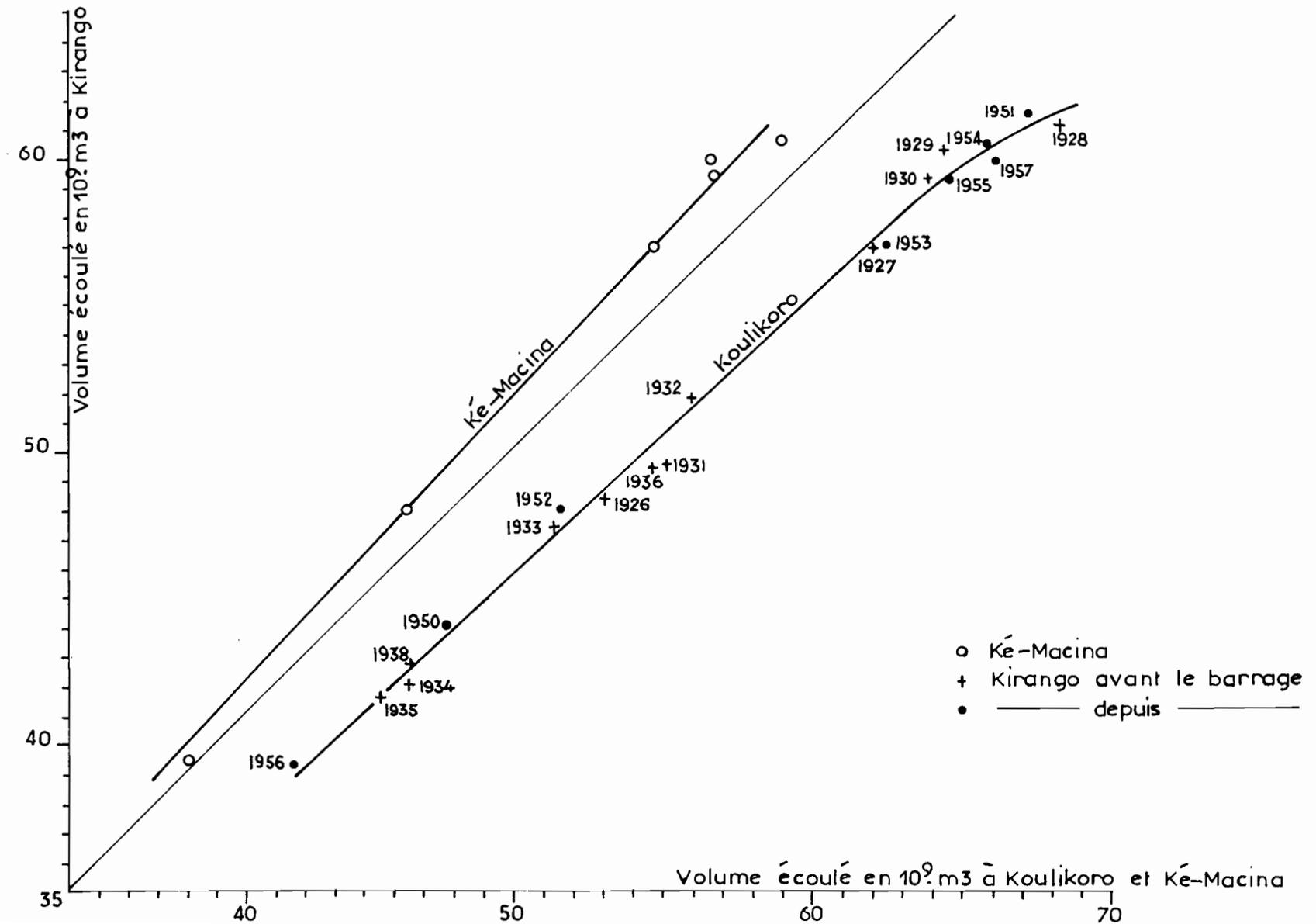
- Apports du bassin intermédiaire (17 000 km²) compris entre 0,5 et 1,5 milliard de m³ suivant la pluviométrie de l'année.

- Volumes d'eau soustraits par le FALA de MOLODO et autres débordements du fleuve, estimés à environ 200 millions de m³.

- Pertes par évaporation évaluées à 100 millions de m³ avant la création du barrage et à 400 millions ensuite.

- Prélèvements de l'Office du NIGER assez mal connus et en progression assez rapide entre 1948 et 1958 : de 800 millions de m³ à 2 milliards de m³ environ.

Correspondance des volumes écoulés entre KIRANGO, KOULIKORO et KÉ-MACINA



Au total, avant la mise en service du barrage, il devait y avoir un excédent des apports qui pouvait atteindre 1 milliard de m³. Depuis la création du barrage, le déficit ne doit guère excéder 1 à 2 milliards de m³.

On doit conclure :

- 1°) que les débits calculés pour la période 1950-58 à KIRANGO sont légèrement sous-estimés, puisqu'ils conduisent à un déficit trop fort d'environ 2 à 4 milliards de m³. Sur un volume annuel généralement compris entre 40 et 60 milliards de m³, l'imprécision est de l'ordre de 4 à 10 % ; on doit l'imputer surtout à l'étalonnage de KIRANGO, car celui de KOULIKORO a fait l'objet de nombreux recouplements et doit être précis à au moins 2 ou 3 % près.
- 2°) que les débits de KIRANGO calculés pour la période 1925-1940 sont également sous-estimés. Leur imprécision est même un peu plus grande, puisqu'ils devraient conduire à des volumes annuels légèrement supérieurs à ceux de KOULIKORO. Cette imprécision s'explique par le fait que le calage de l'échelle antérieure à 1940 n'est connu qu'à quelques centimètres près et qu'il est probable que la mise en exploitation du barrage a quelque peu modifié l'étalonnage de la station, notamment en basses eaux.

Compte tenu de ces imprécisions, il n'a pas été jugé utile de tenter une analyse statistique des modules de KIRANGO.

C - CRUES

Sur les 200 km qui séparent KOULIKORO de KIRANGO, les pointes de crues subissent un aplatissement notable. En plus de l'amortissement classique, l'onde de crue subit, en effet, les prélèvements du FALA de MOLODO qui se produisent surtout en Septembre-Octobre et ne sont guère compensés par les apports du bassin intermédiaire dont le ruissellement a plutôt lieu en Juillet et Août.

Entre KOULIKORO et KIRANGO, le décalage des pointes de crue varie entre 4 et 5 jours, ce qui correspond à une vitesse de propagation de 45 à 55 kilomètres par jour.

Le graphique n° 60 montre que les débits maximaux de KIRANGO et de KOULIKORO sont en étroite corrélation. Cette corrélation est linéaire tant que les débits de crue à KOULIKORO n'excèdent pas 6 500 m³/s ; l'écêtement de la pointe à KIRANGO est alors d'environ 550 m³/s. Au-delà de 6 500 m³/s, l'amortissement prend de l'ampleur, car la crue de KIRANGO ne semble guère pouvoir dépasser 7 500 m³/s quand le débit à KOULIKORO devient supérieur à 9 000 m³/s.

Les points relatifs aux crues antérieures de 1940 et postérieures à 1950 se situent sur la même courbe, ce qui est normal puisqu'en crue toutes les hausses du barrage sont abaissées et que l'écoulement est pratiquement inchangé par la présence du barrage. Ce fait confirme, en outre, la validité de la méthode adoptée pour traduire les relevés anciens.

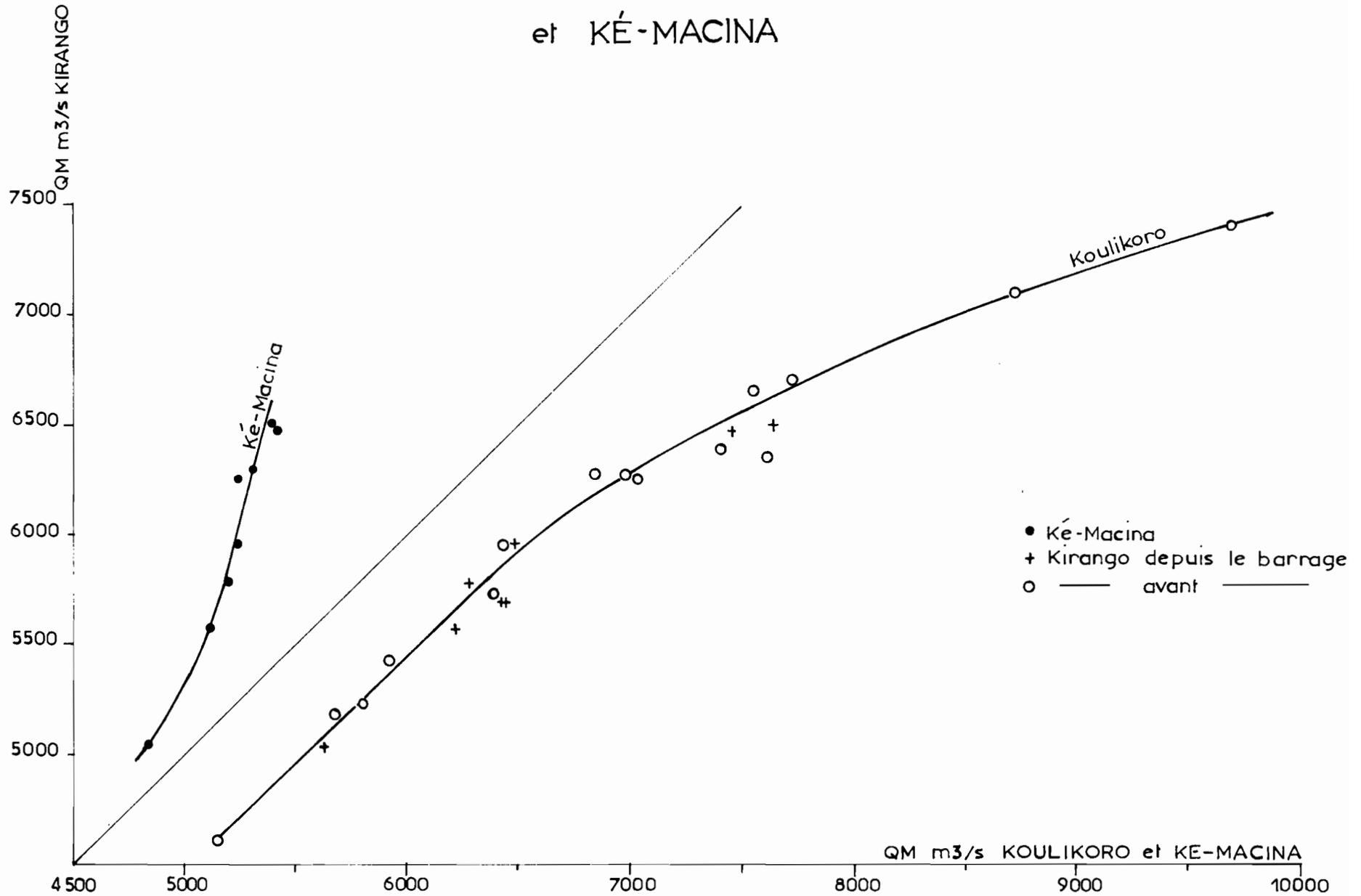
La courbe de corrélation du graphique 60 permet de déterminer approximativement les débits de crue de fréquence rare de KIRANGO à partir de ceux de KOULIKORO :

- crue médiane : 5 800 m³/s
- crue décennale : 6 800 m³/s
- crue centenaire : 7 400 m³/s

Nous ne pousserons pas plus avant l'étude du régime de KIRANGO. En particulier, nous n'examinerons pas en détail les débits d'étiage car ils ne sont pas connus avec une précision suffisante.

Gr-60

Correspondance entre les débits maximaux de crue à KIRANGO, KOULIKORO et KÉ-MACINA



C H A P I T R E VII

Le régime à KE-MACINA

=====

A - GENERALITES

KE-MACINA est la première station de la Cuvette Lacustre proprement dite. Depuis KIRANGO, le fleuve ne reçoit pratiquement plus aucun apport par ruissellement ; il s'élargit considérablement en même temps qu'apparaissent des bras latéraux et de grandes plaines d'inondation.

La station est d'installation assez récente et son étalonnage encore incomplet. On peut cependant esquisser déjà son régime hydrologique qui, par rapport à celui de KIRANGO, présente quelques traits essentiels :

- Atténuation des débits de hautes eaux à cause de l'importance des débordements.
- Renforcement des débits de basses eaux par suite de restitutions non négligeables des plaines d'inondation.
- Diminution du volume annuel d'écoulement, surtout marquée lorsque l'année est abondante.
- Réduction sensible de l'écart entre les hauteurs maximales de crue observées chaque année, à cause de l'écrêtement dû aux débordements.

B - DEBITS MENSUELS

Entre les débits mensuels de KIRANGO et de KE-MACINA, il existe une bonne corrélation qui est toutefois légèrement différente pour la montée et pour la baisse des eaux (voir graphique 61).

De Juillet à Novembre, les débits de KIRANGO sont supérieurs à ceux de KE-MACINA, l'excédent étant presque toujours maximal en Septembre avec une valeur de l'ordre de 500 m³/s.

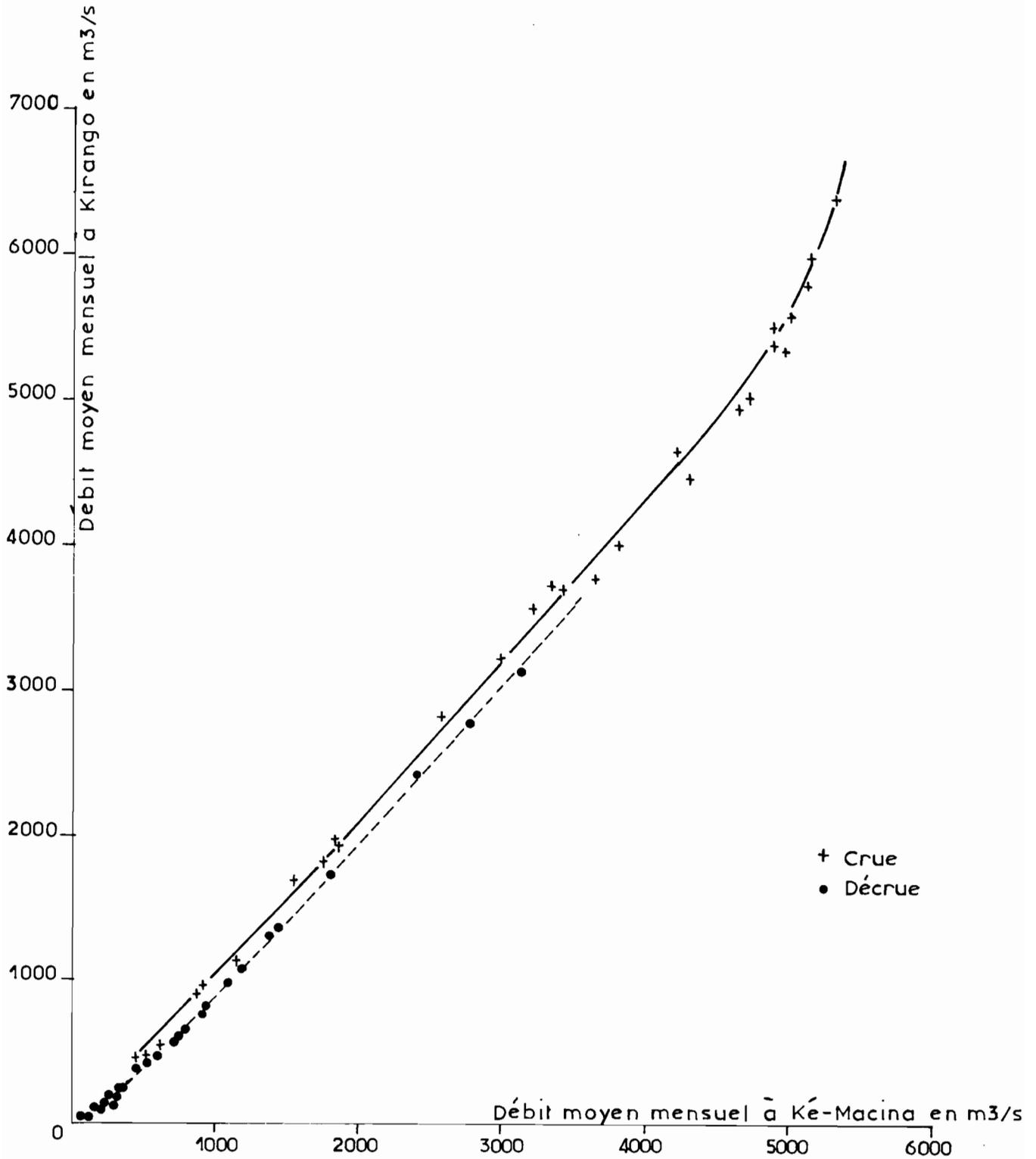
De Décembre à Juin, au contraire, les débits de KE-MACINA sont un peu plus élevés que ceux de KIRANGO. C'est généralement en Janvier que l'écart est le plus fort et voisin de 100 m³/s.

On observe parfois des anomalies comme en Janvier et Février 1957, mois pendant lesquels les débits de KE-MACINA ont été déficitaires par rapport à ceux de KIRANGO. La crue de 1956 ayant été d'amplitude modérée et de courte durée, il est probable que le remplissage des plaines d'inondation a été insuffisant pour restituer des débits appréciables à la fin de la décrue.

C - MODULES et VOLUMES ANNUELS

Le tableau III - a) (cf. annexes) conduit à un module moyen de 1 650 m³/s pour la période 1952-1957. Comme il s'agit d'une période nettement excédentaire, cette valeur demande à être corrigée ; si l'on tient compte des relevés de KOULIKORO entre 1907 et 1957, on obtient un module voisin de 1 350 m³/s, qui est certainement surestimé par rapport à celui trouvé à KIRANGO. En fait, les modules moyens des deux stations sont connus avec une précision médiocre et doivent être assez voisins de 1 500 m³/s d'après les recoupements que l'on trouvera au chapitre IX.

Correspondance entre les débits moyens mensuels
à KIRANGO et KÉ-MACINA



Si l'on compare les volumes écoulés annuellement pendant la période commune d'observation, on remarque que les pertes dans le bief de 100 km qui sépare KIRANGO de KE-MACINA, sont en moyenne voisines de deux milliards de m³, valeur qui paraît sous-estimée compte tenu de l'importance des débordements en rive droite. (Les débordements sont, par contre, nuls sur la rive gauche qui est endiguée).

D - CRUES

Les relevés de crue que nous possédons correspondent à des années d'abondance supérieure à la normale. L'effet d'écrêtement dû aux débordements est de ce fait bien sensible : les hauteurs maximales de crues sont toutes voisines de 7 m et oscillent seulement entre 6,88 m et 7,03 m. Les débits correspondants sont de l'ordre de 5 300 m³/s.

L'amplitude des crues observées à KE-MACINA (par rapport à la cote d'étiage) est inférieure à celle des crues de KOULIKORO, mais ce fait ne se vérifierait plus en année de faible abondance, malgré l'atténuation des débits de crue de l'amont vers l'aval.

C H A P I T R E V I I I

Le REGIME à TILEMBEYA

=====

A - GENERALITES

La station de TILEMBEYA est particulièrement importante non seulement parce que son étalonnage est satisfaisant et que ses relevés limnimétriques sont pour la plupart de bonne qualité, mais aussi parce qu'elle montre une évolution nette du régime du fleuve. Cette évolution, déjà amorcée à KE-MACINA, peut dans ses grandes lignes être esquissée comme suit :

- Ecrêtement des crues sous l'effet des déversements latéraux dont l'importance croît très rapidement avec le niveau des eaux.

- Réduction marquée du volume d'écoulement annuel, en grande partie à cause de l'effluent DIAKA qui prélève environ un tiers des apports du fleuve.

B - DEBITS MENSUELS

Les débits mensuels de TILEMBEYA sont toujours inférieurs à ceux de KE-MACINA, même en période d'étiage (sauf rares exceptions, dues probablement à des imprécisions des relevés). Par contre, ils sont généralement supérieurs à ceux de KIRANGO en Mars, Avril et Mai, à cause de la restitution déjà signalée des plaines d'inondation.

Avril et Mai sont les mois les plus faibles avec une moyenne voisine de 90 m³/s. Octobre est, au contraire, le mois le plus abondant avec un débit de l'ordre de 3 000 m³/s en moyenne.

L'hydrogramme annuel présente une montée rapide de Juillet à Septembre et une décrue à peu près symétrique à partir de la fin Octobre ou du début de Novembre.

De Novembre à Mars, la décrue suit approximativement une loi exponentielle de la forme :

$$Q = Q_0 \cdot e^{-0,025t}$$

dont le coefficient $\alpha = 0,025$ est du même ordre que ceux des stations du NIGER supérieur.

Les données du tableau IV - a) (annexes) ont permis de déterminer les débits moyens mensuels correspondant à diverses fréquences de dépassement. Ils ont été représentés sur le graphique n° 62. Précisons que les fréquences indiquées n'ont de signification que pour chaque mois considéré isolément. Une série de douze débits mensuels, dont les probabilités individuelles seraient toutes de 20 % par exemple, aurait une probabilité globale très inférieure à cette valeur.

C - MODULES

Pour les années 1922 à 1929 et 1940 à 1957 une corrélation assez satisfaisante a pu être établie entre les modules de TILÉMBEYA (M_T) et ceux de KOULIKORO (M_K), comme le montre le graphique n° 63. Pour les modules de KOULIKORO inférieurs à 2 000 m³/s, cette corrélation peut être considérée comme linéaire et se mettre sous la forme :

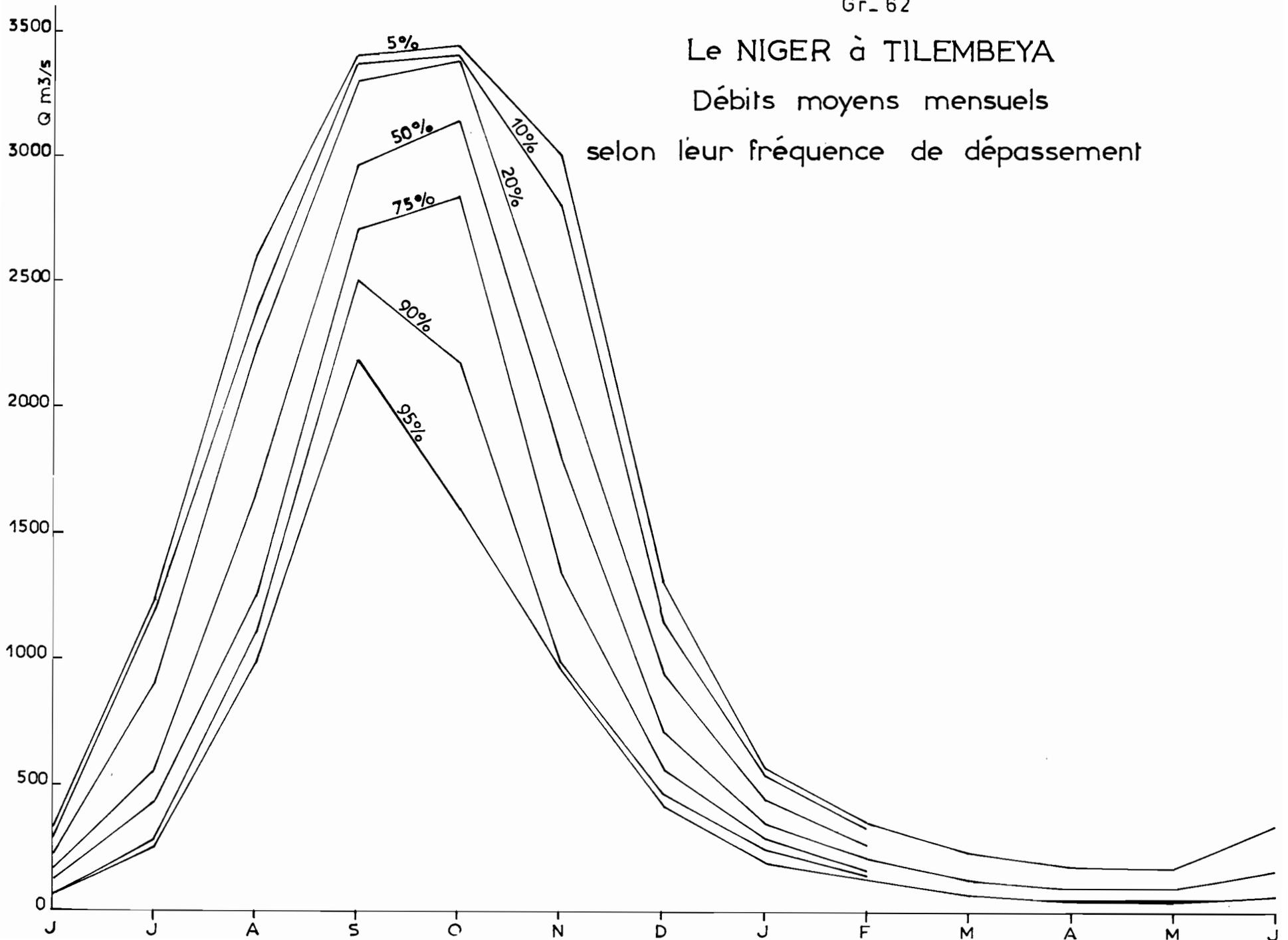
$$M_T = 0,56 M_K + 115$$

Gr. 62

Le NIGER à TILEMBEYA

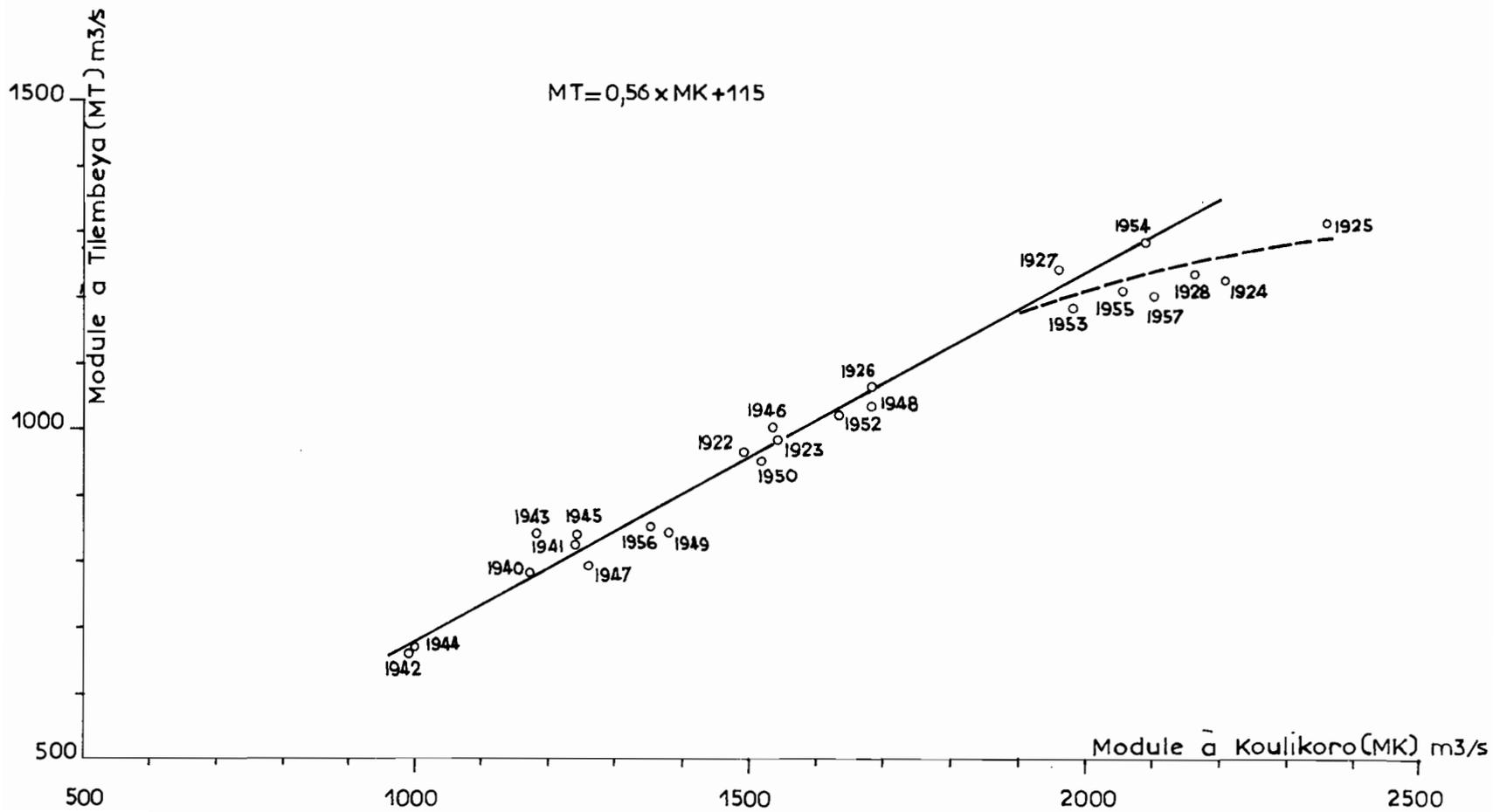
Débits moyens mensuels

selon leur fréquence de dépassement



Gr.63

Corrélation entre les modules de TILÉMBAYA et KOULIKORO



Au-delà de 2 000 m³/s à KOULIKORO, la courbe tend à s'infléchir par suite de l'écrêtement des hautes eaux de TILEMBEYA qui est particulièrement accentué en année abondante. Il est vraisemblable que lorsque les modules de KOULIKORO dépassent 2 300 m³/s, ceux de TILEMBEYA tendent vers une asymptote voisine de 1 300 m³/s ou 1 400 m³/s.

La corrélation entre les modules de KOULIKORO et de TILEMBEYA a permis de combler les lacunes de la série des modules de cette dernière station, avec une précision de l'ordre de 5 %. (Voir tableau IV a' en annexe). On a ainsi obtenu un échantillon de 41 modules s'étendant sans discontinuité de Juin 1922 à Mai 1963.

On en a ensuite étudié la répartition statistique dont le tableau III ci-après et le graphique n° 64 condensent les résultats.

On se souvient que les lames d'eau annuelles ou, ce qui revient au même, les modules de KOULIKORO suivent une loi normale de GAUSS (cf. 1ère partie - Chapitre IV). Il est logique que les modules de TILEMBEYA obéissent également à une loi de GAUSS, tant que la corrélation entre les modules des deux stations est linéaire. Le graphique n° 64, dont l'échelle des fréquences est gaussique, montre, en effet, que les points représentatifs des modules se placent convenablement au voisinage d'une droite, tout au moins pour les valeurs inférieures à 1 100 m³/s. Au-delà de 1 100 m³/s, la courbe s'infléchit par suite de l'écrêtement déjà signalé des très hautes eaux qui tend à réduire fortement les modules de fréquence rare.

En définitive, on pourra retenir les valeurs approximatives suivantes :

- Module médian	:	1 000 m ³ /s
- Module décennal sec	:	750 m ³ /s
- Module décennal humide	:	1 250 m ³ /s

TABLEAU III

Le Niger à TILMBEYA

Etude statistique des modules (1922-1963)

Classement		Fréquence de dépassement	Module
n	n'	F	m3/s
41	1	0,976	669
40	2	0,951	669
39	3	0,930	782
38	4	0,905	791
37	5	0,880	820
36	6	0,857	829
35	7	0,834	835
34	8	0,810	835
33	9	0,785	846
32	10	0,761	848
31	11	0,738	850
30	12	0,714	880
29	13	0,690	925
28	14	0,666	940
27	15	0,643	940
26	16	0,619	957
25	17	0,595	964
24	18	0,571	975
23	19	0,548	982
22	20	0,525	985
21	21	0,500	1005
20	22	0,475	1023
19	23	0,452	1030
18	24	0,429	1033
17	25	0,405	1060
16	26	0,381	1068
15	27	0,357	1090
14	28	0,333	1090
13	29	0,310	1110
12	30	0,286	1180
11	31	0,262	1195
10	32	0,238	1200
9	33	0,214	1211
8	34	0,190	1220

TABLEAU III (suite)Le Niger à TILEMBEYAEtude statistique des modules (1922-1963)

Classement		Fréquence de dépassement	Module
n	n'	F	m ³ /s
7	35	0,167	1227
6	36	0,143	1230
5	37	0,119	1233
4	38	0,095	1240
3	39	0,071	1241
2	40	0,047	1285
1	41	0,024	1314

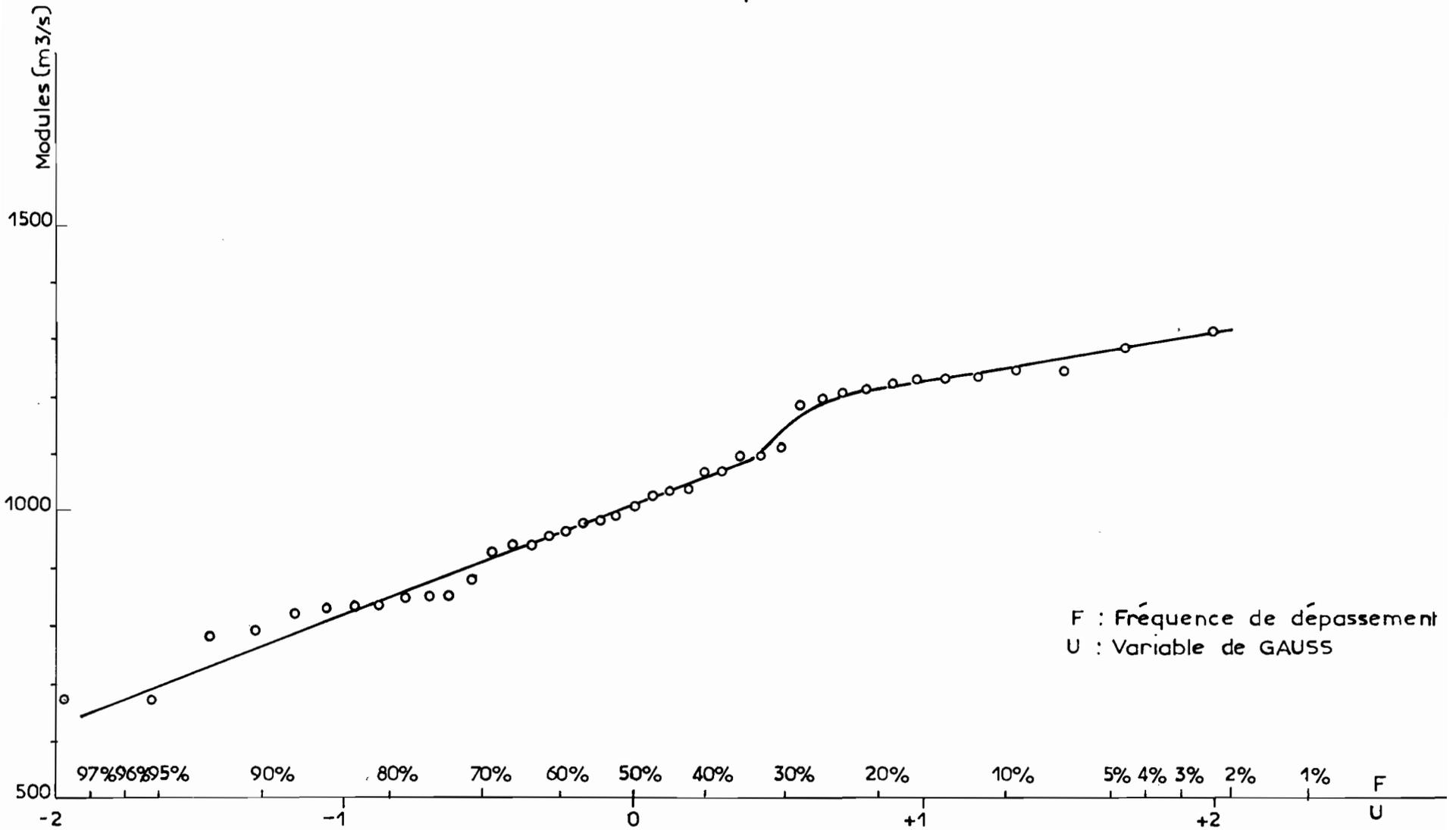
$$F = \frac{n}{N+1}$$

$$N = 41$$

Gr. 64

Le NIGER à TILEMBEYA

Distribution statistique des modules



On en déduit immédiatement le coefficient d'irrégularité interannuelle, rapport des modules décennaux humide et sec : 1,66. Ce coefficient est inférieur à celui de KOULIKORO (1,89) par suite évidemment de l'auto-régularisation du régime due aux débordements.

On doit noter que l'étude des modules de KOULIKORO avait porté sur la période 1907-1957, tandis que celle de TILEMBEYA a été effectuée sur la période 1922-1963. Cette série de 41 ans a été choisie parce que pour les deux autres stations principales de la Cuvette Lacustre, MOPTI et DIRE, il n'était pas possible d'adopter une période plus longue.

Pour cette période de 41 ans, le module médian de KOULIKORO est de 1 600 m³/s, au lieu de 1 545 m³/s entre 1907 et 1957 (écart de 3,5 %). Inversement, si grâce à la corrélation indiquée plus haut on calcule le module médian de TILEMBEYA sur les 51 années comprises entre 1907 et 1957, on trouve une valeur de 970 m³/s au lieu de 1 000 m³/s (écart de 3 %).

On devra bien garder présent à l'esprit ces écarts systématiques si l'on veut comparer les données du NIGER Supérieur avec celles de la Cuvette Lacustre.

D - VOLUMES ANNUELS

D'après l'étude statistique des modules entre 1922 et 1963, on peut calculer immédiatement les volumes annuels :

- en année médiane : 31,5 x 10⁹ m³
- en année décennale sèche : 23,7 x 10⁹ m³
- en année décennale humide : 39,5 x 10⁹ m³

En partant de la relation établie précédemment entre les modules de KOULIKORO et de TILEMBEYA, il est facile de déterminer une relation équivalente entre les volumes annuels exprimés en milliards de m³ :

$$V_T = 0,56.V_K + 3,6$$

Bien entendu, elle n'est pas applicable en année très abondante, c'est-à-dire lorsque le volume écoulé à KOULIKORO excède 63 milliards de m³.

Entre les volumes écoulés à KE-MACINA (V_{KM}) et TILEMBEYA (V_T), il semble exister une correspondance linéaire, tout au moins d'après les six années dont nous possédons les relevés à KE-MACINA. Elle peut se mettre sous la forme :

$$V_T = 0,64 V_{KM} + 2,2$$

La quasi-totalité des pertes entre les deux stations, soit près du tiers du volume écoulé à KE-MACINA, représente en fait les prélèvements du DIAKA.

E - CRUES

Les irrégularités de la crue annuelle observées sur le bassin supérieur tendent à s'estomper presque complètement.

En année faible, la pointe maximale de la crue est déjà nettement émoussée par rapport à celle observée à KOULIKORO.

En année abondante, on observe pratiquement un palier qui se maintient entre 5,90 et 5,95 m à l'échelle, pendant plusieurs semaines.

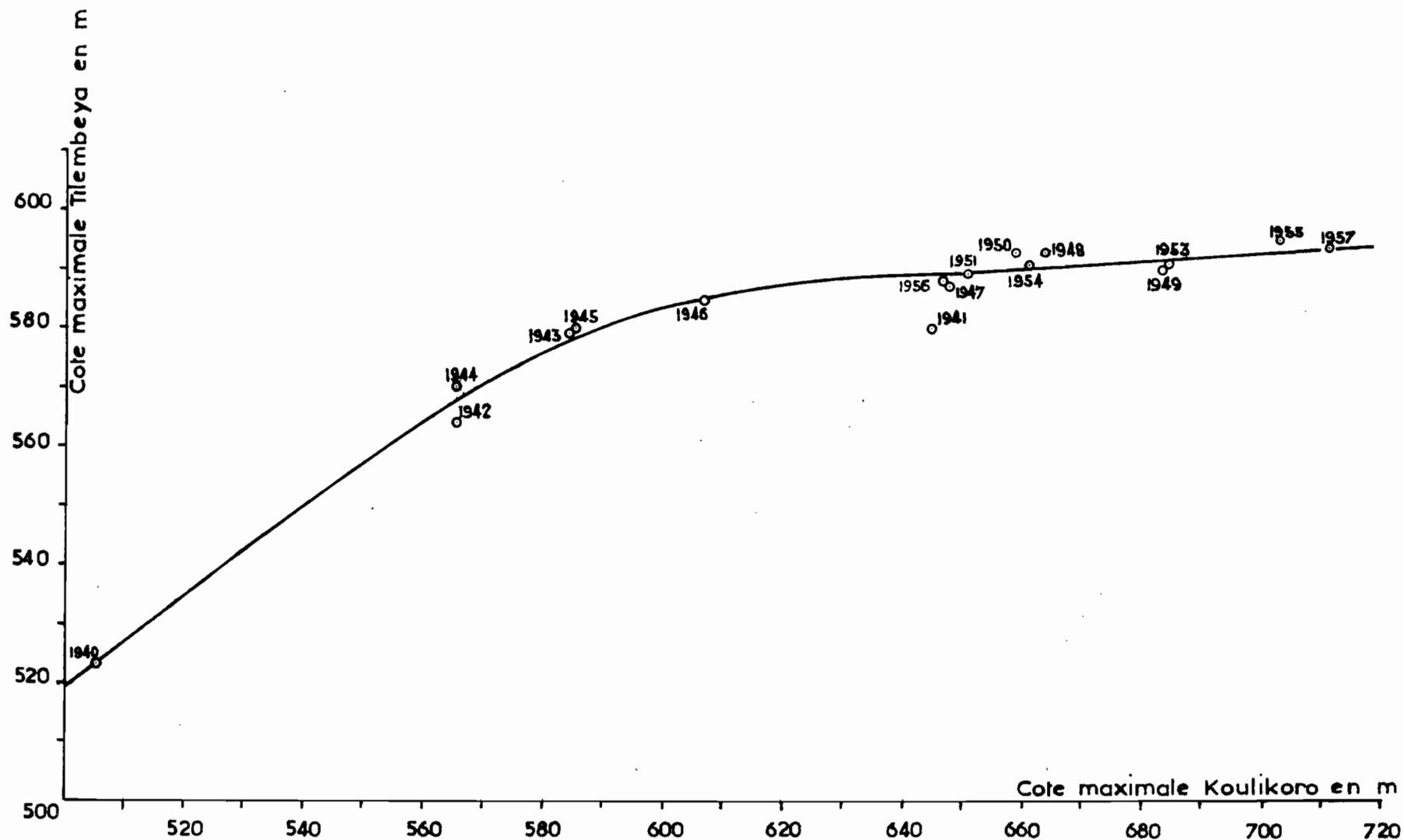
Il existe une assez bonne corrélation entre les hauteurs maximales de chaque année à KOULIKORO et TILEMBEYA, comme le montre le graphique n° 65. La courbe s'incurve rapidement à partir de la cote 5,80 m à KOULIKORO et tend asymptotiquement vers une cote voisine de 5,95 m à TILEMBEYA.

Les maximums annuels de TILEMBEYA présentent de ce fait une faible dispersion.

En 1940, année la plus faible de la période commune d'observation, on a relevé 5,05 m à KOULIKORO et 5,24 m à TILEMBEYA. L'année 1913, que l'on sait avoir été la plus maigre à KOULIKORO depuis 1908, a dû produire à TILEMBEYA une cote maximale d'environ 5,05 m.

Gr. 65

Corrélation des hauteurs maximales à KOULIKORO et TILEMBEYA



Ainsi, depuis le début du siècle, le maximum annuel de cette station s'est maintenu entre 5,05 et 5,95 m environ, soit une variation interannuelle de 0,90 m seulement. Cette variation est plus faible même que celle relevée à DIRE vers le débouché aval de la Cuvette Lacustre. Les débits extrêmes correspondants sont de 2 500 et 3 400 m³/s.

Le maximum de la crue a lieu entre le 15 Septembre et le 25 Octobre, mais le plus souvent dans les deux premières décades d'Octobre.

Lorsque le crue est faible à KOULIKORO et ne dépasse pas une hauteur à l'échelle de 6,0 m, la propagation du maximum jusqu'à TILEMBEYA demande de 3 à 5 jours.

Si, au contraire, à KOULIKORO la crue dépasse pendant un certain temps une hauteur de 6,0 m, on observe à TILEMBEYA, pendant le même laps de temps décalé de 8 à 9 jours, un palier approximatif avec une hauteur de crue oscillant entre 5,85 et 5,96 m.

Il n'y a pas de corrélation nette entre le maximum de crue et le module annuel de TILEMBEYA, ceci bien entendu à cause de l'écrêtement des crues. Notons, d'ailleurs, que cet écrêtement n'est pas dû au seul affluent DIAKA, car la ligne d'eau du fleuve dans la région de TILEMBEYA est également influencée par les conditions d'écoulement en aval et notamment par les prélèvements des "mayos" SOGONA et MORA.

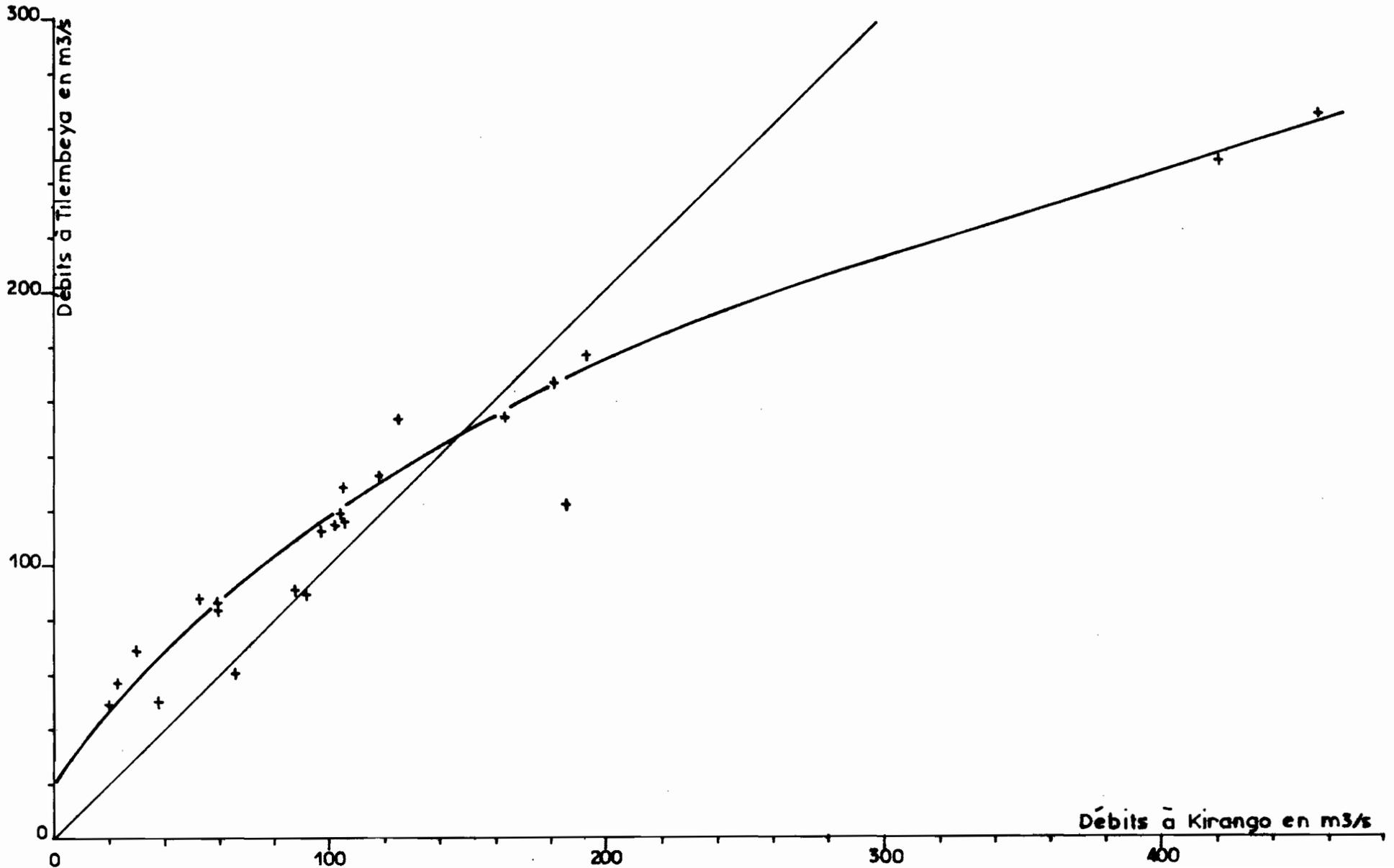
Le débit maximal du lit apparent à TILEMBEYA n'excède pratiquement jamais 3 400 m³/s. Ainsi depuis KOULIKORO, c'est-à-dire sur un parcours de 340 km, le NIGER voit son débit de crue se réduire de moitié en année moyenne et de presque des deux tiers en année abondante.

F - ETIAGES

Le graphique n° 66 met en évidence une assez bonne corrélation entre les débits moyens mensuels de KIRANGO et de TILEMBEYA en basses eaux.

Gr_66

Correlation entre les débits moyens mensuels de TILEMBEYA et de KIRANGO
en basses-eaux



Lorsque les débits mensuels de KIRANGO sont inférieurs à 145 m³/s, ceux de TILEMBEYA leur sont presque toujours supérieurs, ce qui prouve qu'entre les deux stations le fleuve reçoit des apports non négligeables qui peuvent atteindre quelque 30 m³/s pendant les mois les plus secs. Ce renforcement des débits de basses eaux de l'amont vers l'aval avait déjà été noté pour la station de KE-MACINA.

Si les débits mensuels de KIRANGO dépassent 145 m³/s, on constate au contraire des pertes dans le lit mineur entre cette station et TILEMBEYA.

En ce qui concerne l'étiage absolu, le plus faible débit journalier enregistré sur 20 ans a été de 30 m³/s en Mai 1948. Il ne semble pas que lors des années exceptionnellement sèches de 1913-14 et 1914-15 les débits soient tombés à des valeurs plus basses, car à cette époque les systèmes d'irrigation de l'Office du NIGER n'existaient pas.

C H A P I T R E IX

Le REGIME du DIAKA à KARA

A - GENERALITES

Le DIAKA est un effluent du NIGER qui prélève une partie notable des débits du fleuve, tout au moins en moyennes et hautes eaux. Son embouchure située à DAIFARABE est encombrée de bancs de sable qui limitent et même parfois annulent complètement les débits prélevés en basses eaux.

La station de KARA n'est éloignée que d'une dizaine de kilomètres de celle de TILEMBEYA. Le régime des hauteurs d'eau est donc pratiquement identique aux deux stations.

B - DEBITS MENSUELS

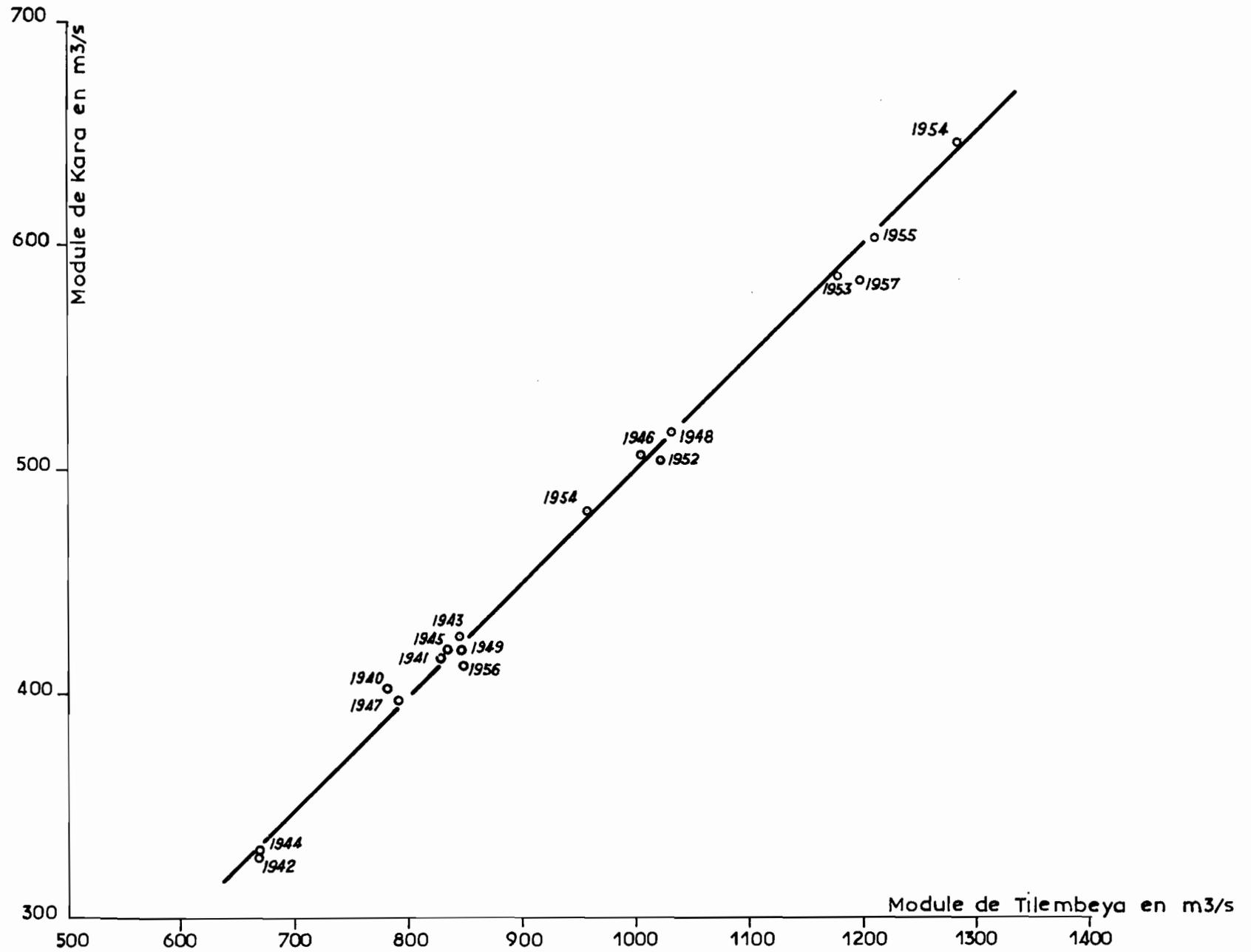
Septembre et Octobre sont les mois les plus abondants. La montée en Juillet-Août et la décrue en Novembre-Décembre sont à peu près symétriques. Les plus basses eaux ont lieu en Avril et Mai.

C - MODULES et VOLUMES ANNUELS

Comme le montre le graphique n° 67, il existe une corrélation étroite entre les modules de KARA (M_{Ka}) et de TILEMBEYA (M_T). Cette corrélation est linéaire et peut s'exprimer sous la forme :

$$M_{Ka} = 0,50 M_T$$

Correlation entre les modules de KARA et TILEMBEYA



On en déduit immédiatement que le module médian de KARA est de 505 m³/s sur la période 1922-1963 (485 m³/s sur la période 1907-1957).

On retrouve également un résultat déjà indiqué, à savoir que le DIAKA prélève le tiers du volume écoulé par le fleuve, puisque le module de KARA est égal à la moitié de celui de TILEMBEYA.

Le total des modules moyens de KARA et de TILEMBEYA est de 1 450 m³/s pour la période 1907-57. C'est entre cette valeur et 1 545 m³/s, module correspondant de KOULIKORO, que doivent se situer les modules moyens de KIRANGO et de KE-MACINA qui sont assez mal connus, comme on l'a vu. Des valeurs assez vraisemblables seraient respectivement d'environ 1 520 et 1 490 m³/s.

On remarque également que la diminution du module du NIGER entre KOULIKORO et l'embouchure du DIAKA est très voisine de 100 m³/s en année moyenne, ce qui correspond à des pertes annuelles de l'ordre de 3 milliards de m³. D'une façon plus générale, si l'on tient compte des corrélations établies entre les modules de KOULIKORO, TILEMBEYA et KARA, les pertes annuelles entre KOULIKORO et l'embouchure du DIAKA obéissent approximativement à la relation suivante (en milliards de m³):

$$V_K - (V_T + V_{Ka}) = 0,16 \cdot V_K - 5,5$$

(valable pour $V_K < 63 \times 10^9$ m³)

D - CRUES ET ETIAGES

Comme à TILEMBEYA, les crues ont lieu entre le 15 Septembre et le 25 Octobre.

Du fait des débordements, les débits maximaux dans le lit apparent plafonnent à 1 700 m³/s environ, valeur qui peut se maintenir plusieurs semaines en année abondante.

L'étiage absolu se situe généralement en Avril ou Mai et presque tous les ans le débit devient très faible ou même s'annule complètement pendant plusieurs semaines. Le plus fort débit d'étiage absolu observé depuis 1940 a été de 7 m³/s en Mai 1955. Précisons cependant que l'étalonnage de la station de KARA est assez instable et que par conséquent la précision des débits de basses eaux est médiocre.

C H A P I T R E X

Le REGIME du NIGER à MOPTI

=====

A - GENERALITES -

La station de MOPTI doit son importance à sa situation immédiatement en aval du confluent du BANI, seul affluent important du NIGER dans toute la Cuvette Lacustre.

Malheureusement, par suite des variations relatives de la pente d'écoulement, l'étalonnage[✕] de cette station n'est pas univoque, de sorte que les débits ne sont pas connus avec une très bonne précision, surtout vers le sommet de la crue. En général, le débit est maximal environ une semaine avant que les eaux atteignent leur plus haut niveau. Pour une même hauteur d'eau, il peut y avoir des différences de débits dépassant 300 m³/s entre la montée et la baisse des eaux.

Par ailleurs, les relevés limnimétriques de MOPTI présentent de nombreuses lacunes entre 1922 et 1943 que l'on s'est efforcé de combler, comme on le verra plus loin.

La conjugaison des apports du NIGER et du BANI, qui subissent chacun de leur côté un amortissement important, se traduit par un hydrogramme annuel de forme très régulière où l'on note seulement quelques petites indentations en Juin et Juillet, avant le début des débordements. Par rapport à celui de TILEMBEYA, l'hydrogramme de MOPTI est sensiblement plus étalé ; il culmine moins haut et a une crête plus arrondie, par contre, il correspond à un volume annuel un peu plus élevé, ce qui s'explique par les apports du BANI qui dépassent légèrement les pertes du NIGER depuis TILEMBEYA.

✕ Récemment l'étalonnage de la station de MOPTI a été en partie remis en question à la suite des jaugeages de hautes eaux effectués en 1967 (Voir "La crue exceptionnelle du NIGER en 1967" par G. JACCON dans les cahiers ORSTOM - série Hydrologie N° 1 - 1968).

B - DEBITS MENSUELS (Cf. tableau VI - a/en annexe)

De Mai à Octobre, c'est-à-dire pendant la période de montée des eaux, les débits mensuels de MOPTI sont en moyenne un peu inférieurs à ceux de TILEMBEYA sauf parfois en Juillet et Août. C'est vers le sommet de la crue, en Septembre et Octobre, que l'écart est le plus manifeste. En revanche, au mois de Novembre, la décrue est relativement rapide à TILEMBEYA, alors qu'elle s'amorce lentement à MOPTI. En Décembre et Janvier, les débits de MOPTI restent très largement supérieurs à ceux de TILEMBEYA, bien qu'à MOPTI la décrue s'accélère sensiblement à partir de Décembre.

C - MODULES et VOLUMES ANNUELS -

L'étude statistique des modules a nécessité au préalable la recherche de corrélations satisfaisantes qui permettent de combler les lacunes assez nombreuses des débits moyens annuels donnés en annexe dans le tableau VI - a.

Les graphiques n° 68, 69, 70 et 71 montrent les corrélations qui peuvent être établies entre les modules connus de MOPTI d'une part, et les modules correspondants de KOULIKORO, TILEMBEYA, DOUNA et DIRE, d'autre part. Les trois premières corrélations se révèlent trop lâches et se prêtent également mal à toute combinaison faisant intervenir les modules de plus de deux stations. La raison en est que le module de MOPTI dépend, entre autres facteurs, de la forme respective des hydrogrammes annuels de TILEMBEYA et de DOUNA, ainsi que de leur décalage dans le temps.

En définitive, c'est la corrélation entre les modules de MOPTI et ceux de DIRE (étudiés au Chapitre suivant) qui s'est avérée la meilleure. Elle est pratiquement linéaire et peut s'exprimer sous la forme :

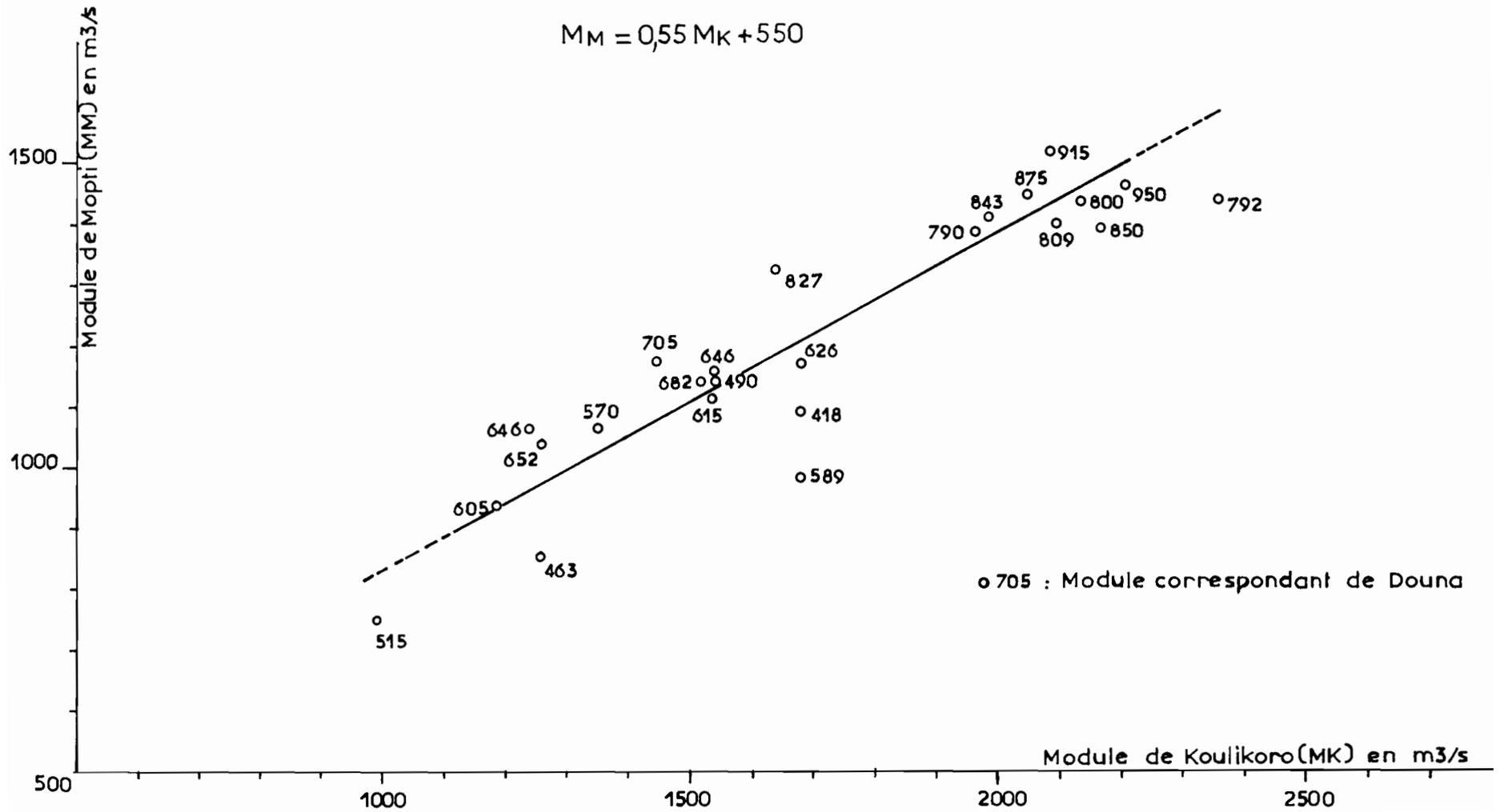
$$M_M = 0,92 M_D + 80$$

Nous l'avons utilisée pour combler les lacunes du tableau VI - a (Annexe). On trouvera dans le tableau VI - a' les modules qui ont pu être ainsi reconstitués de façon approximative. On en a déduit l'étude statistique qui est résumée dans le tableau IV ci-après.

Le graphique n° 72 montre que les points expérimentaux se situent convenablement au voisinage d'une droite de GAUSS jusque vers 1 250 m³/s et une fréquence de dépassement de 35 %. Au-delà, la courbe de fréquence expérimentale indique des modules d'abord sensiblement supérieurs à ceux de la droite de GAUSS, puis au contraire nettement inférieurs. Une fois de plus, il faut voir là l'effet des débordements qui font plafonner vers 1 550 ou 1 600 m³/s les modules de fréquence très rare.

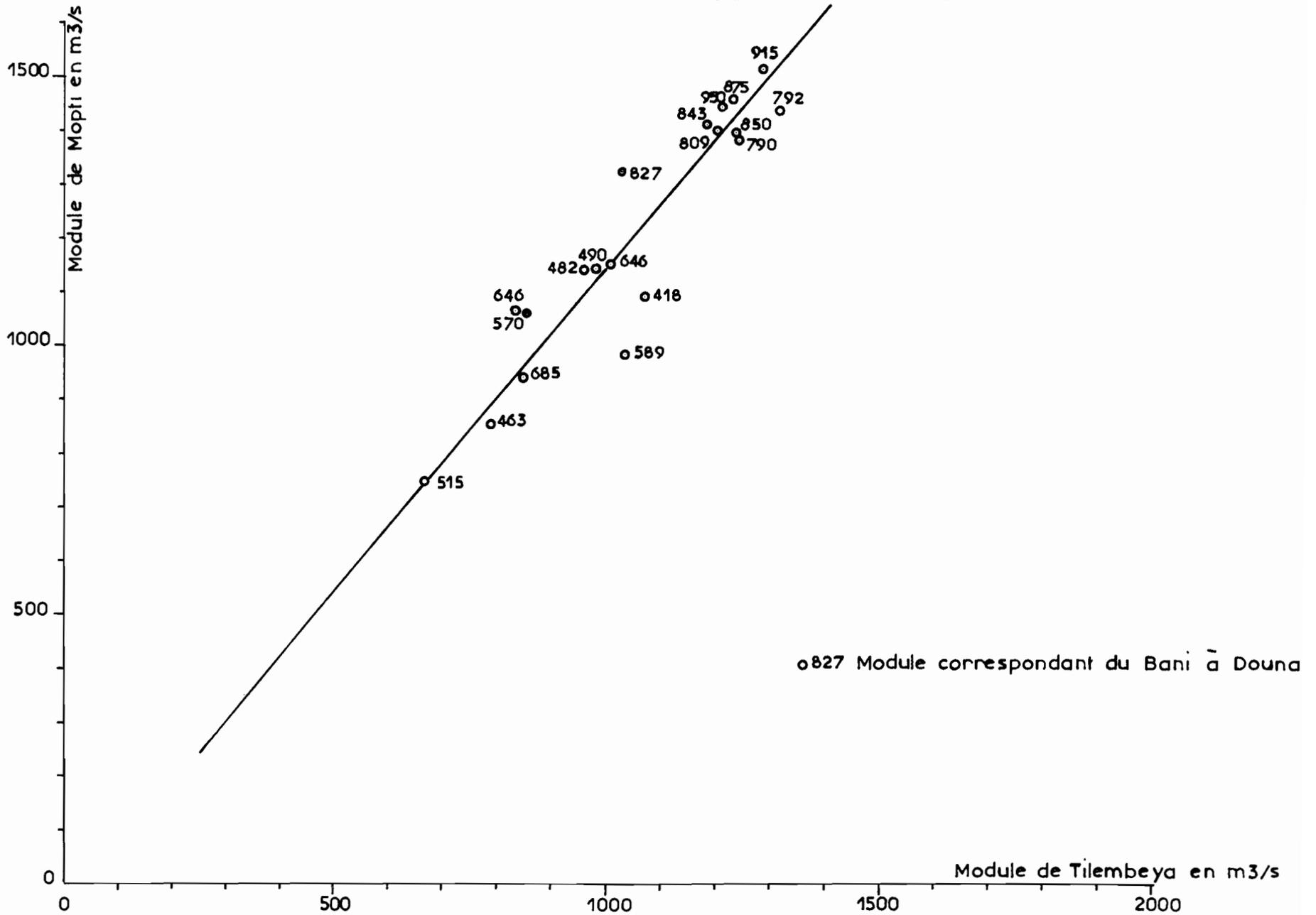
Gr_68

Correlation entre les modules de MOPTI et de KOULIKORO



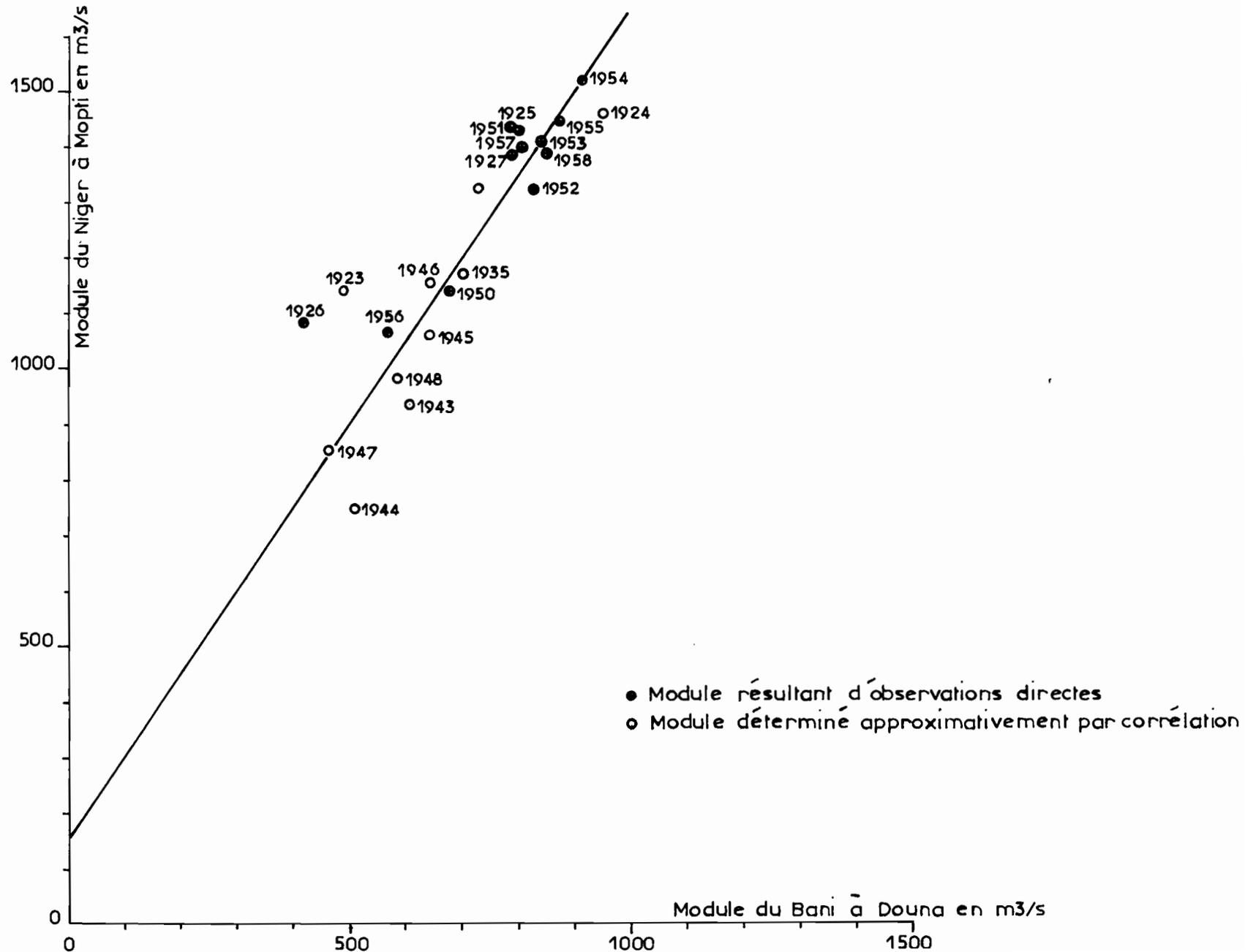
Gr_69

Correlation entre les modules de MOPTI et de TILEMBEYA



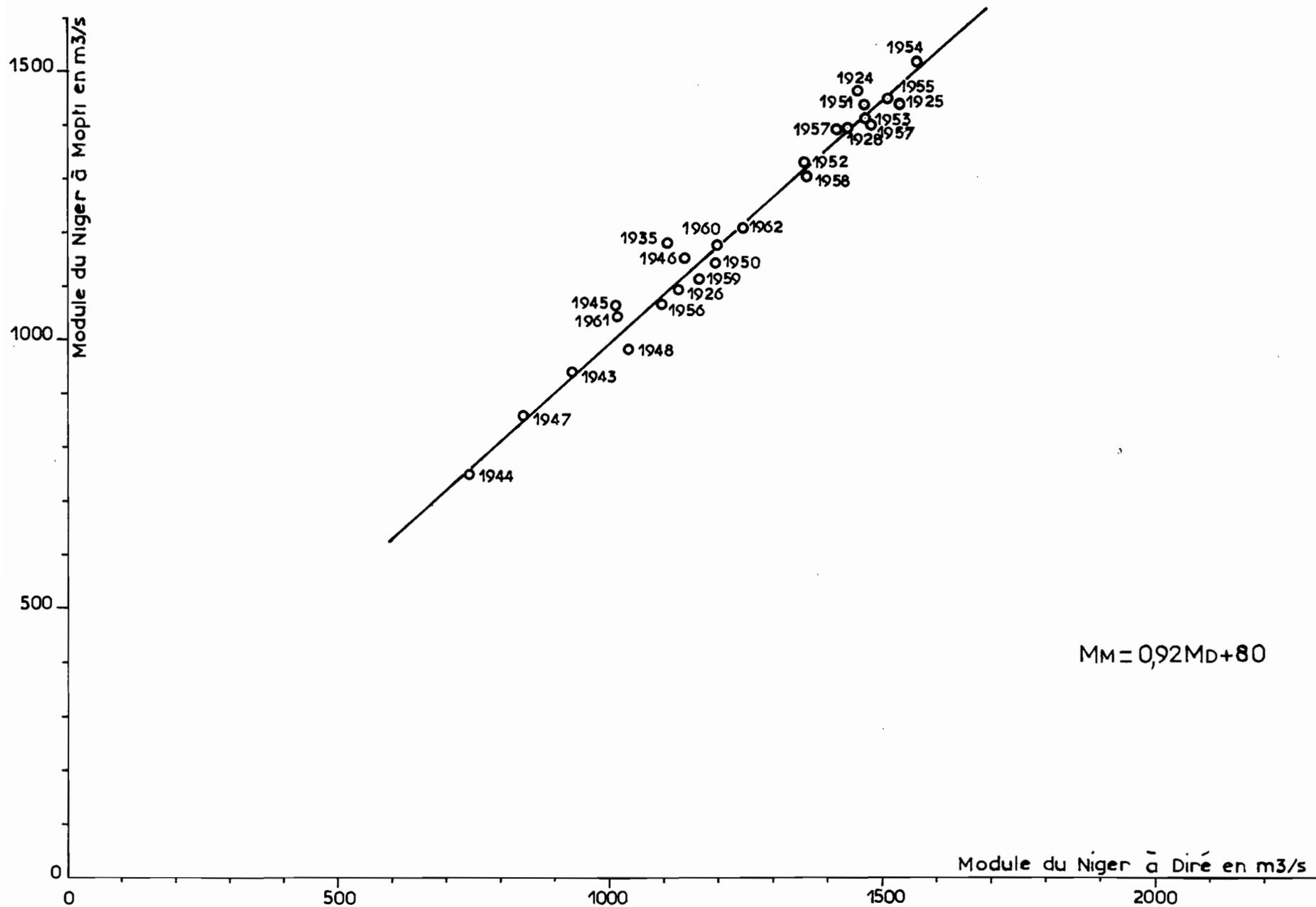
Gr. 70

Correlation entre les modules du NIGER à MOPTI et du BANI à DOUNA



Gr. 71

Corrélation entre les modules de MOPTI et DIRÉ



T A B L E A U IV

Le NIGER à MOPTI

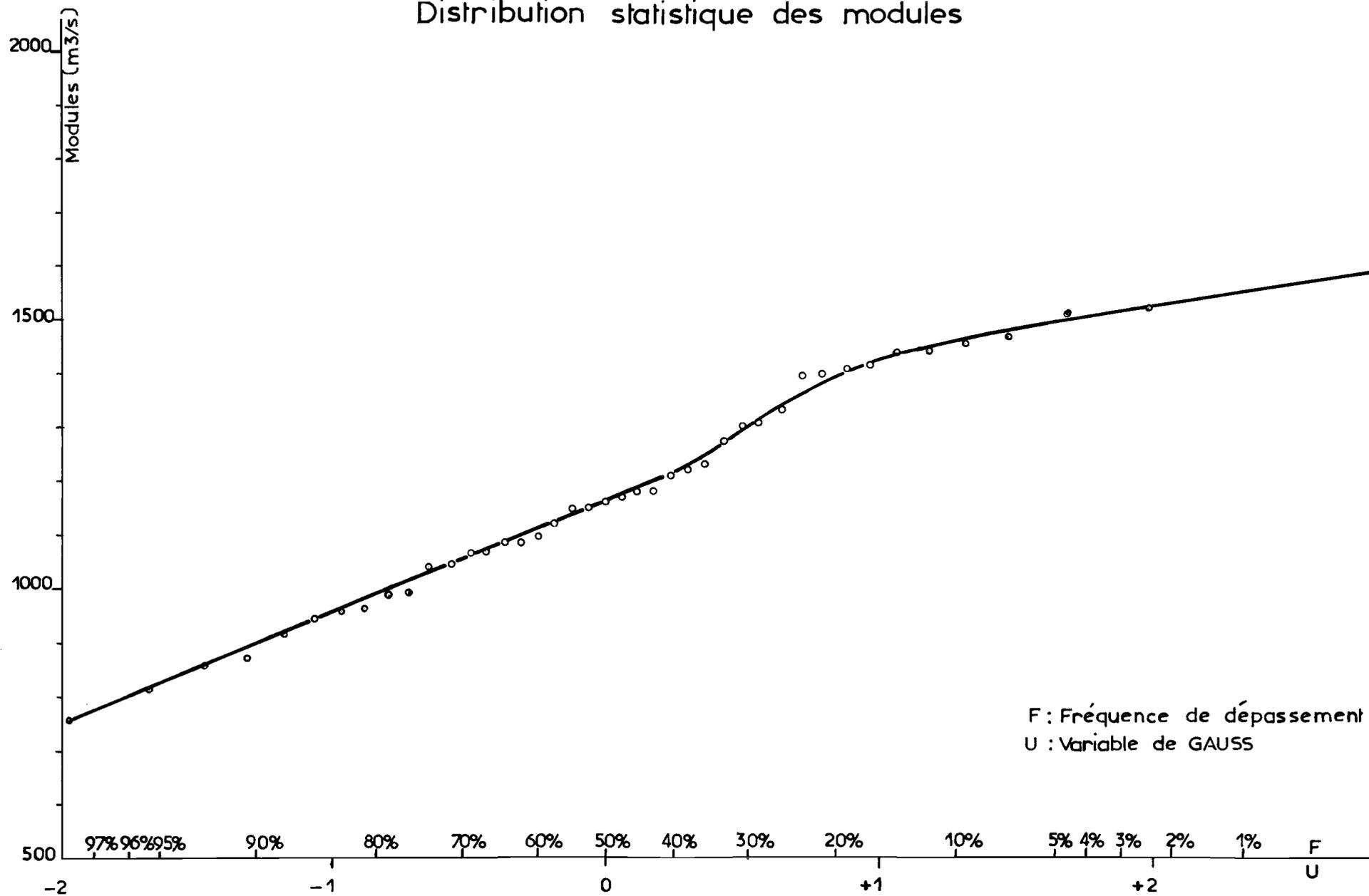
Etude statistique des modules
(1922/23 - 1962/63)

Classement		Fréquence de dépassement	Module	Variable de GAUSS
n	n'	F	(m ³ /s)	μ
41	1	0,976	750	- 1,975
40	2	0,951	810	- 1,675
39	3	0,930	856	- 1,47
38	4	0,905	870	- 1,31
37	5	0,880	915	- 1,18
36	6	0,857	942	- 1,065
35	7	0,834	955	- 0,965
34	8	0,810	960	- 0,88
33	9	0,785	986	- 0,79
32	10	0,762	990	- 0,71
31	11	0,738	1040	- 0,64
30	12	0,714	1045	- 0,56
29	13	0,690	1067	- 0,495
28	14	0,666	1067	- 0,43
27	15	0,643	1080	- 0,365
26	16	0,619	1080	- 0,30
25	17	0,595	1095	- 0,24
24	18	0,571	1114	- 0,18
23	19	0,548	1144	- 0,12
22	20	0,525	1145	- 0,06
21	21	0,500	1156	0,00
20	22	0,475	1165	+ 0,06
19	23	0,452	1175	0,12
18	24	0,429	1177	0,18
17	25	0,405	1205	0,24
16	26	0,381	1220	0,30
15	27	0,357	1230	0,365
14	28	0,333	1270	0,43
13	29	0,310	1300	0,495
12	30	0,286	1303	0,56
11	31	0,262	1331	0,64
10	32	0,238	1390	0,71
9	33	0,214	1395	0,79
8	34	0,190	1402	0,88
7	35	0,167	1414	0,965
6	36	0,143	1437	1,065
5	37	0,119	1440	1,18
4	38	0,095	1452	1,31
3	39	0,071	1465	1,47
2	40	0,047	1510	1,675
1	41	0,024	1521	1,975

Gr.72

Le NIGER à MOPTI

Distribution statistique des modules



Du graphique n° 72, on peut déduire les valeurs approximatives suivantes :

- Module médian (F = 50 %) : 1150 m³/s
- Module décennal sec (F = 90 %) : 900 m³/s
- Module décennal humide (F = 10 %) : 1450 m³/s

Le coefficient d'irrégularité (rapport des modules décennaux humide et sec) s'élève à 1,61.

Les modules de MOPTI ne sont pas très supérieurs à ceux de TILÉMBEYA. Le graphique 69 montre que les écarts sont le plus souvent compris entre 100 et 250 m³/s ; ils n'excèdent jamais 300 m³/s. L'écart entre les modules médians (période 1922-1963) est de 150 m³/s et reste donc très inférieur au module médian du BANI à DOUNA (660 m³/s) ou à SOFARA (510 m³/s - cf. 1ère Partie).

Par rapport à ceux de KOULIKORO, les modules de MOPTI accusent un déficit très variable qui est généralement compris entre 250 et 700 m³/s, avec une valeur moyenne d'environ 450 m³/s. Ce déficit tend grossièrement à augmenter avec l'importance de la crue annuelle de KOULIKORO.

En ce qui concerne les volumes écoulés annuellement à MOPTI, ils se déduisent immédiatement de l'étude statistique des modules :

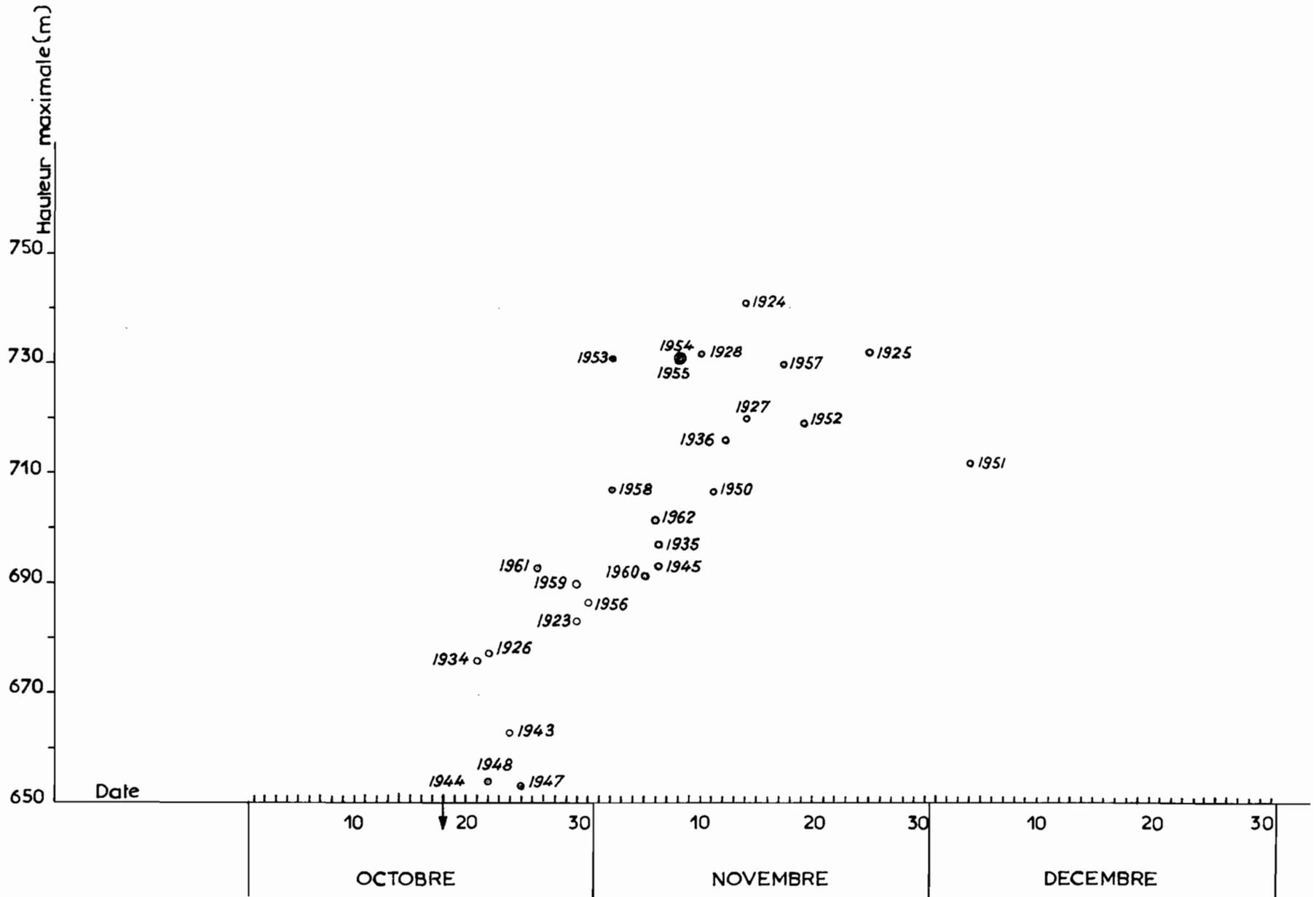
- Volume médian (F = 50 %) : 36,3 x 10⁹ m³
- Volume décennal sec (F = 90 %) : 28,4 x 10⁹ m³
- Volume décennal humide (F = 10 %) : 45,8 x 10⁹ m³

D - CRUES -

Le niveau maximal de la crue apparaît toujours entre la mi-October et la fin de Novembre. La crue de 1951, qui a culminé du 3 au 6 Décembre, est la seule à faire exception à cette règle. La plus grande fréquence d'apparition se situe dans la première décennie de Novembre.

Les crues faibles sont toujours précoces tandis que les crues fortes sont en général tardives (voir graphique 73).

Relation entre la hauteur et la date du maximum des crues annuelles de MOPTI



Les crues importantes ont un maximum assez prolongé à cause de l'écrêtement de hautes eaux du NIGER et du BANI. Au contraire, les crues de faible amplitude ont souvent un maximum pointu à cause d'un effet d'amortissement beaucoup moindre.

Entre le maximum de débit et le maximum de hauteur des crues annuelles il y a un certain décalage dans le temps dû à l'affaiblissement de la pente d'écoulement qui accompagne le remplissage progressif du lit et des plaines de débordement. Le maximum de débit précède toujours le maximum de hauteur. Le décalage varie entre quelques jours et deux ou trois semaines, il n'est d'ailleurs pas très bien connu, l'étalonnage non univoque de la station de MOPTI étant lui-même assez peu précis.

Une étude statistique a été tentée non point sur les débits, à cause de leur précision médiocre, mais sur les hauteurs de crues annuelles. Elle est condensée dans le tableau V ci-après et conduit en coordonnées gaussiennes à la courbe de fréquence du graphique n° 74. Cette courbe est pratiquement rectiligne pour les crues faibles et moyennes, puis elle s'infléchit sous l'effet des débordements qui font plafonner entre 7,30 m et 7,40 m les sept plus fortes crues observées sur 27 années. L'extrapolation de la courbe vers les fréquences très rares est assez délicate, mais présente une importance pratique pour la protection de la ville de MOPTI. On peut retenir les valeurs suivantes :

- Crue médiane (F = 50 %)	:	7,0 m
- Crue décennale (F = 10 %)	:	7,35 m
- Crue centenaire (F = 1 %)	:	7,5 m environ
- Crue exceptionnelle	:	7,6 m environ

Le graphique n° 75 montre qu'il existe une corrélation assez serrée entre les hauteurs maximales et les modules de MOPTI, ce qui s'explique par la forme régulière de l'hydrogramme annuel et paraît assez rassurant pour la détermination de la hauteur de crue exceptionnelle.

En ce qui concerne les débits de crue, on peut les évaluer approximativement comme suit d'après la courbe d'étalonnage :

T A B L E A U V

Le NIGER à MOPTIEtude statistique des hauteurs
de crues annuelles

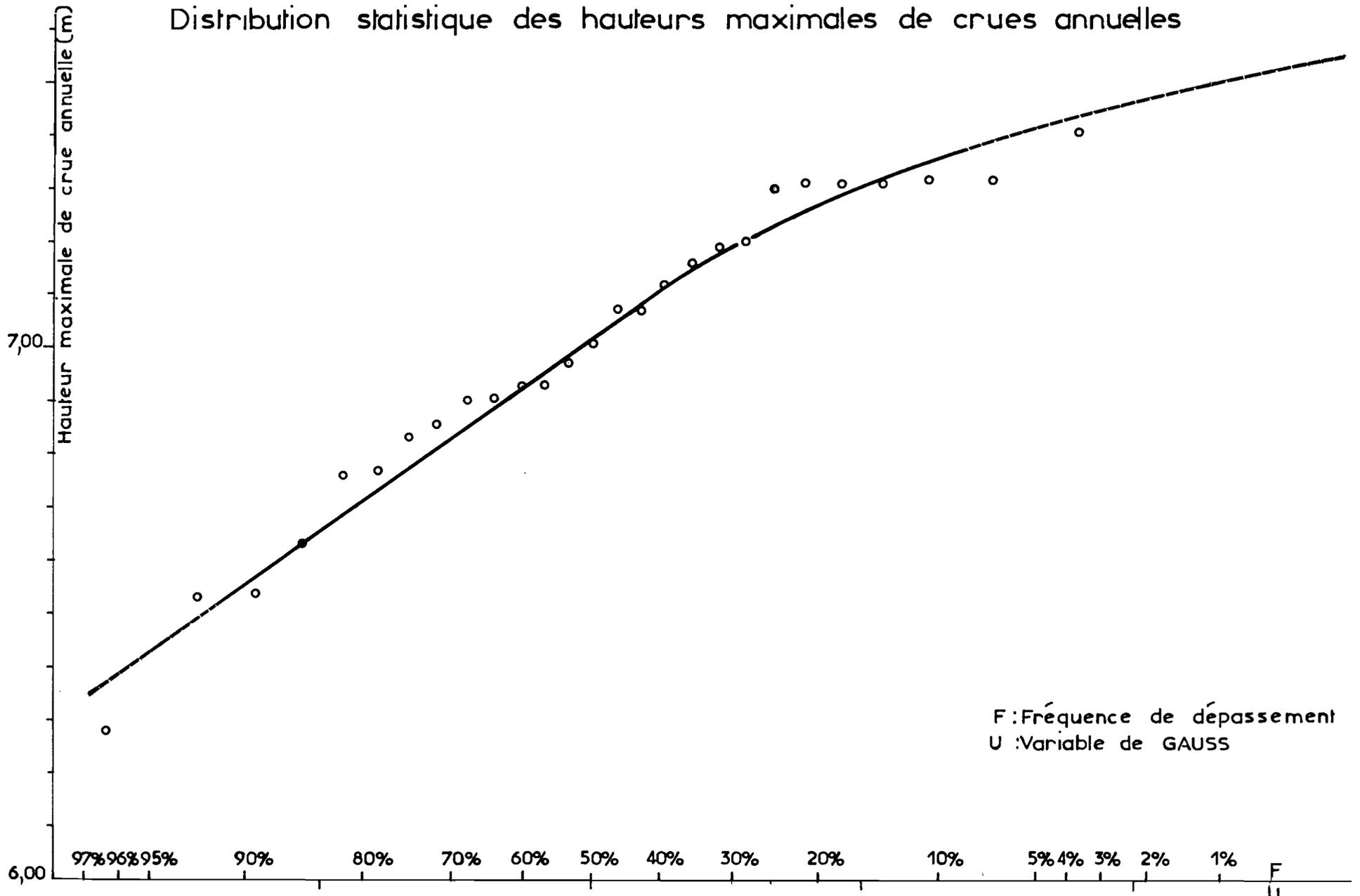
Classement		Hauteur de crue	Fréquence de dépassement	Variable de GAUSS
n	n'			
1	27	7,41	0,036	1,80
2	26	7,32	0,071	1,47
3	25	7,32	0,107	1,24
4	24	7,31	0,143	1,07
5	23	7,31	0,178	0,92
6	22	7,31	0,214	0,79
7	21	7,30	0,250	0,67
8	20	7,20	0,285	0,57
9	19	7,19	0,321	0,47
10	18	7,16	0,357	0,37
11	17	7,12	0,393	0,27
12	16	7,07	0,429	0,18
13	15	7,07	0,465	0,09
14	14	7,01	0,500	0,00
15	13	6,97	0,535	- 0,09
16	12	6,93	0,571	- 0,18
17	11	6,93	0,607	- 0,27
18	10	6,91	0,643	- 0,37
19	9	6,90	0,679	- 0,47
20	8	6,86	0,715	- 0,57
21	7	6,83	0,750	- 0,67
22	6	6,77	0,786	- 0,79
23	5	6,76	0,822	- 0,92
24	4	6,63	0,857	- 1,07
25	3	6,54	0,893	- 1,24
26	2	6,53	0,929	- 1,47
27	1	6,28	0,964	- 1,80

$$F = \frac{n}{N + 1} \quad (N = 27)$$

Gr.74

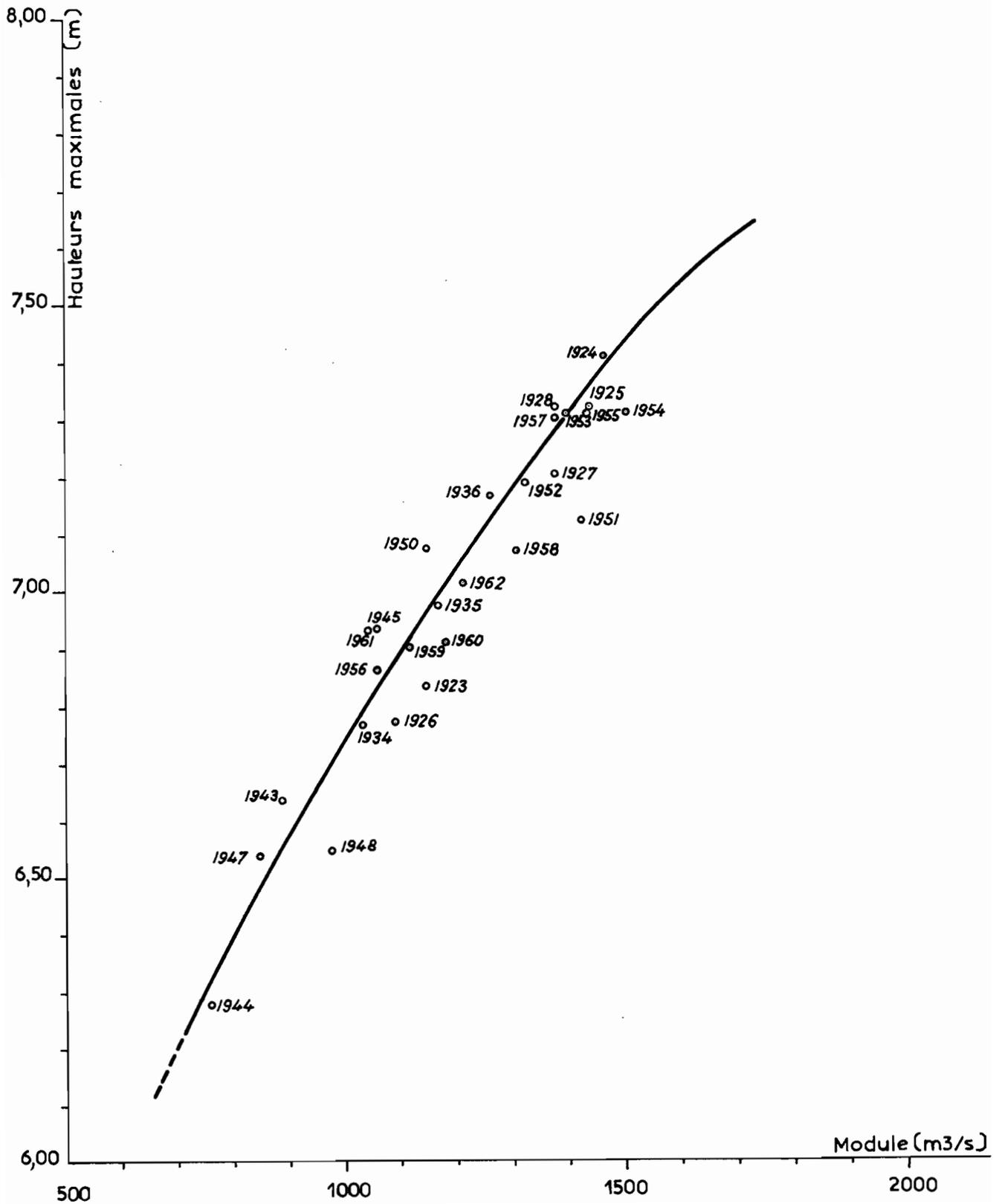
Le NIGER à MOPTI

Distribution statistique des hauteurs maximales de crues annuelles



Le NIGER à MOPTI

Correlation entre hauteurs maximales et modules



- Crue médiane	:	2825 m ³ /s
- Crue décennale	:	3075 m ³ /s
- Crue centenaire	:	3175 m ³ /s
- Crue exceptionnelle	:	3250 m ³ /s

Signalons, pour mémoire, qu'en 1962 J. HERBAUD a tenté d'établir une méthode pour prévoir la date et la hauteur du maximum annuel de MOPTI. Nous n'exposerons pas ici cette méthode qui est assez délicate et sans doute encore susceptible d'amélioration.

E - ETIAGES -

Les débits d'étiage ne sont pas connus avec une grande précision, surtout au-dessous de 30 m³/s, faute de jaugeages en nombre suffisant.

Les relevés d'étiage complets que nous possédons couvrent la période 1944-1961.

Le minimum absolu a toujours été observé entre le 8 Mai et le 29 Juin ; deux années sur trois il se produit entre le 20 Mai et le 10 Juin. Ce minimum est, en règle générale, nettement plus tardif que celui de KOULIKORO. Le décalage varie entre quinze jours et un mois et demi, mais il faut bien noter qu'il est influencé par les prélèvements de l'Office du NIGER. Quant au minimum du BANI à DOUNA, il est tantôt plus précoce, tantôt plus tardif que celui de MOPTI.

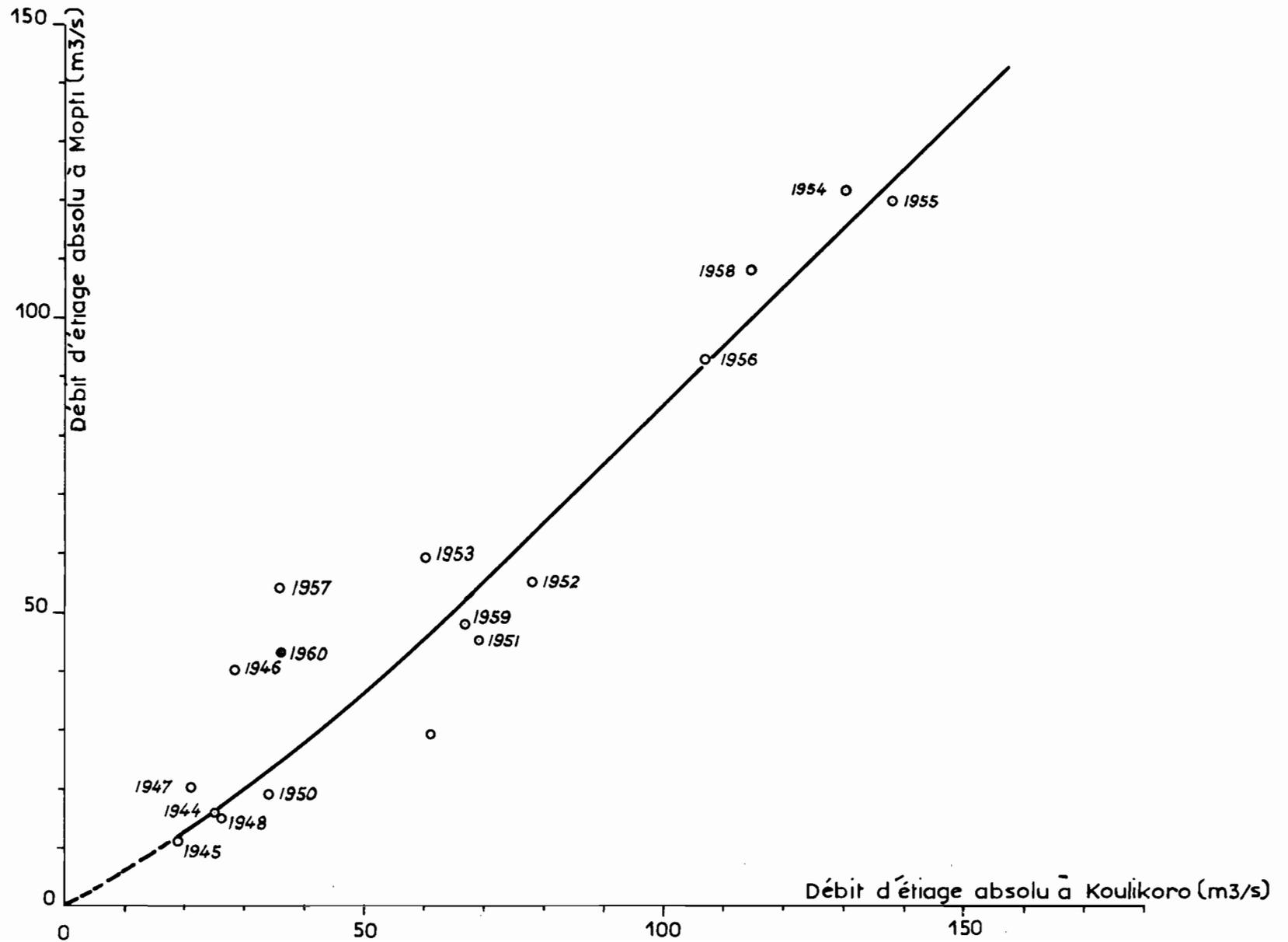
La précision assez médiocre avec laquelle on connaît les débits de basses eaux de MOPTI rend assez délicate leur comparaison avec ceux de KOULIKORO. D'une façon générale, on remarque cependant que les minimums absolus de MOPTI sont un peu inférieurs à ceux de KOULIKORO, malgré les apports du BANI et les restitutions des plaines de débordement. Le fonctionnement du barrage de MARKALA en est vraisemblablement la raison. Par contre, les étiages absolus de MOPTI paraissent supérieurs à ceux de TILMBEYA, tout au moins d'après les relevés les plus sûrs. Ce résultat est conforme à ce que l'on pouvait attendre à priori.

T A B L E A U VI

Comparaison des débits d'étiage
absolu à KOULIKORO, DOUNA et MOPTI

Année	Débit d'étiage absolu			Date de l'étiage absolu		
	KOULIKORO	DOUNA	MOPTI	KOULIKORO	DOUNA	MOPTI
1944	25	-	16	25 Avril	-	8-9 Juin
1945	19	-	(11)	2 Mai	-	24-31 Mai
1946	28	-	40	7 Avril	-	1er Mai
1947	21	-	20	18 Avril	-	11 Juin
1948	26	-	15	13 Avril	-	29 Mai
1949	61	-	29	7 Mai	-	29 Juin
1950	34	-	19	17 Avril	-	fin Mai
1951	69	10	45	25 Avril	8-17 Juin	24 Mai
1952	78	20	55	29 Avril	6/9 et 13-18/6	31 Mai
1953	60	28	59	22 Avril	5-8 Mai	19-20 Mai
1954	130	29	122	5 Avril	21 Mai	12 Mai
1955	137	36	120	2 Mai	22 Mai	15-16 Mai
1956	107	31	93	3 Juin	25-31 Mai	18-19 Mai
1957	36	25	54	23 Avril	23 Mai	4-5 Juin
1958	114	-	108	29/3 au 4 Avril	13-16 Mai	19 Mai
1959	67	-	48	25/3 et 2 Mai	-	31/5-1 Juin
1960	36	-	43	10 et 11 Mai	-	31/5-2 Juin
1961	< 34	-	30	Avril	-	25-29 Mai

Correlation entre les débits d'étiage absolus de KOULIKORO et de MOPTI



C H A P I T R E X I

Le REGIME du NIGER à DIRE

A - GENERALITES

Les observations et l'étalonnage de la station de TOSSAYE étant très insuffisants, nous devons considérer que le régime à DIRE caractérise à peu près les conditions hydrologiques de l'extrémité aval de la Cuvette Lacustre.

En fait, le NIGER subit encore des pertes assez notables après être passé à DIRE. En particulier, les effluents de KONDI et de TASSAKANT alimentent la série des lacs TELE, FAGUIBINE, GOUBER et KAMANGO ; suivant l'importance de la crue ils prélèvent un volume annuel compris entre 0,15 et $3,5 \times 10^6$ m³.

Il faut signaler également que la station de DIRE est contournée en rive droite par le marigot de SALAKOTRA. Cependant, d'après des jaugeages effectués en 1956 à CHIRFIGA, les débits dérivés par ce marigot et restitués au NIGER près de KOURA sont relativement minimes.

Enfin, il est possible qu'en aval de KOURA un effluent participe plus ou moins à l'alimentation des lacs GAROU et DO. Il est actuellement impossible d'évaluer les débits ainsi prélevés sur le fleuve, mais ils sont certainement très faibles par rapport à ceux qui alimentent les lacs de rive gauche.

Par rapport à celui de MOPTI, le régime de DIRE se distingue par un hydrogramme de crue annuelle encore plus étalé et plus régulier qui se présente presque comme une sinusoïde parfaite. Les volumes écoulés annuellement à MOPTI et à DIRE ne sont pas très différents, ce qui revient à dire que les débordements qui échappent à la station de MOPTI mais sont en partie restitués au fleuve dans la région du lac DEBO, compensent grosso modo les pertes du NIGER entre MOPTI et DIRE.

La pente d'écoulement subit dans la région de DIRE des variations importantes en valeur relative. En Mars et Avril, la pente est presque nulle et les vitesses d'écoulement ne sont pratiquement pas mesurables. En Octobre et Novembre, elle atteint sa valeur maximale qui est voisine de 1 cm/km. Il s'ensuit que la courbe d'étalonnage n'est pas univoque et varie très sensiblement entre la crue et la décrue.

B - DEBITS MENSUELS (cf. tableau VII - a/en annexe)

Décembre présente en général la plus forte moyenne mensuelle mais tout en étant très régulier l'hydrogramme annuel est quelque peu dissymétrique. La décrue est un peu plus rapide que la montée des eaux. Ainsi la moyenne de Janvier est légèrement inférieure à celle de Novembre, celle de Février est nettement plus faible que celle d'Octobre et l'écart s'accroît encore entre les moyennes de Mars et de Septembre.

Les moyennes générales (1924-1962) des mois de Novembre, Décembre et Janvier sont peu différentes (2160, 2300 et 2055 m³/s), l'effet de moyenne faisant apparaître le sommet de l'hydrogramme encore plus aplati qu'il ne l'est pour chaque année prise en particulier.

Le graphique n° 77 indique la valeur des débits moyens mensuels selon leur fréquence de dépassement. On remarque que la dispersion des débits mensuels est nettement plus marquée à la décrue qu'à la crue.

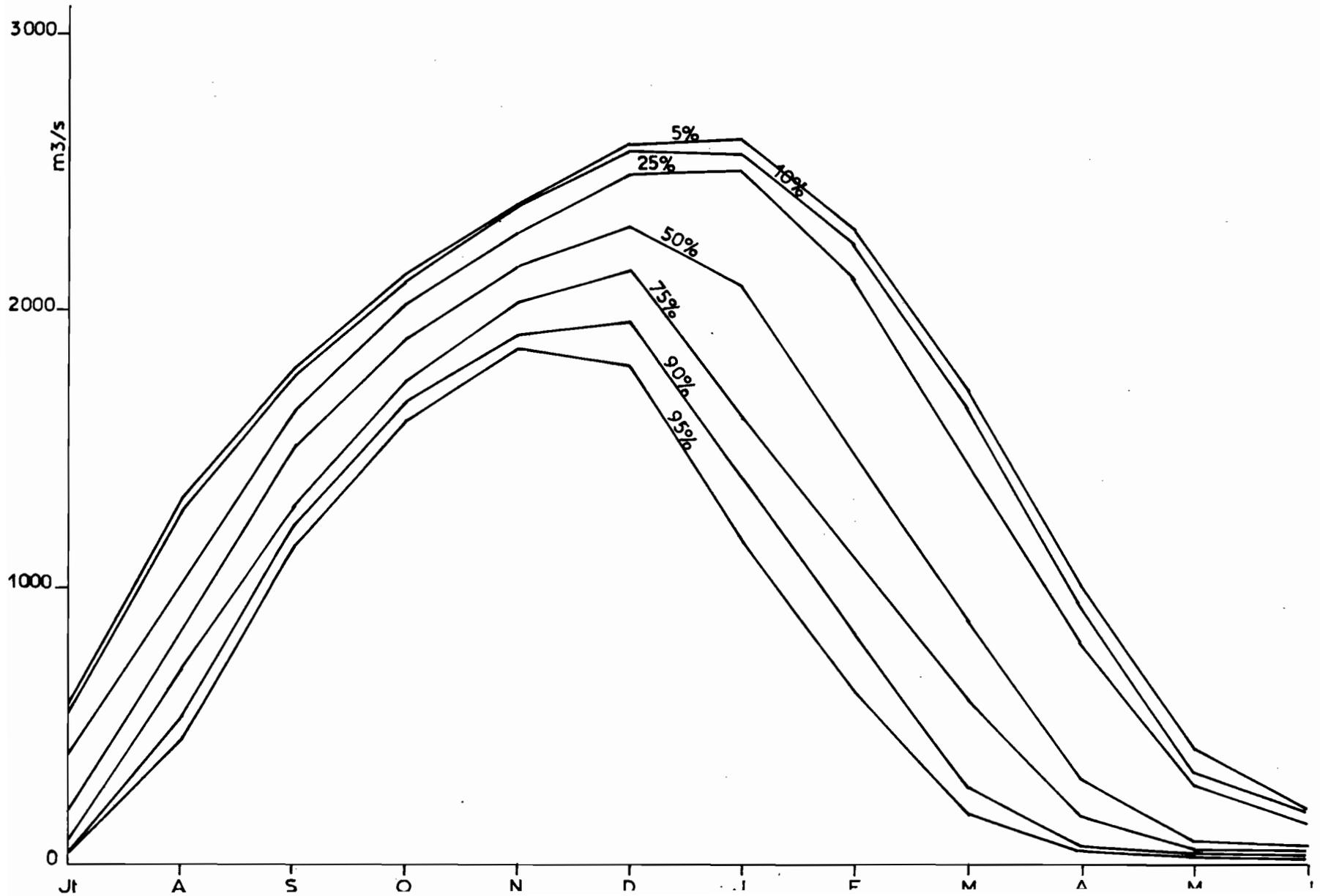
L'écart relatif entre les valeurs correspondant aux fréquences extrêmes (5 et 95 %), est maximal d'Avril à Juillet. Il décroît ensuite progressivement jusqu'en Novembre, pour augmenter à nouveau dès le mois de Décembre. Cette dernière augmentation est liée au fait que plus la crue est forte, plus son maximum se prolonge, comme on le verra plus loin.

Par rapport à ceux de MOPTI, les débits mensuels de DIRE sont nettement inférieurs de Juin à Novembre et au contraire largement supérieurs de Décembre à Mai. Ce fait s'explique aisément par le stockage d'eau pendant la montée et par la restitution des plaines de débordement et des systèmes lacustres pendant la décrue. L'écart entre les débits de MOPTI et de DIRE atteint environ 1000 m³/s entre Août et Octobre, puis en Janvier et Février.

Gr. 77

Le NIGER à DIRÉ

Débits moyens mensuels selon leur fréquence de dépassement



C - MODULES et VOLUMES ANNUELS

On a étudié précédemment la corrélation entre les modules de DIRE et ceux de MOPTI. On a vu que cette corrélation était assez étroite (gr. 71) et pouvait s'exprimer sous la forme :

$$M_M = 0,92 M_D + 80$$

$$\text{ou } M_D = 1,085 M_M - 87 \text{ (en m}^3/\text{s)}$$

avec une précision d'environ 5 %.

En fait les modules des deux stations ne sont pas très différents ; en année faible, ceux de MOPTI sont en général légèrement supérieurs à ceux de DIRE et c'est le plus souvent l'inverse en année moyenne ou excédentaire.

D'autres corrélations ont été recherchées faisant intervenir deux ou plusieurs facteurs. Elles sont plus compliquées et généralement plus lâches que la précédente. Nous donnerons comme exemple la corrélation entre les modules de DIRE et de KOULIKORO (gr. 78). Quelques points comme ceux des années 1948 et 1958 s'éloignent notablement de la relation moyenne, sans qu'on puisse en trouver une explication bien nette. Il est vrai que pour ces années-là, on ne connaît pas les modules du BANI à DOUNA ; peut-être ont-ils eu des valeurs peu usuelles qui justifieraient les écarts que l'on constate.

La relation moyenne entre les modules de DIRE et de KOULIKORO peut s'écrire sous la forme approximative :

$$M_D = 0,6 M_K + 200$$

Les modules de DIRE sont toujours largement inférieurs à ceux de KOULIKORO. La différence tend à augmenter avec l'importance de la crue, ce qui s'explique aisément par l'accroissement des débordements et partant des pertes par évapotranspiration. L'écart entre les modules des deux stations varie entre 200 et 850 m³/s, ce qui correspond à des volumes annuels compris entre 6 et 27 milliards de m³.

L'étude statistique des modules de DIRE est condensée dans le tableau VII ci-après et le graphique 79. Ce graphique montre que la courbe de fréquence expérimentale peut-être assimilée à une droite de GAUSS jusque vers 1200 m³/s. Au-delà, c'est-à-dire pour les fréquences de dépassement inférieures à 45 %, la courbe s'infléchit d'abord vers le haut puis au contraire se rabat et tend vers l'horizontale. Il s'ensuit que pour les fréquences comprises entre 45 et 7 % les modules de DIRE sont un peu supérieurs à ceux qui découleraient de la loi de GAUSS. Par contre, pour les très faibles fréquences, les modules tendent à plafonner vers 1600 m³/s. Quoiqu'un peu plus accentuée, on retrouve pour DIRE une forme analogue à celle déjà obtenue à MOPTI.

Gr. 78

Correlation entre les modules de DIRÉ et de KOULIKORO

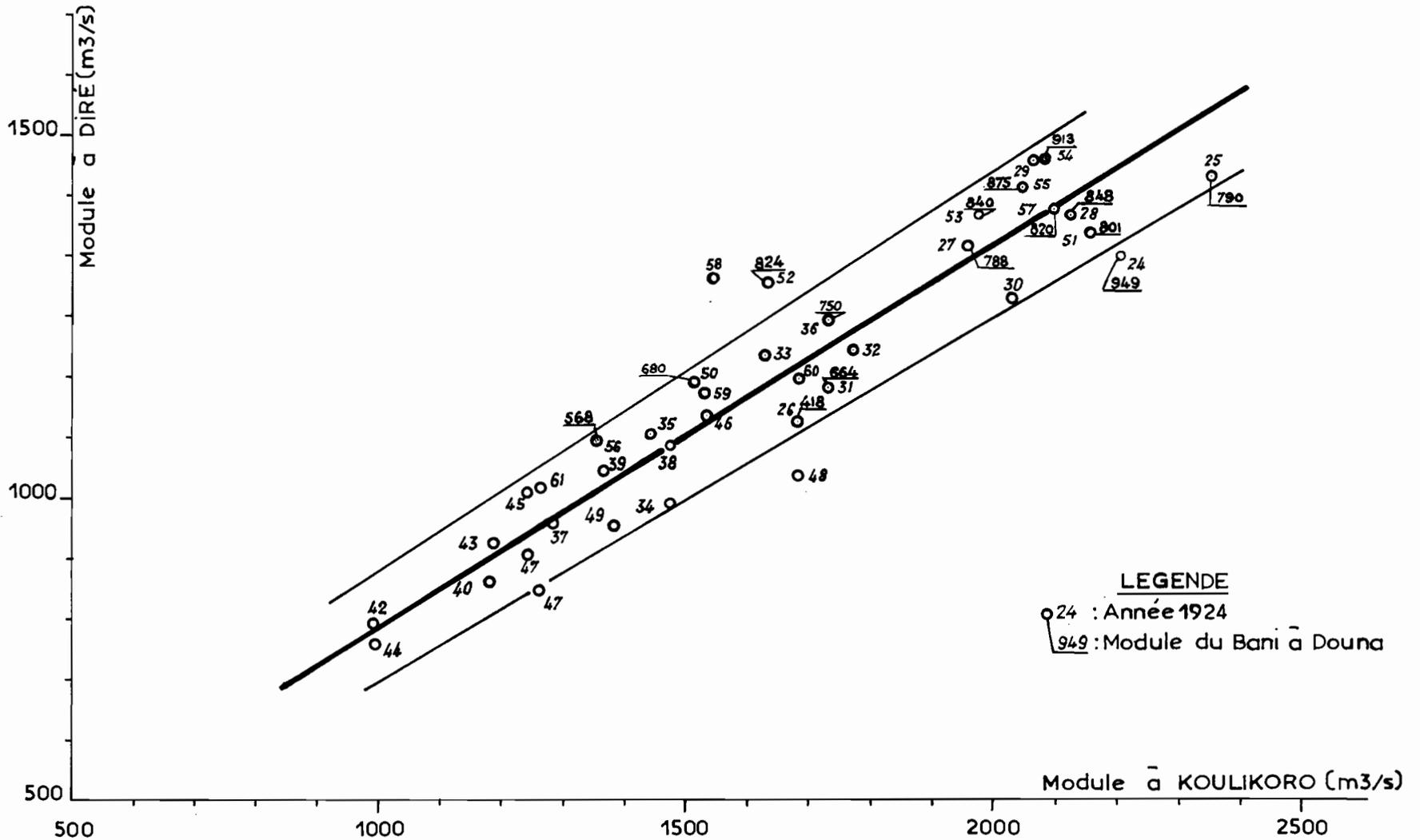


TABLEAU VII

Le NIGER à DIREEtude statistique des modules

(1924/25 - 1962/63)

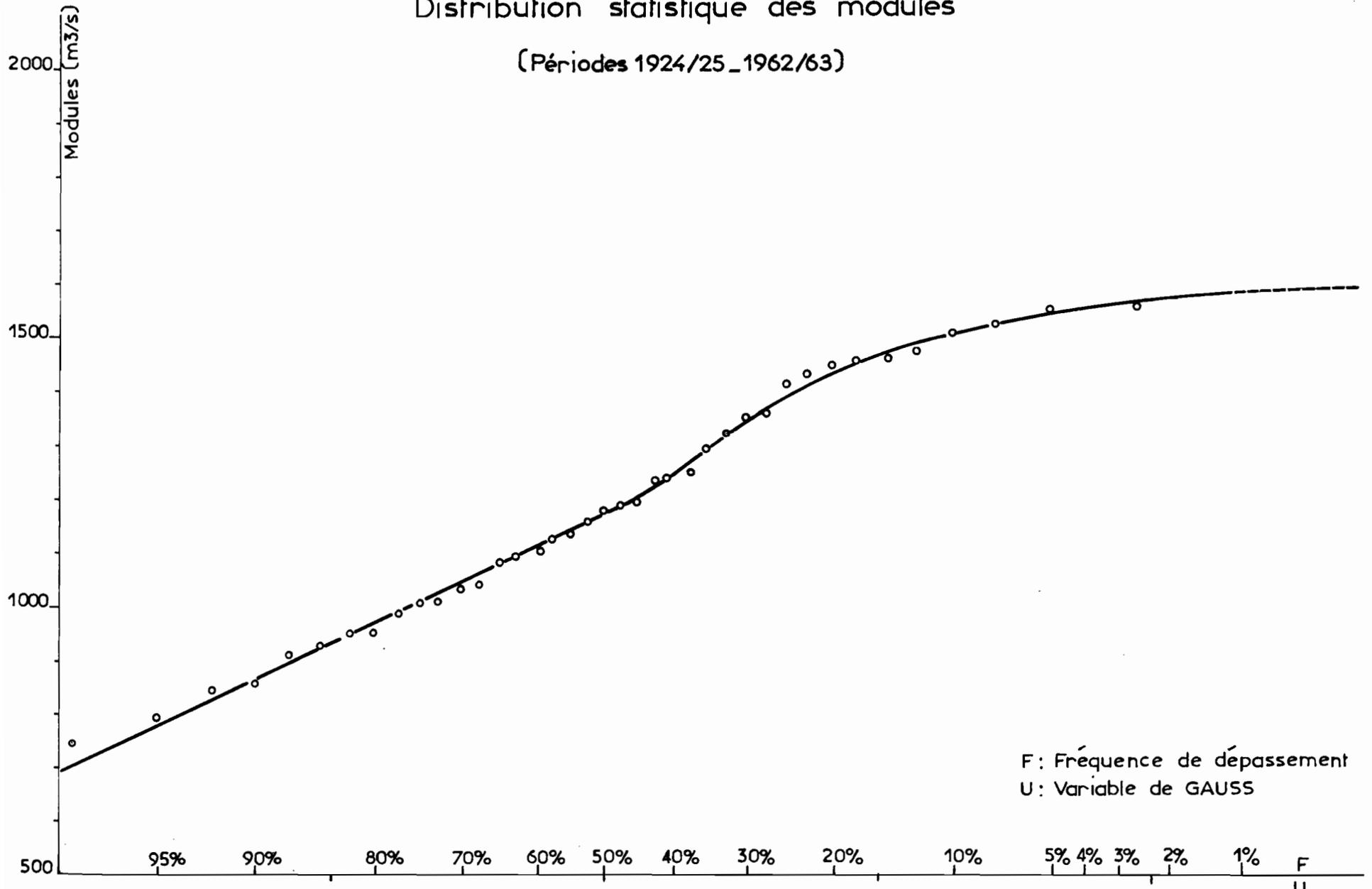
Classement		Fréquence de dépassement	Module	Variable de GAUSS
n	n'	F	(m3/s)	μ
39	1	0,975	744	- 1,96
38	2	0,95	794	- 1,64
37	3	0,925	843	- 1,44
36	4	0,900	860	- 1,28
35	5	0,875	909	- 1,15
34	6	0,850	929	- 1,04
33	7	0,825	950	- 0,93
32	8	0,800	956	- 0,84
31	9	0,775	990	- 0,75
30	10	0,750	1009	- 0,67
29	11	0,725	1011	- 0,60
28	12	0,700	1035	- 0,52
27	13	0,675	1042	- 0,45
26	14	0,650	1085	- 0,38
25	15	0,625	1095	- 0,32
24	16	0,600	1105	- 0,23
23	17	0,575	1127	- 0,19
22	18	0,550	1137	- 0,12
21	19	0,525	1160	- 0,06
20	20	0,500	1180	0,00
19	21	0,475	1190	+ 0,06
18	22	0,450	1196	0,12
17	23	0,425	1239	0,19
16	24	0,400	1244	0,23
15	25	0,375	1248	0,32
14	26	0,350	1297	0,38
13	27	0,325	1323	0,45
12	28	0,300	1356	0,52
11	29	0,275	1361	0,60
10	30	0,250	1414	0,67
9	31	0,225	1435	0,75
8	32	0,200	1448	0,84
7	33	0,175	1460	0,93
6	34	0,150	1466	1,04
5	35	0,125	1475	1,15
4	36	0,100	1510	1,28
3	37	0,075	1527	1,44
2	38	0,050	1554	1,64
1	39	0,025	1559	1,96

Gr. 79

Le NIGER à DIRÉ

Distribution statistique des modules

(Périodes 1924/25_1962/63)



On retiendra les valeurs suivantes :

- Module médian (F = 50 %) : 1180 m³/s
- Module décennal sec (F = 90 %) : 850 m³/s
- Module décennal humide (F = 10%) : 1500 m³/s

Les valeurs correspondantes des volumes annuels sont les suivantes :

- Volume médian : 37,2 x 10⁹ m³
- Volume décennal sec : 26,8 x 10⁹ m³
- Volume décennal humide : 47,3 x 10⁹ m³

Le coefficient d'irrégularité interannuelle s'élève à 1,77 à DIRE, au lieu de 1,61 à MOPTI, 1,89 à KOULIKORO et 1,62 à DOUNA. On voit donc que les débordements n'ont pas toujours un effet régulateur à l'échelle interannuelle, puisque le coefficient de DIRE est un peu supérieur à celui de MOPTI. Le régime hydraulique des fuites et des récupérations de débits entre ces deux stations est trop complexe et insuffisamment connu pour qu'on puisse analyser en détail son influence sur l'irrégularité des modules. Nous nous contenterons de constater un fait qui ressortait déjà du graphique de corrélation n° 71.

D - CRUES

Le sommet de la crue est toujours assez aplati à DIRE. Il est fréquent que pendant une quinzaine de jours le niveau se maintienne à 2 ou 3 cm près au voisinage du maximum. Ce méplat est d'ailleurs d'autant plus prolongé que la crue est forte.

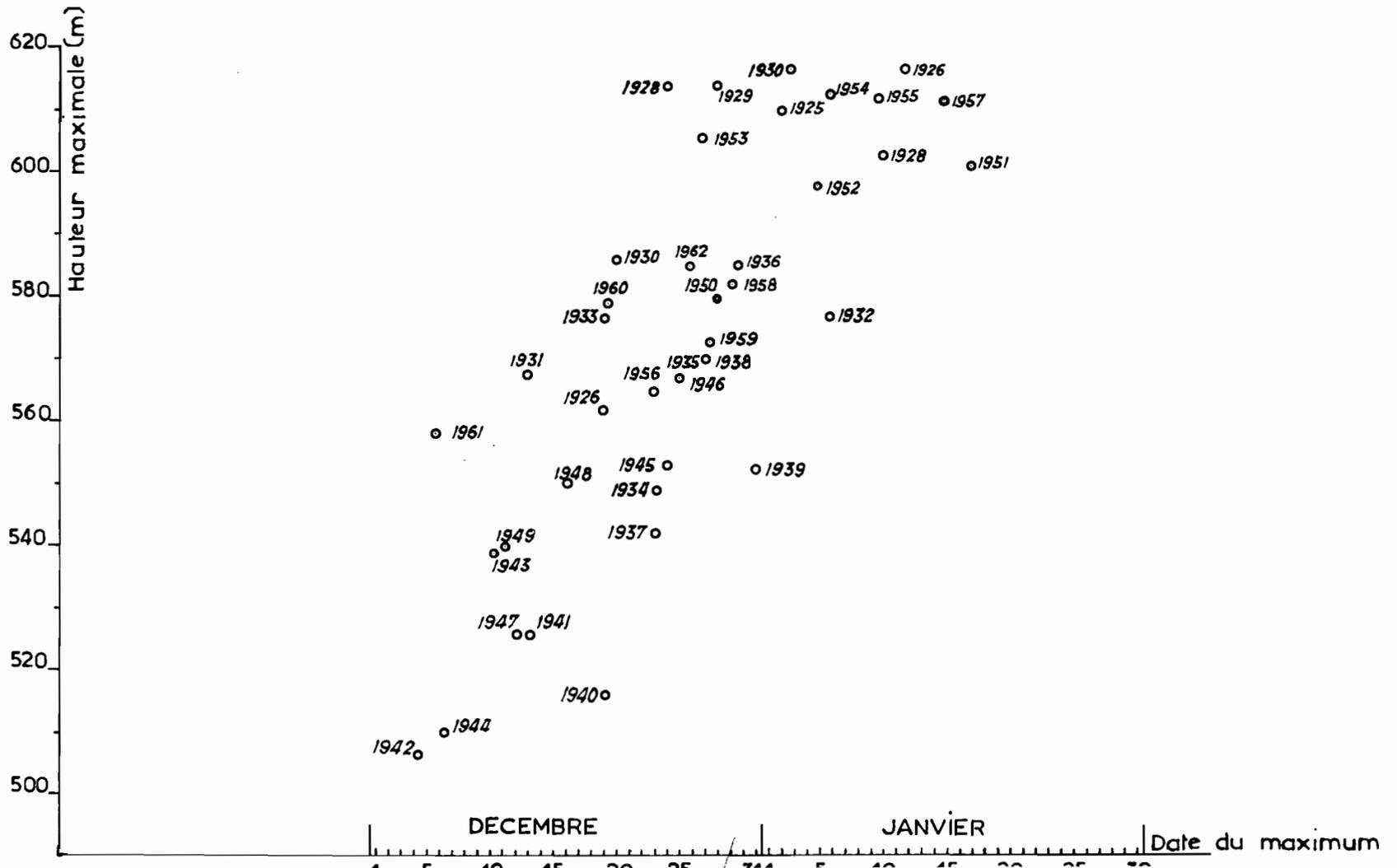
Plus de la moitié des pointes de crue observées se produisent dans la deuxième quinzaine de Décembre, comme on peut le voir sur le graphique n° 80. Les dates extrêmes ont été le 4 Décembre 1942 et le 17 Janvier 1952.

Les crues faibles sont généralement précoces, tandis que les fortes crues ont tendance à être tardives. Parmi les 39 crues observées, celles qui ont culminé avant le 15 décembre ont toutes été inférieures à 5,70 m, tandis que celles qui ont atteint leur maximum après le 1er Janvier ont toujours dépassé ce même niveau de 5,70 m.

Gr. 80

Le NIGER à DIRÉ

Hauteur et date moyenne des maximums de crue



L'étude statistique des maximums annuels est condensée dans le tableau VIII ci-après où l'on a fait apparaître à la fois les hauteurs et les débits de crues. L'étude statistique des crues se fait de façon classique en faisant intervenir seulement les débits, mais dans le cas présent, les débits sont assez peu précis et les hauteurs présentent un intérêt particulier car elles sont évidemment liées à l'extension des inondations et aux possibilités de culture.

Les graphiques 81 et 82 donnent en coordonnées gausso-linéaires les courbes de fréquence relatives respectivement aux débits et aux hauteurs d'eau. Ces deux courbes présentent naturellement une certaine analogie entre elles.

Pour les fréquences de dépassement supérieures à environ 40 %, elles peuvent être assimilées chacune à une droite de GAUSS. Pour les fréquences plus faibles, elles comportent, comme on l'a déjà vu en plusieurs autres occasions, une légère inflexion vers le haut, puis une tendance asymptotique vers l'horizontale. L'importance des débordements impose pratiquement un plafond au maximum des crues. Contrairement à ce que l'on constate pour la plupart des cours d'eau, la courbe de fréquence des débits de crues n'est pas "hypergaussique"; elle est "hypogaussique" en ce sens que les débits de fréquence rare sont nettement inférieurs à ceux que donnerait un ajustement de la loi de GAUSS. Nous n'avons d'ailleurs pas tenté d'ajuster une autre loi de fréquence théorique, estimant qu'un ajustement de cette sorte serait, dans le cas présent, très artificiel et n'aurait pas plus de valeur que l'ajustement purement graphique esquissé sur le graphique 81.

En définitive, on pourra retenir les valeurs approximatives qui suivent :

- Crue médiane (F = 50 %)	- hauteur =	5,73 m
	- débit =	2350 m ³ /s
- Crue décennale (F = 10 %)	- hauteur =	6,13 m
	- débit =	2650 m ³ /s
- Crue centenaire (F = 1 %)	- hauteur =	6,20 m
	- débit =	2700 m ³ /s
- Crue exceptionnelle	- hauteur =	6,25 m
	- débit =	2750 m ³ /s

Le graphique 83 montre qu'il existe une corrélation satisfaisante entre les hauteurs maximales de crue et les modules de DIRE. Le fait avait déjà été noté pour la station de MOPTI et s'explique par les mêmes raisons.

TABLEAU VIII

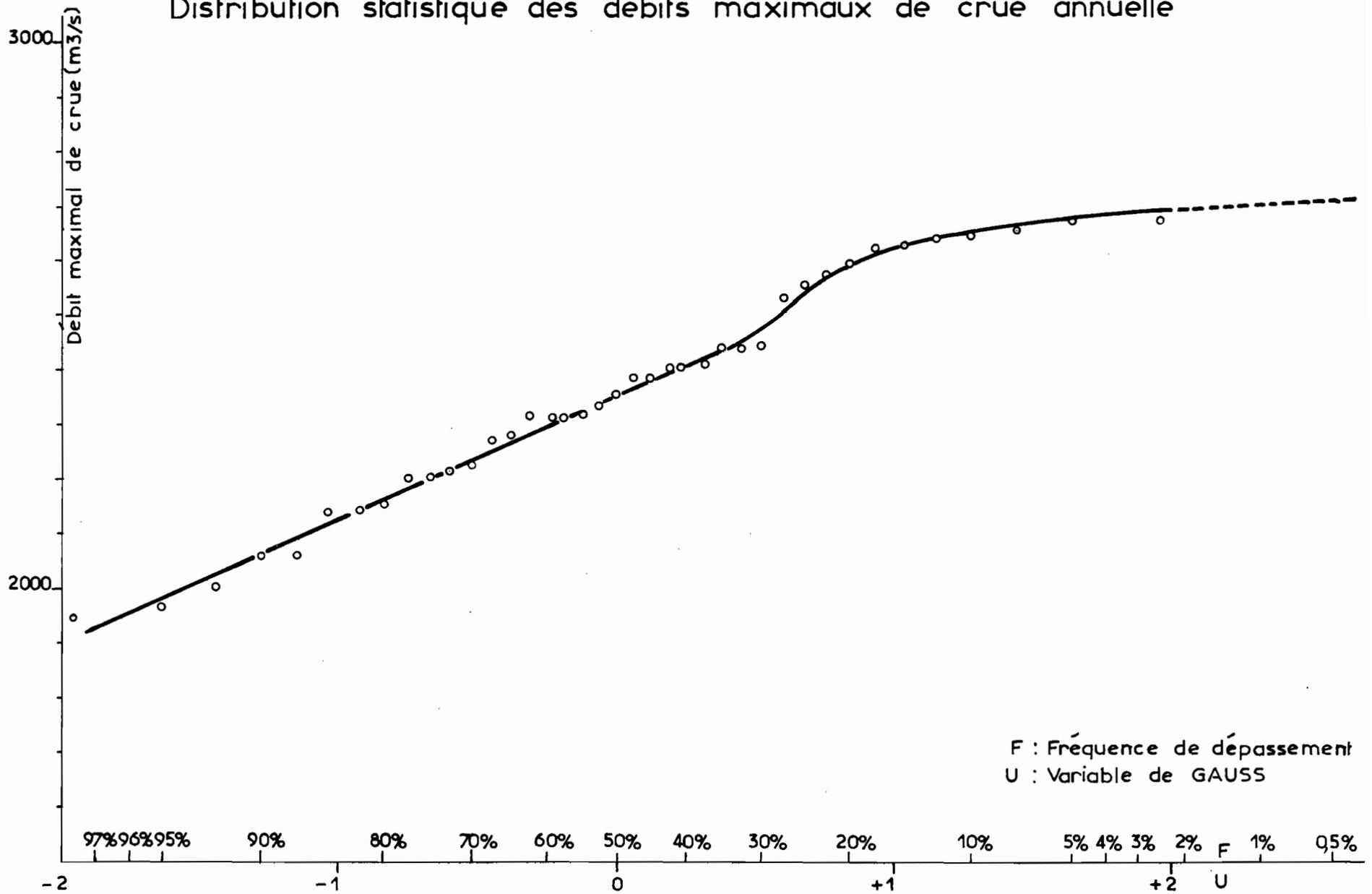
Le NIGER à DIRE

Etude statistique des maximums de crues annuelles
(1924/25 - 1962/63)

Classement		Fréquence de dépassement	Débit de crue annuelle	Hauteur de crue annuelle	Variable de GAUSS
n	n'	$F = \frac{n}{N+1}$	m ³ /s	m	μ
1	39(=N)	0,025	2675	6,17	+ 1,96
2	38	0,05	2675	6,17	1,64
3	37	0,075	2655	6,14	1,44
4	36	0,10	2645	6,13	1,28
5	35	0,125	2640	6,12	1,15
6	34	0,15	2630	6,11	1,04
7	33	0,175	2625	6,10	0,93
8	32	0,20	2595	6,06	0,84
9	31	0,225	2570	6,03	0,75
10	30	0,25	2555	6,01	0,67
11	29	0,275	2535	5,98	0,60
12	28	0,30	2445	5,86	0,52
13	27	0,325	2440	5,85	0,45
14	26	0,35	2440	5,85	0,38
15	25	0,375	2410	5,81	0,32
16	24	0,40	2405	5,80	0,23
17	23	0,425	2405	5,79	0,19
18	22	0,45	2385	5,77	0,12
19	21	0,475	2385	5,77	+ 0,06
20	20	0,50	2355	5,73	0,00
21	19	0,525	2335	5,70	- 0,06
22	18	0,55	2320	5,68	- 0,12
23	17	0,575	2315	5,67	- 0,19
24	16	0,60	2315	5,67	- 0,23
25	15	0,625	2315	5,65	- 0,32
26	14	0,65	2280	5,62	- 0,38
27	13	0,675	2270	5,59	- 0,45
28	12	0,70	2225	5,53	- 0,52
29	11	0,725	2215	5,52	- 0,60
30	10	0,75	2205	5,50	- 0,67
31	9	0,775	2200	5,49	- 0,75
32	8	0,80	2155	5,42	- 0,84
33	7	0,825	2145	5,40	- 0,93
34	6	0,85	2140	5,39	- 1,04
35	5	0,875	2060	5,26	- 1,15
36	4	0,90	2060	5,26	- 1,28
37	3	0,925	2000	5,16	- 1,44
38	2	0,95	1965	5,10	- 1,64
39	1	0,975	1945	5,07	- 1,96

NIGER à DIRÉ

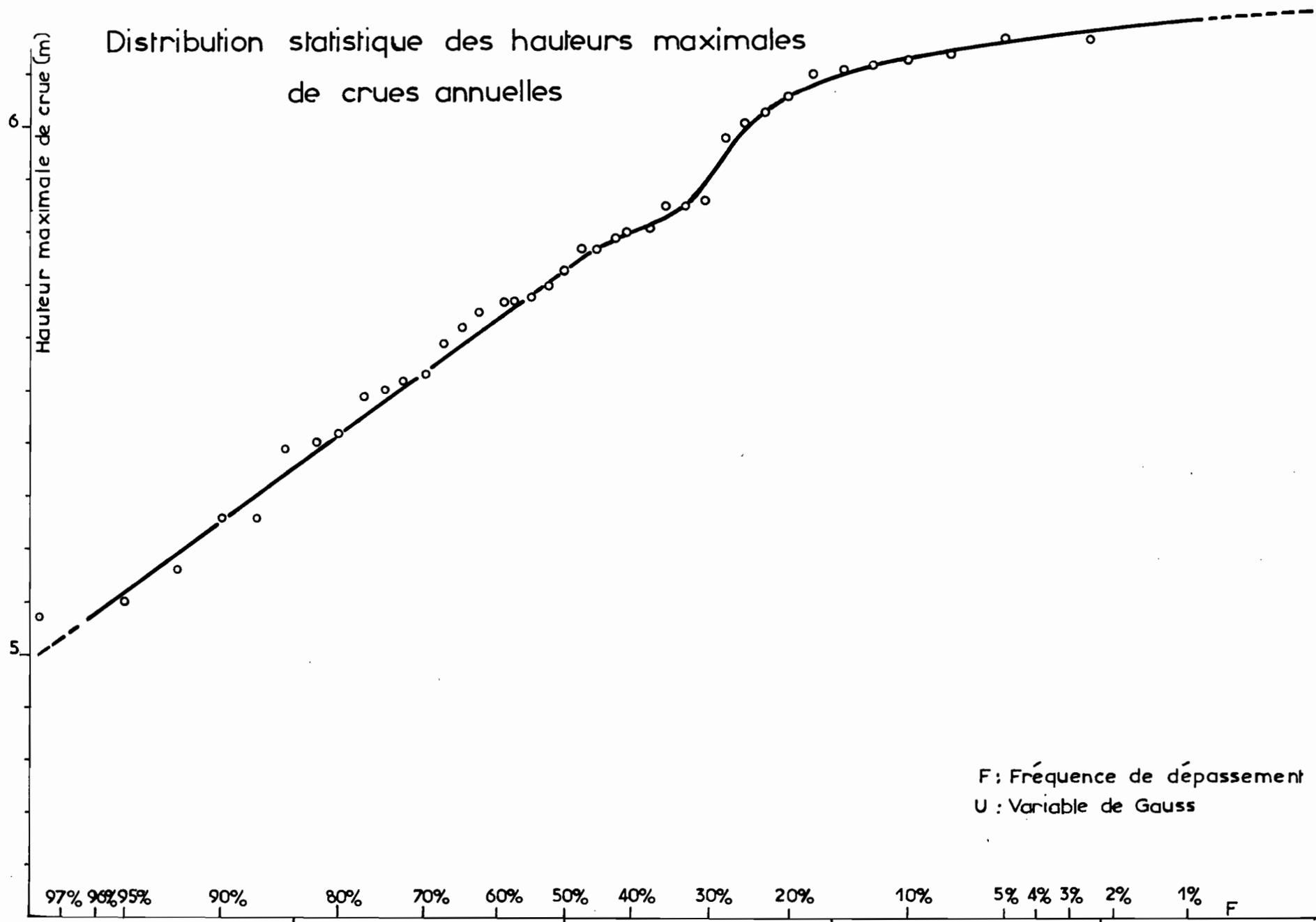
Distribution statistique des débits maximaux de crue annuelle



Gr. 82

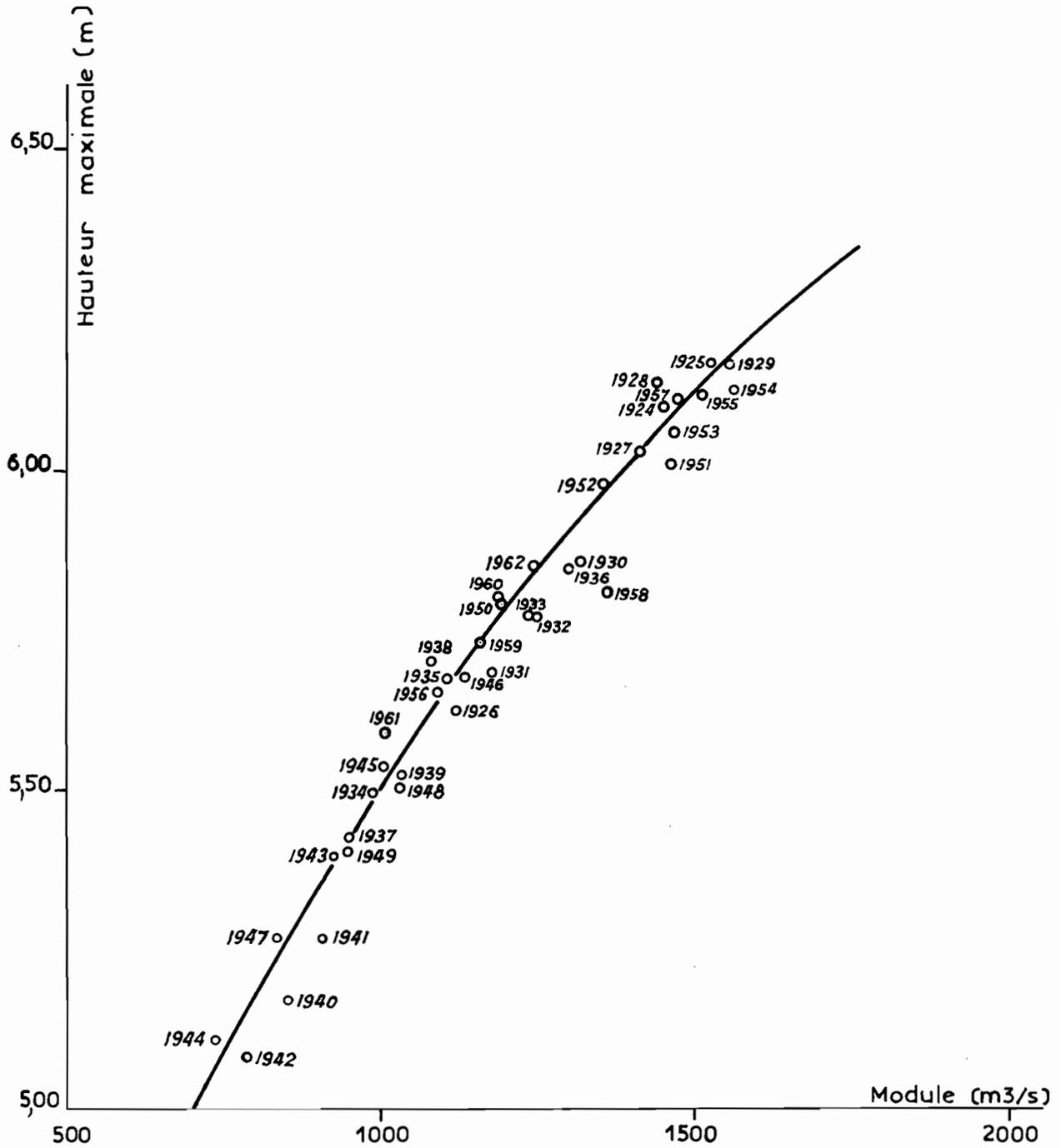
NIGER à DIRÉ

Distribution statistique des hauteurs maximales
de crues annuelles



NIGER à DIRÉ

Correlation hauteur maximale de crue/module



E - DECRUES

La baisse du niveau des eaux après le maximum annuel conditionne les cultures de décrue dans les zones progressivement exondées.

En 1962, J. HERBAUD a étudié en détail toutes les décrues observées à DIRE et a mis au point deux méthodes de prévision. Nous exposerons rapidement la première méthode qui s'appuie sur les relevés de KOULIKORO et de DIRE. Le processus est le suivant :

- a) On détermine la date J du maximum de la crue à DIRE. Ce jour J correspond au milieu de la période pendant laquelle le niveau des eaux s'est maintenu à sa valeur maximale, à 2 cm près.
- b) On recherche à quel type de décrue on doit s'attendre. On peut, en effet, distinguer trois types de décrue suivant la valeur respective des hauteurs d'eau à KOULIKORO (H_K) et à DIRE (H_D) au jour J.

- Décrue rapide : $H_K - \frac{1}{5} H_D < 64 \text{ cm}$

- Décrue moyenne : $64 \text{ cm} < H_K - \frac{1}{5} H_D < 95 \text{ cm}$

- Décrue lente : $95 \text{ cm} < H_K - \frac{1}{5} H_D$

- c) On utilise ensuite, suivant le type de décrue, l'un des trois tableaux IX, X et XI reproduits ci-après qui donnent, en fonction de H_D , le nombre de jours nécessaires à partir de la date J pour que le niveau des eaux descende jusqu'à différentes hauteurs à l'échelle de DIRE (500, 450, 400, 300 et 200 cm).

F - ETIAGES

La détermination des débits d'étiage est assez imprécise car en fin de décrue les vitesses d'écoulement deviennent trop faibles pour permettre des mesures satisfaisantes.

TABLEAU IX

Le NIGER à DIRE

Décrue du type A (Rapide)

H maximale à DIRE en cm	Temps de décrue jusqu'à la cote				
	500 cm	450 cm	400 cm	300 cm	200 cm
	jours	jours	jours	jours	jours
620	76	85	95	114	132
615	73	83	93	112	130
610	70	81	91	110	128
605	67	79	89	108	126
600	65	77	87	106	124
595	62	75	85	104	121
590	59	72	83	102	119
585	56	70	81	100	117
580	54	68	79	98	115
575	51	66	77	96	113
570	48	64	75	94	111
565	45	62	73	92	108
560	43	59	71	90	106
555	40	57	69	88	104
550	37	55	67	86	102
545	34	53	65	84	100
540	32	51	63	82	98
535	29	49	61	80	96
530	26	47	59	78	93
525	23	45	57	76	91
520	21	42	55	74	89
515	18	40	53	72	87
510	15	38	51	70	85
505	12	36	49	68	83
500	0	34	47	66	81

TABLEAU X

Le NIGER à DIRE

Décrue du type B (Moyenne)

H maximale à DIRE en cm	Temps de Décrue jusqu'à la cote				
	500 cm	450 cm	400 cm	300 cm	200 cm
	jours	jours	jours	jours	jours
620	80	90	100	118	137
615	77	88	98	116	135
610	74	85	96	114	132
605	71	83	94	112	130
600	68	81	92	110	128
595	65	78	89	108	126
590	62	76	87	106	124
585	59	74	85	104	122
580	56	71	83	102	119
575	53	69	81	100	117
570	51	67	79	98	115
565	48	64	76	96	113
560	45	62	74	93	111
555	42	60	72	91	109
550	39	57	70	89	106
545	36	55	68	87	104
540	33	53	65	85	102
535	30	50	63	83	100
530	27	48	61	81	98
525	24	46	59	79	96
520	21	43	57	77	93
515	18	41	55	75	91
510	15	39	52	73	89
505	12	36	50	71	87
500	0	34	48	69	85

TABLEAU XILe NIGER à DIREDécrue du type C (lente)

H maximale à DIRE (en cm)	Temps de décrue jusqu'à la cote				
	500 cm	450 cm	400 cm	300 cm	200 cm
	jours	jours	jours	jours	jours
620	85	95	107	125	146
615	81	93	105	123	144
610	78	90	103	121	142
605	75	88	100	119	139
600	72	86	98	117	137
595	69	83	96	115	135
590	66	81	94	113	133
585	63	78	91	111	130
580	60	76	89	109	128
575	57	74	87	107	126
570	54	71	85	105	124
565	51	69	82	103	121
560	48	66	80	101	119
555	45	64	78	99	117
550	41	61	76	97	114
545	38	59	73	95	112
540	35	57	71	93	110
535	32	54	69	91	108
530	29	52	67	89	105
525	26	49	64	87	103
520	23	47	62	85	101
515	20	45	60	82	99
510	17	42	58	80	96
505	14	40	55	78	94
500	0	37	53	76	92

La sévérité de l'étiage absolu dépend à la fois de l'ampleur de la crue précédente et de la date d'arrivée des premiers apports de la nouvelle saison des pluies. Il est donc pratiquement impossible de prévoir longtemps à l'avance la date et la hauteur de l'étiage absolu. Une année sur deux il se produit entre le 10 et le 20 Juin. Les dates extrêmes observées ont été le 16 Mai (en 1942) et le 13 Juillet (en 1950).

Le niveau de l'étiage absolu a varié entre des valeurs négatives mal connues (probablement entre - 0,15 et - 0,20 m en 1944, 1945 et 1948) et + 1,44 m en 1955. On s'attendrait à ce que l'étiage soit d'autant plus bas qu'il est tardif, mais en fait cette tendance est peu marquée.

En ce qui concerne la valeur des débits d'étiage absolus, elle paraît être assez voisine de celle de KOULIKORO, tout au moins pour les étiages moyens et forts. Au-dessous de 0,80 m l'étalonnage de l'échelle est inconnu et ne permet donc pas de comparaisons sûres.

C H A P I T R E XII

Le REGIME du MARIGOT de GOUNDAM à GOUNDAM

A - GENERALITES

Le marigot de GOUNDAM est essentiellement formé par la réunion des marigots de KONDI et de TASSAKANT qui sont eux-mêmes des effluents du NIGER se détachant du fleuve entre DIRE et TOMBOUCTOU.

La station de GOUNDAM sur le marigot du même nom est importante puisqu'elle voit passer la totalité des apports qui alimentent les lacs TELE et FAGUIBINE. Son régime hydrologique est étroitement lié à celui du NIGER à DIRE, les apports dûs au ruissellement local étant relativement très faibles.

On ne dispose que de seize années d'observations à peu près complètes et de quatre années d'observations lacunaires. La traduction des hauteurs d'eau en débits n'est pas très précise, surtout pour les années antérieures à la construction d'un pont qui, depuis 1950, a quelque peu modifié les conditions d'écoulement. Les basses eaux en particulier sont assez incertaines.

B - DEBITS MENSUELS (cf. Tableau VIII - a/en annexe)

Janvier est en général le mois le plus abondant avec une moyenne qui a varié entre 30 et 340 m³/s pendant la période d'observation. Ainsi la forte irrégularité interannuelle du régime apparaît immédiatement comme une de ses caractéristiques importantes. En valeur relative, l'irrégularité interannuelle est encore plus forte pendant les mois de basses eaux.

L'hydrogramme annuel n'est pas tout à fait symétrique, la montée des eaux en Août, Septembre et Octobre étant un peu plus lente que la décrue en Avril, Mai et Juin. Cet hydrogramme a une forme assez régulière et ne présente que rarement des petites pointes secondaires.

Il arrive presque chaque année que le débit du marigot s'annule complètement en Juillet et parfois même le lit reste, semble-t-il, à sec depuis Avril jusqu'en Août. Les valeurs des débits mensuels inférieures à $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le tableau VIII - a/sont cependant peu sûres et on ne devra les utiliser qu'avec prudence.

Bien que les débits du marigot de GOUNDAM proviennent du NIGER, il n'existe pas une corrélation étroite entre les débits mensuels de GOUNDAM et de DIRE. Il faut en chercher la raison dans la complexité des conditions de propagation et la lenteur du flot de débordement issu du NIGER à travers des chenaux multiples et sujets peut-être à des variations de fond assez importantes.

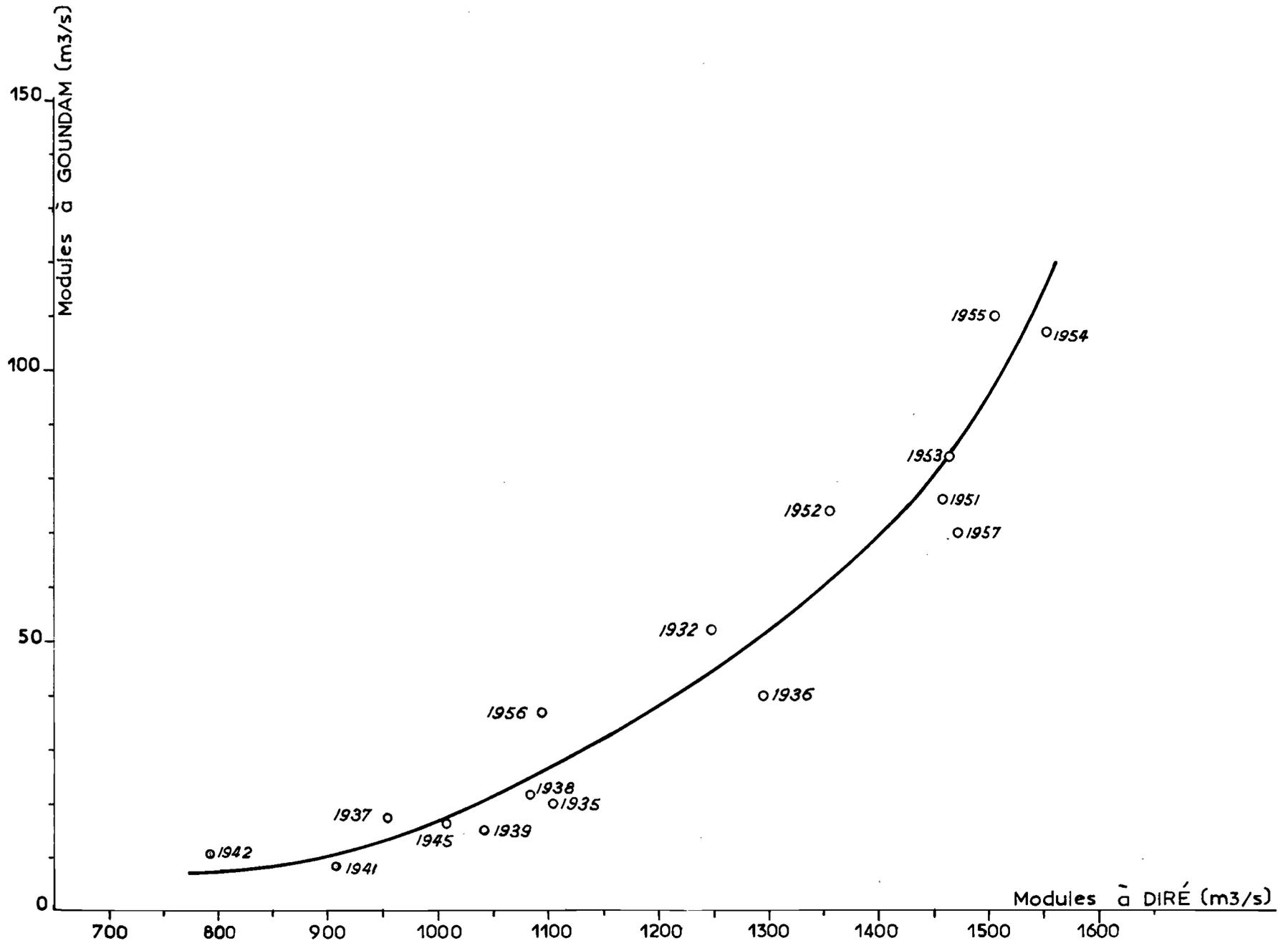
C - MODULES et VOLUMES ANNUELS

Les modules des seize années d'observations varient entre 8,7 et $110 \text{ m}^3/\text{s}$; leur moyenne est égale à $47 \text{ m}^3/\text{s}$. L'échantillon de modules annuels dont on dispose est insuffisant pour tenter une étude statistique analogue à celle que l'on a pu effectuer pour d'autres stations. Nous avons seulement essayé de trouver une corrélation entre les modules de GOUNDAM, d'une part, et les modules ou les hauteurs maximales de crue à DIRE, d'autre part.

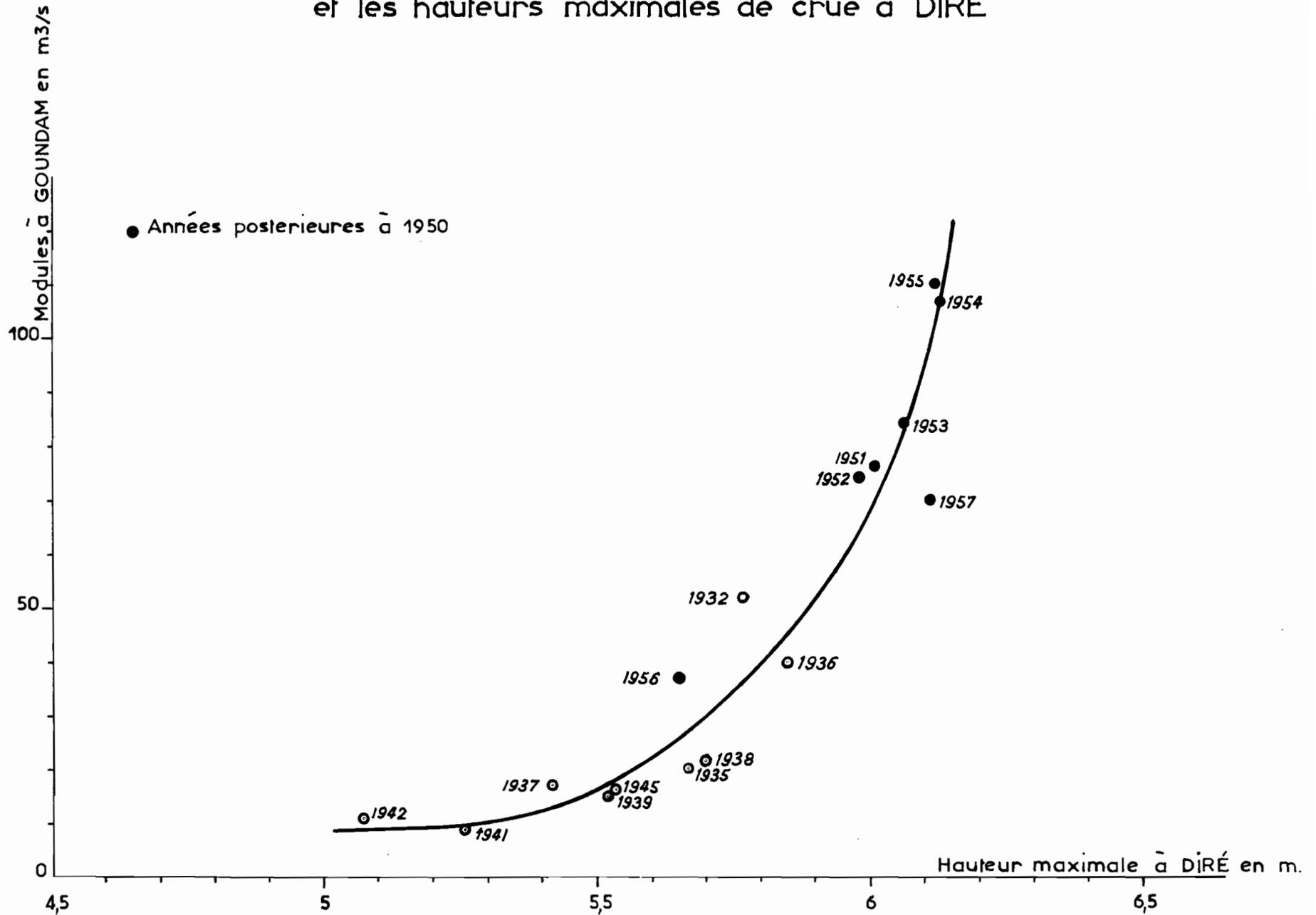
Le graphique 84 montre que la corrélation entre les modules est assez nettement marquée sans être extrêmement serrée. Elle est loin d'être linéaire. Les modules de GOUNDAM croissent d'abord lentement avec ceux de DIRE, puis augmentent au contraire beaucoup plus vite en valeur relative que ceux de DIRE.

La corrélation avec les hauteurs maximales de crue à DIRE n'est ni plus ni moins serrée que la précédente, mais son allure parabolique est encore plus accentuée (gr. 85). Il est peu probable de ce fait que les modules de GOUNDAM admettent une loi de fréquence gaussique du type classique. Il se pourrait qu'ils obéissent plutôt à une loi bi-modale. En effet, lorsque la crue du NIGER à DIRE reste assez faible, seuls les lits mineurs des marigots de KONDI et de TASSAKANT sont alimentés. Par contre, au-dessus d'une certaine hauteur de crue, les débordements du NIGER prennent une grande extension sur sa rive gauche, de sorte que le marigot de GOUNDAM reçoit d'importants apports supplémentaires par l'intermédiaire des plaines inondées de la région du KESSOU.

Correlation entre les modules à GOUDAM et DIRÉ



Relation entre les modules à GOUNDAM et les hauteurs maximales de crue à DIRÉ



Il est prématuré d'expliciter la double loi de fréquence des modules de GOUNDAM. Un rapide coup d'oeil sur l'échantillon des modules semble indiquer cependant que les années sèches ont un module moyen d'environ $15 \text{ m}^3/\text{s}$, tandis que les années abondantes admettraient un module moyen voisin de $75 \text{ m}^3/\text{s}$.

En s'appuyant sur les deux corrélations évoquées plus haut, on peut, à partir des données déjà établies pour DIRE, déterminer les modules de GOUNDAM correspondant à diverses fréquences :

- Module médian (F = 50 %) : $35 \text{ m}^3/\text{s}$ environ
- Module décennal humide (F = 10 %) : $100 \text{ m}^3/\text{s}$ environ
- Module décennal sec (F = 90 %) : $10 \text{ m}^3/\text{s}$ environ

Comme on l'a déjà remarqué précédemment, l'irrégularité interannuelle est très forte. Le rapport des modules décennaux humide et sec s'élève à 10, au lieu de 1,77 à DIRE.

Les valeurs des volumes annuels ressortent immédiatement de celles des modules :

- Volume annuel médian : $1,1 \times 10^9 \text{ m}^3$
- Volume décennal humide : $3,15 \times 10^9 \text{ m}^3$
- Volume décennal sec : $0,31 \times 10^9 \text{ m}^3$

D - CRUES -

C'est toujours en Janvier que l'on a observé le maximum de la crue annuelle, sauf au cours de l'année déficitaire 1942-43 où la crue a culminé le 21 Décembre. C'est même presque toujours entre le 5 et le 20 Janvier que le maximum se produit.

Il y a un décalage assez variable entre les maximums de DIRE et de GOUNDAM. Il est le plus souvent compris entre 8 et 18 jours, avec une valeur médiane de 15 jours. Il tend en général à décroître avec l'importance de la crue à DIRE et peut descendre jusqu'à 4 ou 5 jours et peut-être moins pour les très fortes crues. Il faut dire cependant que ce décalage n'est alors pas très bien défini, car le sommet de la crue de DIRE est très aplati et constitue pratiquement un palier.

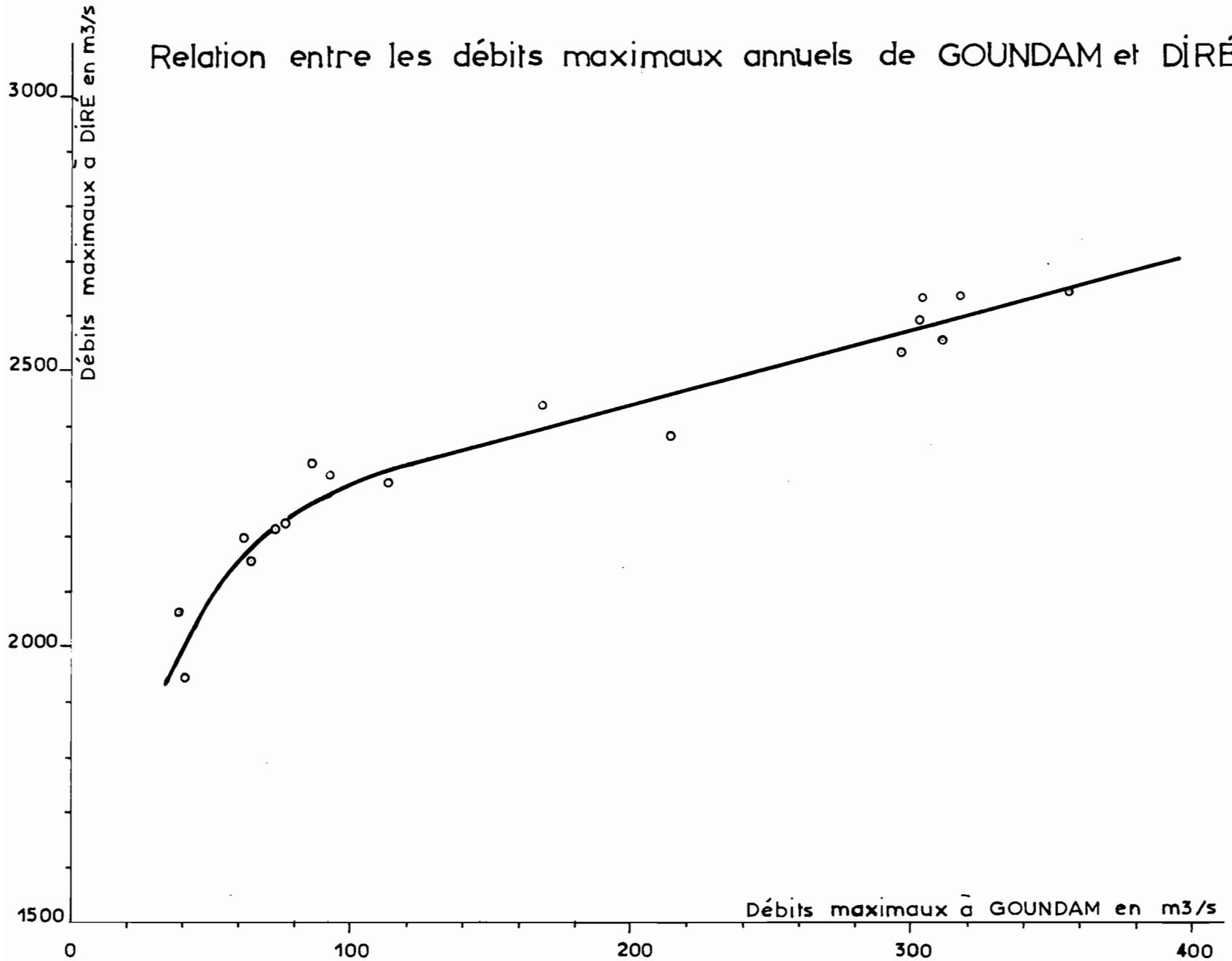
Il existe une corrélation assez serrée entre les débits maximaux annuels de DIRE et de GOUNDAM, comme le montre le graphique 86. Les débits de crue de GOUNDAM croissent d'abord assez lentement avec ceux de DIRE, puis l'augmentation s'accroît pour garder ensuite une valeur sensiblement constante (corrélation linéaire). Le gradient de croissance est alors de 100 m³/s à GOUNDAM pour 135 m³/s à DIRE.

Comme celui des modules, l'échantillon des débits de crue est insuffisant pour qu'on en étudie la distribution statistique. Un rapide examen montre toutefois que cette distribution présente une nette hétérogénéité de structure et pourrait sans doute être assimilée à deux lois de fréquence superposées admettant respectivement comme valeurs médianes 70 et 300 m³/s environ.

La corrélation de la figure 86 nous permet de déterminer les maximums de crue de GOUNDAM de fréquences données à partir de ceux de DIRE. On obtient les résultats suivants :

- Crue médiane (F = 50 %)	:	135 m ³ /s
- Crue décennale (F = 10 %)	:	360 m ³ /s
- Crue centenaire (F = 1 %)	:	400 m ³ /s

Relation entre les débits maximaux annuels de GOUNDAM et DIRÉ



C H A P I T R E XIII

BILAN d'ECOULEMENT de la CUVETTE LACUSTRE

=====

A - GENERALITES -

Nous ne reprendrons pas ici la comparaison entre les modules ou les volumes annuels écoulés aux différentes stations de la Cuvette Lacustre, puisque cette comparaison a déjà été donnée dans les chapitres précédents et a fait l'objet de multiples graphiques :

- gr. 59 : comparaison des volumes annuels de KE-MACINA, KIRANGO et KOULIKORO
- " 63 : " des modules de TILEMBEYA et KOULIKORO
- " 67 : " " " de KARA et TILEMBEYA
- " 68 : " " " de MOPTI et KOULIKORO
- " 69 : " " " de MOPTI et TILEMBEYA
- " 70 : " " " de MOPTI et DOUNA
- " 71 : " " " de MOPTI et DIRE
- " 78 : " " " de DIRE et KOULIKORO
- " 84 : " " " de GOUNDAM et DIRE

Nous chercherons surtout à évaluer les énormes pertes d'eau qui se produisent dans la Cuvette Lacustre du fait essentiellement de l'évapotranspiration et peut-être accessoirement de certaines infiltrations profondes. Nous essayerons également d'évaluer les quantités d'eau qui chaque année sont stockées dans les plaines de débordement puis partiellement restituées au fleuve. Enfin, nous tenterons de chiffrer par un coefficient simple l'effet régularisateur produit par les débordements sur le régime du NIGER.

Les stations de référence que nous utiliserons seront celles de KOULIKORO et DOUNA pour les "débits entrants" et celle de DIRE pour les "débits sortants". Nous avons choisi DIRE faute de données satisfaisantes à TOSSAYE, mais ce faisant, notre étude laissera de côté les apports dérivés par le marigot de GOUNDAM vers le système des lacs TELE-FAGUIBINE ainsi que les débordements dans la région du KESSOU.

B - PERTES ANNUELLES -

Le tableau XII ci-après donne année par année les pertes de la Cuvette Lacustre, calculées en faisant simplement la différence entre les apports de KOULIKORO et de DOUNA totalisés d'une part, et ceux de DIRE d'autre part. On a cependant tenu compte du temps de propagation de la crue et considéré une année hydrologique légèrement différente pour les stations amont (Mai-Avril) et pour la station aval (Juillet-Juin).

On constate que sur quatorze années les pertes oscillent entre 26 et 54 milliards de m³/an, soit une variation voisine du simple au double suivant l'abondance de l'année. Il existe une corrélation assez satisfaisante entre les pertes annuelles (P) et les apports totaux (A) mesurés à KOULIKORO et DOUNA. Cette corrélation est pratiquement linéaire et peut s'exprimer par la relation suivante :

$$P = 0,6 A - 10 \quad (10^9 \text{ m}^3/\text{an})$$

tout au moins pour les valeurs de A inférieures à 95 milliards de m³. Lorsque les apports dépassent cette valeur les pertes semblent augmenter beaucoup plus rapidement que ne l'indique la relation linéaire. De ce fait, si les apports qui entrent dans la Cuvette Lacustre sont largement excédentaires, ils ne profitent guère à la station de DIRE. On a d'ailleurs déjà vu au chapitre XI que les forts modules de DIRE tendaient à plafonner vers 1600 m³/s.

On peut admettre qu'en année moyenne les pertes s'élèvent à 32,5 milliards de m³ environ. En années exceptionnellement abondantes, elles doivent atteindre et peut-être dépasser 60 milliards de m³. Au contraire, en années extrêmement sèches, comme 1913 et 1914, il est probable que les pertes ont été comprises entre 15 et 17,5 milliards de m³ seulement. Cet important déficit par rapport à la normale donne une idée de la gravité des famines engendrées par ces deux années sèches consécutives.

C - PERTES et STOCKAGE MENSUELS -

Si pour une année donnée on fait mois par mois la différence entre les apports totalisés de KOULIKORO et de DOUNA d'une part, et ceux de DIRE d'autre part, on obtient les quantités d'eau globales qui ont été soit perdues par évapotranspiration, soit stockées dans les plaines de débordement.

T A B L E A U XII

Pertes annuelles dans la Cuvette Lacustre
(10⁹ m³)

Année	Apports annuels (10 ⁹ m ³)			Pertes annuelles (10 ⁹ m ³) A + B - C
	KOULIKORO A	DOUNA B	DIRE C	
1924-25	69,7	29,9	45,6	<u>54,0</u>
25-26	74,6	24,9	48,2	<u>51,3</u>
26-27	53,1	13,2	35,5	30,8
27-28	62,3	24,8	44,7	42,4
28-29	68,4	26,7	45,2	49,9
1931-32	55,2	20,9	37,3	38,8
1950-51	47,8	21,4	37,5	31,7
51-52	67,3	25,2	46,2	46,3
52-53	51,6	26,0	42,8	34,8
53-54	62,6	26,5	46,2	42,9
54-55	65,9	28,8	49,2	45,5
55-56	64,7	27,6	47,7	44,6
56-57	42,7	17,9	34,5	<u>26,1</u>
57-58	66,2	25,9	46,5	<u>45,6</u>

Moyennant quelques hypothèses assez grossièrement approximatives, on peut départager les pertes et les stockages mensuels. On admettra :

- 1 - Que la superficie S des terres inondées, nulle jusqu'à une hauteur de 1 m à l'échelle de DIRE, croît ensuite comme le carré de la hauteur d'eau H_D à cette même échelle. Autrement dit :

$$S = k (H_D - 1)^2$$

H_D étant exprimée en mètres.

- 2 - Que l'évaporation mensuelle E des plaines de débordement peut être déterminée à partir des résultats obtenus sur le bac Colorado de M'BOUNA (voir Chapitre IV), en leur appliquant un coefficient de correction de 0,85.
- 3 - Que la pluviométrie annuelle sur les plaines d'inondations est de 400 mm en moyenne et que les précipitations mensuelles P sont intermédiaires entre celles des postes pluviométriques de MOPTI et NIAFUNKE (voir chapitre IV).
- 4 - Que l'on peut déterminer des coefficients de pertes mensuelles, exprimés en pour cent, et proportionnels au produit $S \times (E - P)$ de chaque mois.

Ces hypothèses conduisent aux résultats contenus ci-après dans le tableau XIII, qui a lui-même permis d'établir le tableau XIV où sont présentées les données obtenues pour quatre années assez typiques.

On voit que les pertes par évapotranspiration sont maximales en Novembre, époque à laquelle les débordements sont presque à leur plus haut niveau, l'évaporation très forte et les précipitations nulles. Les pertes de Novembre sont comprises entre 5 et 10 milliards de m^3 et représentent à elles seules presque 20 % des pertes annuelles. Pendant le semestre qui s'étend du 1er Octobre au 31 Mars, les pertes atteignent près de 90 % du total annuel.

C'est généralement en Septembre que le fleuve déverse la plus grande quantité d'eau dans les plaines d'inondation. Pendant ce mois, en effet, la crue annuelle bat son plein à KOULIKORO, tandis qu'elle en est encore à ses débuts à DIRE. C'est en Octobre ou Novembre que le volume total accumulé dans la Cuvette Lacustre atteindrait sa plus forte valeur. Celle-ci pour les quatre années étudiées varie entre 30 et 56 milliards de m^3 et reste assez voisine du montant des pertes annuelles.

En ce qui concerne les stockages cumulés, on remarquera sur le tableau XIV que les cycles annuels ne sont pas parfaitement bouclés car on ne retombe pas sur des valeurs rigoureusement nulles pour le dernier mois de l'année hydrologique. Cela tient à différentes raisons :

TABLEAU XIII

Détermination des coefficients de pertes mensuelles

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Hauteur moyenne à DIRE H_D (m)	1,0	2,4	4,0	4,75	5,35	5,75	6,0	5,95	5,55	4,75	3,4	1,85
Surface inondée à un facteur près $S/k = (H_D - 1)^2$	0	1,9	9	14	19	22,5	25	24,5	21	14	5,8	0,75
Evaporation mensuelle des zones inondées E (mm)	240	210	145	150	180	180	140	120	130	170	200	240
Précipitations mensuelles P (mm)	33	113	145	84	10	0	0	0	0	0	3	12
E - P (mm)	207	97	0	66	170	180	140	120	130	170	197	228
$S/k \times (E - P)$	0	185	0	925	3230	4050	3500	2940	2730	2380	1140	170
Coefficient de pertes mensuelles (%)	0	1	0	4,5	15	19	16,5	14	13	11	5,5	0,5
Coefficient de pertes cumulées (%)	0	1	1	5,5	20,5	39,5	56	70	83	94	99,5	100

TABLEAU XIV

Evaluation des pertes et stockage d'eau mensuels
dans la Cuvette Lacustre

Année		J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1924-25	a : Débit KOULIKORO m ³ /s	235	1883	5093	7344	7088	2616	1069	546	272	134	72	88
	b : " DOUNA "	32	379	1840	3028	(3700)	1596	416	187	112	68	46	40
	c : " DIRE "	(75)	255	1038	1891	2096	2397	2584	2486	2135	1505	819	293
	d : a + b - c "	(192)	2007	5895	8481	(8690)	1414	-1099	-1753	1751	-1303	-701	-165
	Pertes et stockage (10 ⁹ m ³ /mois)	(0,5)	5,4	15,8	22,0	23,3	4,7	-2,9	-4,7	-4,2	-3,5	-1,8	-0,4
	Pertes "	0	0,5	0	2,4	8,1	10,3	8,9	7,6	7,0	5,9	3,0	0,3
	Stockage "	0,5	4,9	15,8	19,6	15,2	-5,6	-11,8	-12,3	-11,2	-9,4	-4,8	-0,7
	Pertes cumulées (10 ⁹ m ³)	0	0,5	0,5	2,9	11,0	21,3	30,2	37,8	44,8	50,7	53,7	54,0
	Stockage cumulé "	0,5	5,4	21,2	40,8	56,0	50,4	38,6	26,3	15,1	5,7	0,9	(0,2)
	1927-28	a	291	1564	3230	5651	6234	4107	1332	617	286	120	61
b		51	214	1181	2780	2594	1611	639	287	170	98	50	30
c		73	273	912	1540	1949	2242	2483	2535	2149	1567	877	314
d : a + b - c		269	1505	3499	6891	6879	3476	-512	-1631	1693	-1349	-766	-153
Pertes et stockage		0,7	4,0	9,4	17,8	18,4	9,0	-1,4	-4,4	-4,1	-3,6	-2,0	-0,4
Pertes		0	0,4	0	1,9	6,3	8,1	7,0	6,0	5,5	4,7	2,3	0,2
Stockage		0,7	3,6	9,4	15,9	12,1	0,9	-8,4	-10,4	-9,6	-8,3	-4,3	-0,6
pertes cumulées		0	0,4	0,4	2,3	8,6	16,7	23,7	29,7	35,2	39,9	42,2	42,4
stockage cumulé		0,7	4,3	13,7	29,6	41,7	42,6	34,2	23,8	14,2	5,9	1,6	(1,0)

CUVETTE LACUSTRE

Pertes annuelles en fonction des apports de l'amont

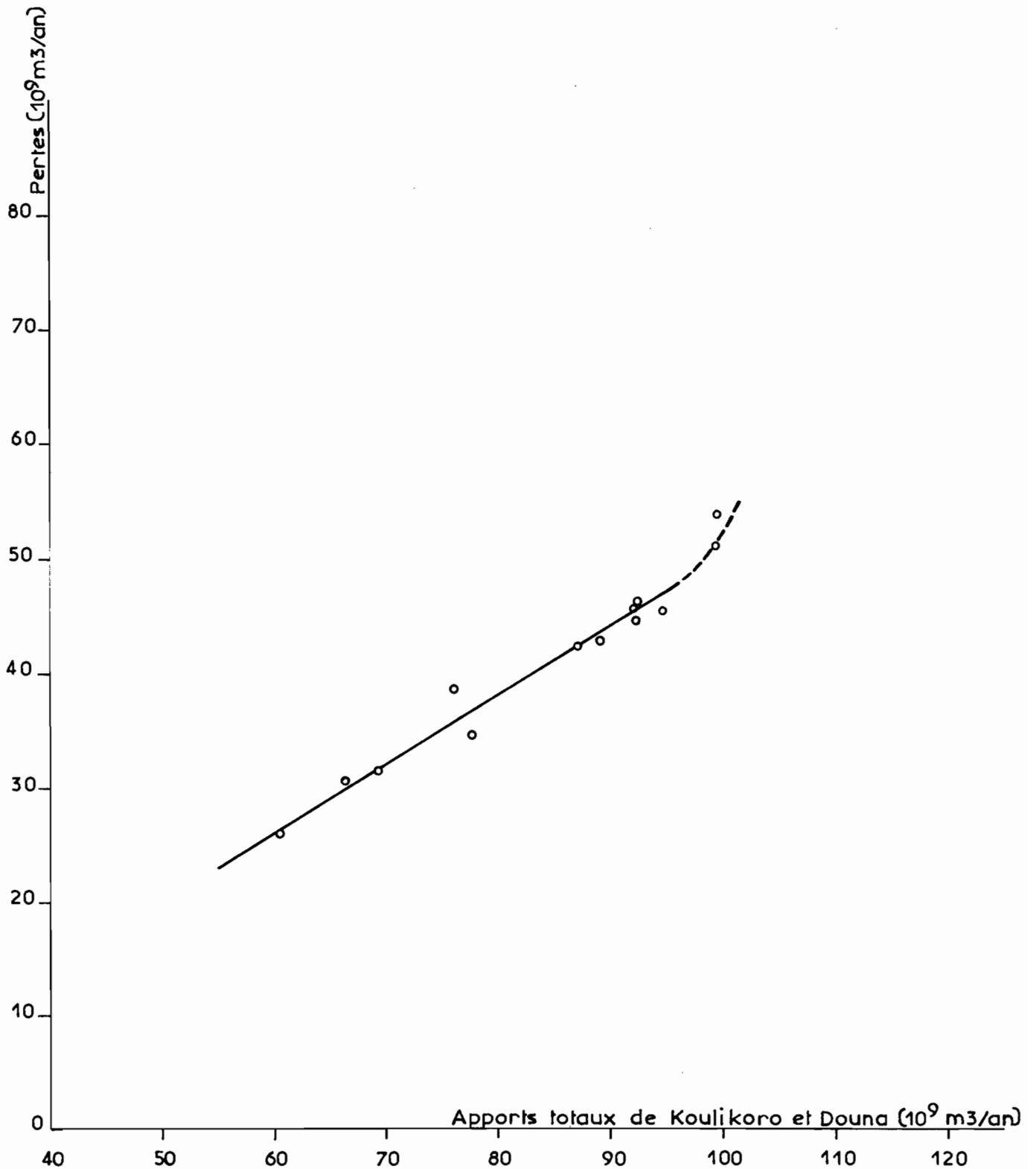


TABLEAU XIV (suite)

Année		J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1954-55	a	642	1947	4284	6127	5148	3280	1674	760	432	289	207	222
	b	69	289	1504	3164	2944	1768	692	283	167	107	71	46
	c	169	593	1236	1769	2102	2363	2570	2582	2242	1677	980	431
	d : a + b - c	542	1643	6552	7522	5990	2685	- 204	-1539	-1643	-1281	- 702	-163
	Pertes et stockage	1,4	4,4	17,6	19,5	16,0	7,0	- 0,5	- 4,1	- 4,0	- 3,4	- 1,8	-0,4
	pertes	0	0,45	0	2,05	6,8	8,7	7,5	6,3	6,0	5,0	2,5	0,2
	stockage	1,4	3,95	17,6	17,45	9,2	-15,7	- 8,0	-10,4	-10,0	- 8,4	- 4,3	-0,6
	pertes cumulées	0	0,45	0,45	2,5	9,3	18,0	25,5	31,8	37,8	42,8	45,3	45,5
	stockage cumulé	1,4	5,35	22,95	40,4	49,6	33,9	25,9	15,5	5,5	- 2,9	- 7,2	-7,8
	1956-57	a	198	980	2272	4807	4561	1733	769	394	186	108	56
b		41	64	791	2171	1995	835	312	148	91	59	36	31
c		89	186	786	1433	1870	2136	2276	1931	1384	781	252	66
d : a + b - c		150	858	2277	5545	4686	432	-1195	-1389	-1107	- 614	-160	+ 36
Pertes et stockage		0,4	2,3	6,1	14,3	12,5	1,1	- 3,2	- 3,7	- 2,7	-1,65	-0,4	0,1
Pertes		0	0,25	0	1,2	3,9	5,0	4,3	3,65	3,4	2,9	1,4	0,1
stockage		0,4	2,05	6,1	13,1	8,6	-6,1	- 7,5	-7,35	- 6,1	-4,55	-1,8	0
Pertes cumulées		0	0,25	0,25	1,45	5,35	10,35	14,65	18,3	21,7	24,6	26,0	26,1
Stockage cumulé		0,4	2,45	8,55	21,65	30,25	24,15	16,65	9,3	3,2	-1,35	-3,15	-3,15

- choix d'une année hydrologique allant de Juin à Mai, c'est-à-dire intermédiaire entre celle de KOULIKORO et DOUNA (Avril à Mai) et celle de DIRE (Juillet à Juin).
- possibilité d'un stockage résiduel non rigoureusement identique en début et fin d'année hydrologique ;
- détermination assez grossière des coefficients de pertes mensuelles, l'évaluation des surfaces inondées étant particulièrement imprécise.

Il est possible que les pertes aient été un peu sous-estimées d'Août à Novembre et au contraire légèrement surestimées de Décembre à Mars. Il en résulterait des erreurs inverses sur les stockages mensuels, ce qui expliquerait que les stockages cumulés aient quelquefois en Mai des valeurs négatives non négligeables.

Les conditions d'écoulement dans la Cuvette Lacustre sont trop complexes et insuffisamment connues dans le détail pour que nous nous hasardions à donner des indications tant soit peu précises sur la répartition géographique des pertes et stockages d'eau. Nous nous contenterons de remarquer que la région située au Nord de l'axe TILÉMBEYA-MOPTI et au Sud de DIRE est la plus importante et la plus caractéristique de la Cuvette Lacustre avec son réseau compliqué de lacs plus ou moins interconnectés et son lacs de "mayos" alimentant de vastes plaines en contrebas du fleuve.

La Mésopotamie NIGER-BANI, c'est-à-dire la région comprise entre les deux cours d'eau en amont de leur confluent et au Nord-Est de l'axe BENENI-TILÉMBEYA, a un caractère assez particulier. Elle est sillonnée par un réseau dense de "mayos" qui semblent avoir en général un écoulement dirigé en gros vers le Nord et être alimentés davantage par le BANI que par le NIGER. On a vu (chapitre IV - 1ère Partie) qu'entre BENENI-KEGNY et SOFARA, le BANI perdait en année médiane un peu plus de trois milliards de m³, soit 17 % de ses apports annuels. On ignore complètement les pertes que subit le BANI entre SOFARA et MOPTI, mais il est probable qu'elles sont encore assez lourdes.

D - COEFFICIENT de REGULARISATION -

Il a paru intéressant de caractériser par un coefficient simple l'effet de régularisation des débits provoqué par les débordements du fleuve et d'étudier les variations de ce coefficient d'une station à l'autre et d'une année à l'autre.

Nous avons adopté comme coefficient de régularisation le rapport $k = \frac{\bar{v}}{V}$ en désignant par :

- v : la capacité d'un réservoir fictif qui serait nécessaire pour assurer une régularisation intégrale des apports, c'est-à-dire tel que le débit à une station donnée pourrait être maintenu douze mois sur douze constant et égal au module de l'année hydrologique considérée ;
- V : le volume total des apports pendant l'année et à la station considérées.

Le volume v se détermine assez rapidement au moyen d'une construction graphique simple faisant intervenir la courbe des volumes mensuels cumulés.

Le coefficient de régularisation peut varier entre 0 et 1, Une valeur de k nulle correspondrait à un régime idéal parfaitement uniforme pendant toute l'année. Une valeur égale à 1 signifierait au contraire que le régime est le plus irrégulier qui puisse se concevoir, les apports annuels survenant sous la forme d'une brusque impulsion, autrement dit d'une crue énorme de durée extrêmement brève.

Nous avons calculé les coefficients k pour les années comprises entre 1940 et 1960 (sauf lacunes d'observations) et pour les stations de KOULIKORO, KIRANGO, KE-MACINA, TILEMBEYA, MOPTI et DIRE.

Le tableau XV, qui résume les calculs, permet différentes constatations :

- 1 - Le volume V tend à diminuer progressivement de l'amont vers l'aval, avec toutefois une accélération de la décroissance entre KE-MACINA et TILEMBEYA (prélèvements du DIAKA), une remontée assez sensible entre TILEMBEYA et MOPTI (apports du BANI) et enfin un palier plus ou moins net entre MOPTI et DIRE. (En fait, nous répètons ici très brièvement ce qui a déjà été exposé dans les chapitres consacrés à l'étude du régime aux différentes stations).
- 2 - Le volume v tend également à diminuer de l'amont vers l'aval, sauf entre TILEMBEYA et MOPTI. Ce qui tend également à diminuer de façon très nette vers l'aval, c'est l'écart entre les valeurs extrêmes observées aux différentes stations, comme on peut le voir ci-dessous:

Station	KOULIKORO	KIRANGO	KE-MACINA	TILEMBEYA	MOPTI	DIRE
Valeurs extrêmes de v (10^9 m^3)	15,4	-	-	9,3	(11,6)	10,4
	32,9	(29,8)	(35,0)	17,7	16,8	13,8

TABLEAU XV

Coefficients de régularisation

Année	KOULIKORO			KIRANGO			KE-MACINA		
	V	v	k	V	v	k	V	v	k
1940-41	37,1	18,1	0,489						
41-42	39,2	19,8	0,507						
42-43	31,5	15,4	0,488						
43-44	37,5	20,1	0,535						
44-45	31,4	16,8	0,537						
45-46	39,2	21,6	0,551						
46-47	48,5	25,5	0,526						
47-48	40,1	22,2	0,554						
48-49	53,1	27,8	0,524						
49-50	43,6	23,8	0,545						
1950-51	47,9	25,1	0,524	44	23,4	0,533			
51-52	67,4	31,8	0,472	61,7	28,9	0,469			
52-53	51,7	25,5	0,494	48	24,2	0,504	46,2	21,7	0,469
53-54	62,7	30,0	0,479	57,1	27,2	0,477	54,5	23,9	0,438
54-55	66,0	28,1	0,426	60,7	26,5	0,437	59,0	24,4	0,413
55-56	64,7	30,8	0,477	59,4	28,3	0,476	56,8	35,0	0,441
56-57	42,8	21,3	0,496	39,3	19,5	0,495	38,9	18,5	0,475
57-58	66,4	32,9	0,496	60	29,8	0,497	56,6	25,5	0,450
58-59	48,9	18,9	0,387						
59-60	48,5	23,6	0,485						

V = volume écoulé annuellement (10^9 m³)

v = capacité du réservoir nécessaire pour une régularisation totale (10^9 m³)

k = $\frac{v}{V}$ coefficient de régularisation

Gr-88

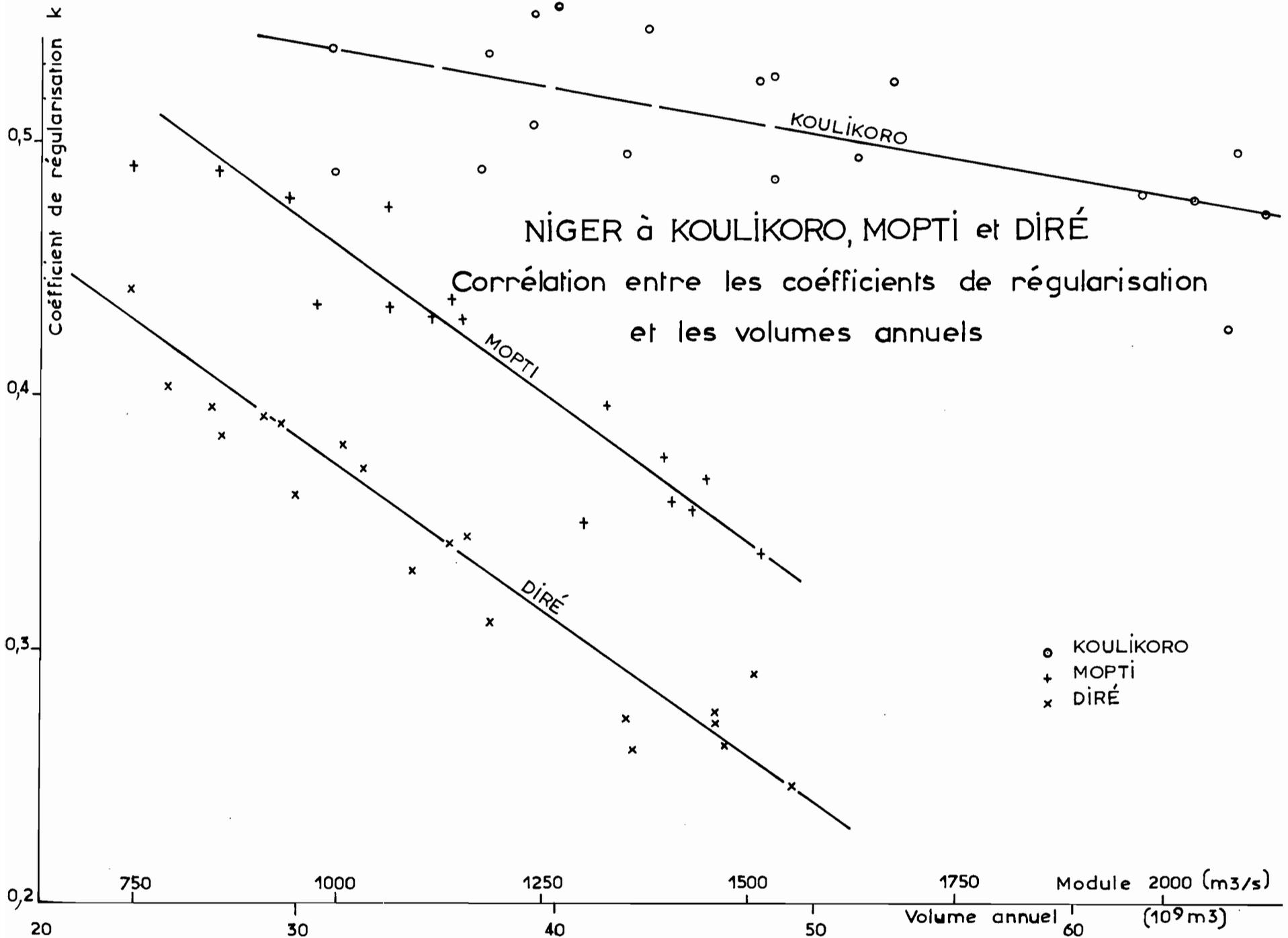


TABLEAU XV (Suite)

Coefficients de régularisation

Année	TILEMBEYA			MOPTI			DIRE		
	V	v	k	V	v	k	V	v	k
1940-41	24,7	11,2	0,455	-	-	-	27,1	10,4	0,383
41-42	26,2	11,8	0,452	-	-	-	28,7	11,3	0,391
42-43	21,1	9,3	0,439	-	-	-	25,0	10,4	0,415
43-44	26,7	13,6	0,508	29,7	14,2	0,478	29,4	11,4	0,388
44-45	21,1	10,4	0,491	23,6	11,6	0,490	23,5	10,4	0,442
45-46	26,4	13,2	0,498	33,6	16,0	0,475	31,8	12,1	0,380
46-47	31,7	15,7	0,496	36,4	15,7	0,430	35,9	12,3	0,342
47-48	25,0	12,7	0,508	27,0	13,2	0,489	26,7	10,5	0,395
48-49	32,6	16,0	0,490	30,8	13,4	0,436	32,6	12,1	0,371
49-50	26,8	13,8	0,516	-	-	-	30,0	10,8	0,360
1950-51	30,2	15,6	0,515	36,0	15,8	0,438	37,5	11,7	0,311
51-52	-	-	-	45,3	16,1	0,355	46,2	12,7	0,275
52-53	32,3	16,0	0,495	42,0	16,6	0,396	42,8	11,7	0,273
53-54	37,2	16,4	0,442	44,5	15,9	0,358	46,2	12,5	0,271
54-55	40,5	16,9	0,416	48,0	16,2	0,338	49,2	12,1	0,246
55-56	38,2	17,7	0,464	45,8	16,8	0,367	47,7	13,8	0,290
56-57	26,8	12,7	0,474	33,6	14,6	0,435	34,5	11,4	0,331
57-58	37,9	17,7	0,467	44,2	16,6	0,376	46,5	12,2	0,262
58-59	-	-	-	41,1	14,4	0,350	43,0	11,2	0,260
59-60	-	-	-	35,2	15,2	0,431	36,6	12,5	0,344

Le volume v peut varier du simple au double à KOULIKORO, alors qu'il ne varie plus que de 30 % environ à DIRE.

- 3 - Le coefficient de régularisation k reste sensiblement constant entre KOULIKORO et KIRANGO, il décroît ensuite entre KIRANGO et KE-MACINA pour remonter légèrement à TILEMBEYA. A partir de cette station, il décroît nettement jusqu'à DIRE. Les valeurs extrêmes observées sont les suivantes :

Station	KOULIKORO	KIRANGO	KE-MACINA	TILEMBEYA	MOPTI	DIRE
Valeurs extrêmes de k	0,554	(0,533)	(0,475)	0,516	0,490	0,442
	0,387	(0,437)	(0,413)	0,416	0,338	0,246

- 4 - Il existe une certaine corrélation entre les coefficients de régularisation et les volumes annuels d'une station donnée. Cette corrélation est assez lâche pour KOULIKORO ; elle devient plus étroite pour MOPTI et surtout DIRE. Dans l'ensemble, le coefficient k décroît avec la valeur du volume annuel, cette décroissance étant beaucoup plus nette pour MOPTI et DIRE que pour KOULIKORO, comme le montre le graphique 88. Ce même graphique met nettement en évidence le fait signalé au point 3, à savoir l'amélioration très sensible de la régularisation, c'est-à-dire la diminution de k, depuis KOULIKORO jusqu'à DIRE.

E - CONCLUSION

Le NIGER grossi du BANI apporte en année moyenne quelque 70 milliards de m³ d'eau à la Cuvette Lacustre qui n'en restitue à DIRE qu'à peine plus de la moitié.

Les pertes globales, qui sont d'environ 32,5 milliards de m³ en année moyenne s'accroissent considérablement lors des années très abondantes et peuvent même dépasser 60 milliards de m³. L'excédent des apports du NIGER Supérieur et du BANI profite plus aux inondations de la Cuvette qu'au fleuve lui-même, car la restitution maximale à DIRE ne semble pas pouvoir dépasser 50 milliards de m³.

Les pertes se produisent surtout au détriment du sommet de la crue. Si l'on compare les débits maximaux de crue décennale du fleuve à différentes stations de la Cuvette Lacustre, on constate une réduction considérable de l'amont vers l'aval : 8 000 m³/s à KOULIKORO, 3 400 m³/s à TILEMBEYA, 3 075 m³/s à MOPTI (malgré les 3 200 m³/s du BANI à DOUNA), 2650 m³/s à DIRE.

En contre-partie, l'hydrogramme annuel perd progressivement toutes ses irrégularités et tend vers une courbe très pure se rapprochant d'une sinusoïde.

Le bilan global de l'écoulement dans la Cuvette Lacustre a pu être établi de façon satisfaisante en s'appuyant sur les stations de KOULIKORO, DOUNA et DIRE, mais l'on connaît encore fort peu de choses sur le mouvement des eaux à l'intérieur de la Cuvette, sur les débits des multiples effluents ou bras secondaires, sur le remplissage des divers systèmes de lacs etc.... Beaucoup de problèmes hydrologiques de détail restent donc à résoudre dans la Cuvette Lacustre.

- A N N E X E S -

TABLEAUX DES DEBITS OBSERVES :

- a) Débits moyens mensuels
- b) Etiages absolus
- c) Crues annuelles
- d) Débits caractéristiques

aux Stations suivantes :

- I - NIGER à KOULIKORO (Rappel)
- II - NIGER à KIRANGO
- III - NIGER à KE-MACINA
- IV - NIGER à TILEMBEYA
- V - DIAKA à KARA
- VI - NIGER à MOPTI
- VII - NIGER à DIRE
- VIII - Marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

TABLEAU I

NIGER à KOULIKORO

(Rappel - voir Annexe 1ère Partie)

Débits moyens mensuels

(m³/s)

Année hydrologique de Mai à Avril

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1907-08	52	274	823	1900	3908	3126	1983	920	352	160	73	36	1126
1908-09	34	205	668	2315	(4300)	(4000)	1664	793	314	163	93	60	1222
1909-10	184	897	1921	4902	6294	4562	2712	1128	515	191	87	52	1963
1910-11	47	192	848	3058	4542	3713	1432	573	248	90	48	32	1241
1911-12	53	306	1194	4133	6257	4147	1754	783	364	163	84	38	1609
1912-13	28	84	936	2315	4599	4704	1679	677	366	154	50	24	1307
1913-14	28	131	656	1284	3120	2335	1383	515	203	59	42	53	819
1914-15	89	286	602	1206	3689	3196	1162	587	199	67	31	29	933
1915-16	105	614	1586	2908	4879	3788	1481	656	345	165	67	38	1389
1916-17	45	147	1428	3382	5106	4182	1244	486	235	118	75	24	1377
1917-18	43	250	784	3621	5936	3756	1496	957	464	232	121	124	1487
1918-19	173	898	1685	4030	4632	4186	1832	857	398	192	120	48	1596
1919-20	58	597	1605	3268	4757	3790	1430	637	292	124	65	46	1392
1920-21	71	381	1518	2657	4434	3185	1454	629	264	118	74	43	1241
1921-22	42	104	709	2393	4058	2867	1227	586	220	106	46	32	1037
1922-23	95	219	622	2293	4535	5695	2406	1113	470	187	88	138	1495
1923-24	99	328	1388	3032	5051	4283	2451	1009	472	259	115	44	1547
1924-25	36	235	1883	5093	7344	7088	2616	1069	546	272	134	72	2211
1925-26	88	477	1595	4134	6859	8558	3919	1358	576	358	152	78	2365
1926-27	61	559	2192	3820	5929	4054	1795	937	457	197	83	43	1685
1927-28	96	291	1564	3230	5651	6234	4107	1332	617	286	120	61	1969
1928-29	131	411	1289	5107	7709	6054	2964	1126	608	260	163	107	2169
1929-30	120	784	2353	4261	6228	6385	2542	1022	519	293	153	93	2074
1930-31	88	925	1825	4674	6118	5884	2657	1013	558	271	127	166	2035
1931-32	327	947	1702	3877	5584	4731	1676	889	553	271	136	118	1738
1932-33	166	570	1769	3250	6599	4782	2187	971	485	229	142	88	1776
1933-34	94	500	2020	3978	6214	3523	1476	893	430	201	102	62	1631
1934-35	52	145	957	3642	5056	4194	2057	809	362	187	77	54	1473

TABLEAU I (suite)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1935-36	39	97	1124	4037	5224	4160	1478	612	266	127	76	44	1445
1936-37	357	694	1381	3023	5514	5836	2104	998	424	197	112	93	1736
1937-38	98	206	864	2310	4786	4033	1828	655	290	130	83	58	1283
1938-39	55	183	751	3107	5322	4780	2171	720	312	138	67	39	1476
1939-40	73	260	669	2262	4613	4925	2023	838	370	158	84	45	1362
1940-41	47	180	909	2671	3516	3657	1867	657	297	142	59	32	1175
1941-42	42	218	942	2420	5368	3093	1487	709	324	150	65	46	1242
1942-43	121	290	753	2251	4104	2155	1213	596	233	108	47	44	996
1943-44	72	165	667	2159	4762	3988	1479	539	245	106	43	28	1189
1944-45	49	111	472	1798	4445	2828	1333	528	199	93	39	23	995
1945-46	34	117	434	2772	4592	4266	1631	592	217	101	41	41	1242
1946-47	79	287	957	3034	4825	5273	2460	854	371	154	62	25	1539
1947-48	30	165	911	2599	5002	4333	1231	482	183	85	47	31	1261
1948-49	51	322	1643	3882	6086	4516	2088	757	365	190	108	98	1683
1949-50	82	122	619	3332	6281	3478	1433	656	286	145	74	42	1383
1950-51	65	128	730	2518	5198	5547	2391	768	374	207	142	87	1519
1951-52	221	544	1583	3753	5349	5431	5433	1814	751	419	208	116	2137
1952-53	100	186	1208	3221	5134	5513	2316	906	508	238	143	81	1638
1953-54	97	560	2174	4436	6575	5152	2373	1069	608	325	195	188	1988
1954-55	208	642	1947	4284	6127	5148	3280	1674	760	432	289	207	2091
1955-56	222	677	2037	4076	6095	5985	2763	1286	659	377	238	174	2054
1956-57	127	198	980	2272	4807	4561	1733	769	394	186	108	56	1356
1957-58	71	323	1333	3850	6495	6915	3581	1253	627	376	163	140	2101
1958-59	267	824	1489	2221	4521	4440	2241	1387	610	332	171	85	1550
1959-60	101	320	1402	3044	5759	4500	1858	767	368	170	81	55	1535
1960-61	78	295	1422	3816	5958	4941	2246	851	371	162	75	(30)	1685
1961-62	67	90	967	3028	5432	3374	1299	493	199	87	(35)	(30)	1260
1962-63	120	204	1117	3366	7257	6094	2839	1189	500	261	163	63	1930
1963-64	123	129	658	2482									
Moy. 1907-57	95	361	1239	3214	5284	4560	2088	864	404	195	101	69	1545
Moy. 1907-63	98	353	1230	3200	5250	4490	2060	855	395	196	101	67	1530

TABLEAU II

NIGER à KIRANGO (aval)

a) Débits moyens mensuels
(m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1925-26			(1400)	3547	5735	7346	4271	(1400)			(112)	(55)		
1926-27	45	308	1959	3368	5164	4233	1811	830	315	162	80	46	1535	48,4
1927-28	66	155	1373	2896	5034	5894	3940	1351	551	233	112	74	1810	57
1928-29	91	266	1021	4099	6698	6007	2962	1114	525	238	124	86	1944	61,3
1929-30	85	533	2130	3790	5599	6110	2705	1022	458	243	133	76	1917	60,4
1930-31	61	729	1540	4151	5647	5777	2753	987	470	206	99	75	1884	59,4
1931-32	158	675	1551	3570	4972	4825	1738	764	307	120	86	82	1575	49,6
1932-33	108	350	1505	2994	5748	4864	2326	990	416	187	113	67	1646	51,9
1933-34	59	278	1834	3394	5737	3580	1544	878	363	154	75	45	1502	47,4
1934-35	34	68	698	3034	4765	3892	2163	782	305	147	62	36	1337	42,1
1935-36	27	38	854	3362	4838	4070	1593	568	221	97	51	24	1319	41,6
1936-37	192	531	(1243)	2773	4634	5451	2139	1052	373	162	70	53	1565	49,4
1937-38	57	128	627	(2064)	(4223)	3806	(1875)					46		
1938-39	31	97	615	2568	4767	4628	2162	845	293	116	59	(35)	1355	42,7
1939-40		(150)	(500)	1848	4126	4718								
1940-	(20)	60	570	2199										
1950-51	(30)	(75)	(650)	2229	4583	5334	2438	753	341	140	65	37	1396	44
1951-52	91	431	1346	3270	4690	5060	5140	1979	807	363	154	77	1958	61,7
1952-53	50	105	967	2829	4642	5340	2404	977	471	210	118	52	1521	48
1953-54	29	423	1994	3712	5973	5019	2398	1068	557	239	125	105	1812	57,1
1954-55	102	537	1698	3693	5590	4948	3149	1750	766	415	195	164	1925	60,7
1955-56	130	459	1828	3473	5379	5798	2768	1299	667	381	182	104	1882	59,4
1956-57	61	112	908	1955	4002	4466	1739	799	517	247	59	22	1246	39,3
1957-58	19	186	1123	3218	5504	6382	3760	1375	629	340	97	87	1901	60
Moyenne	70	309	1308	3065	4951	4842	2459	1009	445	210	98	64	1573	

N.B. de 1925 à 1940, les débits de KIRANGO ont été déterminés à partir des relevés de l'ancienne échelle de DIAMARABOUGOU.

b) Débits d'étiage absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle (m)
1926	27 au 29 Mai	41	0,41
1927	19 et 20 Avril	39	0,39
1928	13 et 14 Avril	67	0,61
1929	4 au 6 Mai	74	0,66
1930	20 au 23 Mai	50	0,50
1931	10 Avril	59	0,56
1932	16 au 18, 23 au 25 et 27 Avril	74	0,66
1933	2 Mai	47	0,47
1934	29 au 31 Mai et 1 Juin	26	0,26
1935	28 au 31 Mai et 1 au 4 Juin	22	0,22
1936	29 et 30 Avril	13	0,13
1937	15 Avril	49	0,49
1938	6 au 9 Mai	22	0,22
1951	12 Mai	16	0,12
1952	16 Mai	13	0,06
1953	8 au 15 Mai	11	0,02
1954	5 et 6 Mai	44	0,44
1955	10 et 11 Mai	71	0,64
1956	11 au 22 Mai	40	0,40
1957	26 Avril au 31 Mai	19	0,19
1958	14 Mai	29	0,29

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits (m ³ /s)	Hauteur échelle (m)
1925	9 Octobre	7 420	7,61
1926	29 Septembre	6 250	6,86
1927	11 au 13 Octobre	6 280	6,88
1928	29 Septembre	7 100	7,41
1929	13 au 16 Octobre	6 650	7,12
1930	13 et 14 Octobre	6 270	6,87
1931	2 Octobre	5 960	6,67
1932	24 Septembre	6 700	7,15
1933	18 au 20 Septembre	6 390	6,95
1934	12 Septembre	5 420	6,32
1935	5 au 7 Octobre	5 230	6,19
1936	10 au 12 Octobre	6 350	6,92
1937	14 Septembre	4 610	5,78
1938	10 Octobre	5 740	6,53
1939	9 et 10 Octobre	5 180	6,16
1950	5 au 7 Octobre	5 690	6,50
1951	28 Septembre 20 et 21 Novembre	5 560 5 690	6,41 6,50
1952	14 Octobre	5 790	6,56
1953	14 Septembre	6 300	6,89
1954	25 et 26 Septembre	5 960	6,67
1955	11 Octobre	6 490	7,01
1956	5 Octobre	5 570	6,42
1957	26 au 30 Septembre	6 500	7,02

d) Débits caractéristiques(m³/s)

Année	DCE	DC 9	DC 6	DC 3	DCC
1925-26	49			3660	7190
1926-27	44	83	578	2330	5990
1927-28	71	103	730	3890	6050
1928-29	82	158	617	3340	6950
1929-30	73	152	835	3160	6520
1930-31	71	120	978	3390	6160
1931-32	74	128	637	2620	5770
1932-33	59	143	643	2390	6500
1933-34	40	83	669	2180	6190
1934-35	35	58	330	2440	5290
1935-36	19	45	305	2360	4970
1936-37	50	138	663	2220	6140
1937-38	32			1910	4430
1938-39		68	385	2320	5530
1939-40					5090
1950-51	30			2490	5540
1951-52	63	208	902	4040	5480
1952-53	42	100	513	2570	5600
1953-54	65	152	872	2840	6130
1954-55	155	216	977	3560	5900
1955-56	99	224	970	3120	6470
1956-57	20	65	591	1670	5370
1957-58	48	140	765	3180	6460

TABLEAUX III

NIGER à KE-MACINA

a) Débits moyens mensuels
(m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume écoulé 10 ⁹ m ³
1952-53	165	907	2592	4227	4990	2416	1080	584	302	170	96	62	1465	46,2
1953-54	406	1824	3350	5178	4742	2363	1199	703	344	215	199	195	1730	54,5
1954-55	600	1558	3443	5019	4662	3148	1802	895	493	289	254	205	1872	59,0
1955-56	485	1748	3222	4914	5143	2779	1379	785	433	283	196	121	1800	56,8
1956-57	165	860	1860	3820	4327	1850	918	502	241	124	75	63	1234	38,9
1957-58	63	209	1146	2999	4896	5351	3656	1435	753	460	198	186	1798	56,6
Moyenne brute sur la période	314	1184	2602	4359	4793	2984	1672	817	428	257	169	139	1650	

b) Débits d'étéage absolus

Année	Dates	Débits (m ³ /s)	Hauteur échelle (m)
1953	18 et 19 Mai	35	0,15
1954	7 Mai	142	0,83
1955	12 Mai	127	0,78
1956	16 Mai	82	0,56
1957	24 Mai au 2 Juin	57	0,37
1958	26 Mars	87	0,59

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits (m ³ /s)	Hauteur échelle (m)
1952	15 et 16 Octobre	5185	6,92
1953	16 et 17 Septembre	5300	6,98
1954	25 et 26 Septembre	5240	6,95
1955	9 Octobre	5420	7,04
1956	7 Octobre	5110	6,88
1957	11 Octobre	5400	7,03

d) Débits caractéristiques

(m³/s)

Année	DCE	DC 9	DC 6	DC 3	DCC
1952-53	39		570	2445	5110
1953-54	133	242	950	2800	5260
1954-55	172	329	1060	3380	5225
1955-56	98	317	1035	2975	5380
1956-57	62	115	635	1720	4965
1957-58	140	228	840	3095	5380

TABLEAU IV

NIGER à TILEMBEYA

a) Débits moyens mensuels
(m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1922-23	120	390	1136	2670	3272	2051	881	430	224	120	107	129	964	30,4
1923-24	154	591	1694	2955	2942	1814	910	345	185	73	38	37	982	31
1924-25	62	857	2631	3406	3403	2171	982	422	247	198	154	130	1227	38,7
1925-26	(200)	1039	2264	3343	3443	2896	1142	569	356	209	144	118	1314	41,4
1926-27	285	1212	2220	3141	2870	1354	717	401	241	137	79	96	1068	33,7
1927-28	181	865	1860	3093	3380	3031	1152	533	324	186	107	(170)	1241	39,2
1928-29	304	679	2369	3406	3420	2306	946	513	341	230	178	(150)	1233	38,9
1939-40								382	239	142	98	83		
1940-41	121	499	1450	2129	2274	1454	583	319	211	135	93	81	782	24,7
1941-42	169	545	1208	2800	2516	1260	565	311	201	123	96	124	829	26,2
1942-43	223	428	1246	2504	1493	981	498	261	160	99	64	61	669	21,1
1943-44	149	424	1065	2817	2841	1610	570	270	158	92	61	58	846	26,7
1944-45	88	287	962	2518	2132	1008	446	266	137	82	52	35	669	21,1
1945-46	101	247	1455	2773	2877	1407	501	247	148	82	58	89	835	26,4
1946-47	191	527	1536	2957	3251	2039	715	347	213	127	66	55	1005	31,7
1947-48	57	459	1479	2720	2905	973	411	189	122	71	46	34	791	25,0
1948-49	154	899	2030	3319	3042	1530	592	300	195	108	98	81	1033	32,6
1949-50	134	264	1634	3288	2634	1056	512	(290)	(150)	(80)	(55)	(45)	848	26,8
1950-51	60	381	1400	2997	3396	1933	603	301	172	60	(50)	(90)	957	30,2
1951-52														
1952-53	116	563	1783	2933	3233	1855	755	378	213	133	88	69	1023	32,3
1953-54	248	1225	2333	3335	3270	1802	812	426	241	154	129	115	1180	37,2
1954-55	343	1008	2424	3309	3254	2371	1317	558	312	177	154	128	1285	40,5
1955-56	265	1164	2246	3273	3389	2106	949	474	260	167	119	84	1211	38,2
1956-57	107	501	1235	2685	3031	1371	582	309	149	86	57	48	850	26,8
1957-58	112	692	2094	3246	3411	2694	1062	454	269	113	91	115	1200	37,9
Moyenne	164	656	1740	2984	3032	1795	758	371	218	126	91	88	1002	

N.B. de 1922 à 1929, les débits de TILEMBEYA ont été déterminés à partir des relevés de l'ancienne station de DIAFARABE

a') Modules et volumes annuels

Reconstitués à partir de ceux de

KOULIKORO

Année	Module m ³ /s	Volume écoulé 10 ⁹ m ³
1929-30	1230	38,8
1930-31	1220	38,5
1931-32	1090	34,4
1932-33	1110	35
1933-34	1030	32,5
1934-35	940	29,7
1935-36	925	29,2
1936-37	1090	34,4
1937-38	835	26,4
1938-39	940	29,7
1939-40	880	27,8
1951-52	1240	39,2
1958-59	985	31,0
1959-60	975	30,8
1960-61	1060	33,4
1961-62	820	25,8
1962-63	1195	37,7

b) Débits d'étiage absolus

(peu précis avant 1953)

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle (m)
1923	27 Mai	87	0,54
1924	14 et 15 Mai	35	0,07
1926	27 Mai	113	0,69
1927	22 au 29 Avril	72	0,42
1940	17 et 18, 21 au 24 Mai	80	0,48
1941	14 Mai	73	0,43
1942	16 au 24 Avril	80	0,48
1943	20 au 25 Mai	52	0,26
1944	7 Mai	50	0,24
1945	17, 21 et 24 Mai	32	0,03
1946	30 Avril	47	0,22
1947	10 et 11 Mai	44	0,19
1948	24 à 26 Mai	30	0,01
1949	25 Mai	68	0,39
1953	7 Mai	51	0,25
1954	8 et 9 Mai	85	0,52
1955	13 au 15 Mai	91	0,57
1956	18 Mai	63	0,35
1957	1er au 4 Juin	41	0,17
1958	17 Mai	79	0,47

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle (m)
1922	25 au 27 Octobre	3315	5,88
1923	29 Septembre au 4 Oct. et 7 Octobre	3400	5,93
1924	17 au 19 Septembre	3450	5,96
1925	25 Octobre au 1er Nov.	3470	5,97
1926	26 Septembre au 3 Oct.	3350	5,90
1927	19 au 30 Octobre	3400	5,93
1928	6 au 20 Octobre	3435	5,95
1940	23 Octobre	2395	5,24
1941	27 Septembre au 2 Oct.	3195	5,81
1942	19 au 21 Septembre	2930	5,65
1943	9 au 12 Octobre	3180	5,80
1944	28 Septembre	3030	5,71
1945	6 au 9 Octobre	3195	5,81
1946	14 au 22 Octobre	3280	5,86
1947	8, 11 et 12 Octobre	3315	5,88
1948	5 au 13 Octobre	3420	5,94
1949	23 Septembre au 3 Oct.	3365	5,91
1950	8 au 16 Octobre	3420	5,94
1952	12 au 23 Octobre	3350	5,90
1953	1er au 20 Octobre	3385	5,92
1954	12 Octobre	3400	5,93
1955	12 au 19 Octobre	3450	5,96
1956	4 et 7 au 12 Octobre	3335	5,89
1957	9 Octobre au 2 Nov.	3420	5,94

d) Débits caractéristiques
(m³/s)

Année	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1922-23			339	1530	3300
1923-24	(35)	(90)	389	1890	3385
1924-25	127	175	497	2335	3435
1925-26	117		738	2520	3450
1926-27	73	155	552	1765	3350
1927-28		170	597	2540	3400
1928-29		237	532	2350	3435
1939-40	82				
1940-41	80	129	378	1365	2330
1941-42	81	152	357	1260	3130
1942-43	55	119	285	960	2755
1943-44	52	109	295	1390	3130
1944-45	33	82	253	1030	2950
1945-46	57	99	229	1280	3165
1946-47	48	135	371	1625	3280
1947-48	32	86	298	1125	3280
1948-49	73	121	434	1700	3400
1949-50				1140	3365
1950-51		(80)	285	1540	3420
1952-53	56	121	378	1735	3350
1953-54	88	160	610	2090	3385
1954-55	107	201	651	2450	3385
1955-56	75	185	643	2160	3435
1956-57	46	85	378	1210	3315
1957-58	73	121	490	2255	3420

TABLEAUX V

Le DIAKA à KARA

a) Débits moyens mensuels
(m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module m ³ /s	Volume écoulé 10 ⁹ m ³
1939-40								138	64	19	5	1		
1940-41	13	199	795	1246	1331	803	243	107	54	17	4	0	403	12,7
1941-42	34	223	637	1543	1407	725	234	104	48	13	4	14	417	13,2
1942-43	60	166	661	1425	835	486	188	79	27	3	0	0	328	10,3
1943-44	24	159	554	1552	1558	913	240	83	25	4	0	0	426	13,4
1944-45	5	90	484	1412	1210	501	170	66	17	1	0	0	330	10,4
1945-46	7	71	798	1521	1575	768	199	72	21	2	0	3	421	13,3
1946-47	49	216	846	1615	1709	1139	317	122	55	14	1	0	508	16,0
1947-48	1	182	818	1497	1565	483	153	42	13	2	0	0	397	12,5
1948-49	29	429	1151	1732	1629	857	223	81	32	4	5	0	517	16,3
1949-50	26	86	909	1722	1446	529	206	(95)	(20)	(0)	(0)	(0)	421	13,3
1950-51	0	151	771	1621	1758	1079	254	99	34	0	0	0	482	15,2
1952-53	17	252	1006	1540	1667	1001	334	142	59	15	3	1	505	15,9
1953-54	87	657	1279	1666	1640	982	382	175	84	28	22	12	588	18,5
1954-55	139	529	1342	1661	1642	1277	687	233	121	50	35	23	648	20,4
1955-56	101	621	1242	1651	1686	1144	453	191	91	41	13	4	605	19,1
1956-57	12	208	650	1443	1551	707	233	100	22	3	0	0	413	13,0
1957-58	17	309	1154	1637	1696	1405	503	170	79	12	2	10	585	18,5
Moyenne	37	267	888	1558	1524	871	295	117	48	13	5	4	470	

N.B. De 1940 à 1951, les débits du DIAKA à KARA ont été déduits des relevés de TILÉMBEYA.

b) Débits d'étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle (m)
1940	4 au 9 et 14 au 26 Mai	0	0,50
1941	28 Avril au 16 Mai, 19 au 30 Mai	0	0,49
1942	11 au 24 Avril	0	0,51
1943	28 Mars au 28 Avril, 1er au 4 Juin	0	0,33
1944	20 Mars au 12 Juin	0	0,23
1945	12 Mars au 9 Juin	0	0,13
1946	16 Mars au 5 Mai, 19, 21, 24 au 27 Mai	0	0,22
1947	7 Avril au 29 Juin	0	0,24
1948	5 Mars au 12 Juin	0	0,11
1949	19 Mars au 3 Avril, 10. Avril au 2 Juin, 13 Juin au 11 Juillet	0	0,39
1950	? jusqu'au 3 Juillet	0	
1951	6 Mars à ?	0	
1952	Jusqu'au 20 Mai, et du 24 au 30 Mai	0	
1953	12 Avril au 21 Mai, 31 Mai au 11 Juin	0	0,33
1954	17 et 18 Avril, 8 et 9 Mai	2	0,65
1955	13 Mai	7	0,75
1956	12 au 25 Mai, 12 au 15 et 18 au 22 Juin	0	0,53
1957	17 Mars au 13 Juin	0	0,29
1958	18 Mars au 11 Avril, 13 au 22 Avril, 7, 16 et 17 Mai	0	0,40

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle (m)
1940	20 au 23 Septembre	1370	5,18
1941	27 Septembre au 2 Octobre	1690	5,81
1942	19 au 21 Septembre	1605	5,65
1943	10 au 12 Octobre	1685	5,80
1944	28 Septembre	1635	5,71
1945	6 au 9 Octobre	1690	5,81
1946	13 au 22 Octobre	1720	5,86
1947	11 et 12 Octobre	1730	5,88
1948	5 au 13 Octobre	1765	5,94
1949	23 Septembre au 4 Octobre	1750	5,91
1950	8 au 16 Octobre	1765	5,94
1952	16 au 22 Octobre	1680	5,79
1953	5 au 10 Octobre	1685	5,80
1954	28 Septembre au 10 Octobre	1690	5,81
1955	12 au 20 Octobre	1710	5,84
1956	5 au 12 Octobre	1665	5,76
1957	8 Octobre au 2 Novembre	1695	5,82

d) Débits caractéristiques

(m³/s)

Année	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1939-40	0				
1940-41	0	13	133	750	1360
1941-42	0	20	129	675	1685
1942-43	0	11	91	440	1545
1943-44	0	8	95	770	1670
1944-45	0	0	76	495	1610
1945-46	0	6	64	690	1680
1946-47	0	15	133	930	1720
1947-48	0	0	64	560	1720
1948-49	0	7	140	980	1760
1949-50	0	(0)		590	1750
1950-51	0	0	91	875	1765
1952-53	0	12	144	975	1675
1953-54	7	33	257	1155	1680
1954-55	31	52	290	1385	1690
1955-56	13	51	280	1225	1700
1956-57	0	3	132	625	1660
1957-58	0	6	188	1265	1695

TABLEAU VI

Le NIGER à MOPTI

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume (10 ⁶ m ³)
1922-23	162	416	1247	2581	2948	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23-24	-	622	1810	2550	2742	2571	1952	779	(320)	(150)	(70)	(50)	(1145)	(36,1)
24-25	(350)	918	2300	2881	3064	2935	2546	1484	529	(270)	160	100	(1465)	(46,2)
1925-26	-	792	1876	2754	3009	3041	2677	1813	722	(285)	(120)	(80)	(1440)	(45,3)
26-27	-	1151	2035	2566	2680	2241	1274	510	(230)	(100)	(70)	(65)	(1095)	(34,5)
27-28	(100)	878	1820	2659	2939	2916	2557	1690	571	230	(130)	(90)	1390	43,8
28-29	(270)	(715)	1775	2752	3031	2976	2542	1505	607	(285)	(150)	(105)	(1395)	(44,0)
1934-35	-	-	1631	2529	2696	2457	1580	594	-	-	-	-	-	-
35-36	50	478	1726	2624	2809	2680	2122	998	263	150	(95)	(70)	1177	37,0
36-37	279	941	2069	2776	2923	2834	-	-	-	-	-	-	-	-
1943-44	(80)	386	1308	2293	2609	2619	1237	389	178	(95)	47	(28)	942	29,7
44-45	(36)	228	899	2094	2262	1998	900	293	146	77	35	14	750	23,6
1945-46	47	193	1441	2550	2796	2675	1932	622	261	118	57	65	1067	33,6
46-47	150	499	1618	2556	(2810)	2727	2053	839	320	154	77	38	1156	36,4
47-48	41	357	1372	2186	2556	2178	990	279	137	83	36	17	856	27,0
48-49	76	758	1727	2453	2578	2202	1194	391	191	100	74	47	986	30,8
49-50	85	-	-	-	-	-	-	362	184	99	40	23	-	-
1950-51	26	306	1482	2527	2818	2763	2167	933	343	168	96	57	1144	36,0
51-52	317	678	1738	2535	2821	2900	2718	1997	888	336	157	82	1437	45,3
52-53	105	514	1923	2657	2906	2895	2483	1467	526	234	127	71	1331	42,0
53-54	236	1228	2167	2803	3030	2849	2289	1242	506	238	176	137	1414	44,5
54-55	359	1043	2208	2809	3030	2951	2586	1767	750	328	207	149	1521	48,0
1955-56	290	1198	2146	2812	2993	2929	2418	1435	552	284	163	112	1452	45,8
56-57	113	469	1386	2419	2748	2545	1796	707	278	151	86	66	1067	33,6
57-58	123	723	1944	2680	2958	2991	2554	1585	687	269	134	127	1402	44,2
Moyenne 1922-58	154	673	1748	2579	2819	2694	2047	1082	429	195	108	75	1222	38,5

Nota : L'étalonnage des hautes eaux de MOPTI est appelé à être révisé. Les débits de cette station sont donc donnés

a) Débits moyens mensuels (m³/s) (Suite)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume (10 ⁹ m ³)
1958-59	383	1071	1687	2482	2810	2709	2270	1263	503	229	116	59	1303	41,1
59-60	(172)	(574)	1627	2502	2776	2613	1857	672	273	126	69	51	1114	35,2
1960-61	(134)	(744)	1812	2551	2780	2655	1988	801	317	151	78	40	1175	37,0
61-62	52	433	1853	2553	2781	(2500)	1536	451	205	106	(50)	(30)	(1045)	32,9
62-63	(50)	(590)	1669	2418	2787	2762	2234	1109	432	225	(105)	(100)	(1205)	38,0
Moyenne 1922-63	155	675	1744	2564	2812	2685	2034	1039	413	190	103	71	1212	38,2

Moyennes calculées sans tenir compte des années 1922-23, 30-31 à 34-35, 36-37 à 42-43 et 1949-50.

a') Modules et volumes annuels

reconstitués à partir de ceux de DIRE.

Année	Module	Volume écoulé
	m ³ /s	10 ⁹ m ³
1922-23	1080 (1)	34,1
1929-30	1510	47,7
1930-31	1300	41,0
31-32	1165	36,8
32-33	1245	39,3
33-34	1220	38,5
34-35	990	31,3
1936-37	1270	40,0
37-38	960	30,3
38-39	1080	34,1
39-40	1040	32,8
1940-41	870	27,5
41-42	915	28,8
42-43	810	25,5
49-50	955	30,1

(1) Déterminé d'après le module de TILEMBEYA.

b) Débits d'étiage absolus

Année	Dates	Débit m ³ /s	Hauteur échelle en m.
1944	8-9-12 et 13 juin	(16)	0,52
1945	24 Mai au 1er juin	(11)	0,40
1946	1er mai	40	0,75
1947	11 juin	20	0,55
1948	29 mai	(15)	0,47
1949	29 juin	29	0,64
1950	20 mai au 5 juin	(19)	0,54
1951	24 mai	45	0,80
1952	31 mai	55	0,88
1953	19 et 20 mai	59	0,91
1954	12 mai	122	1,43
1955	15 et 16 mai	120	1,42
1956	18 et 19 mai	93	1,19
1957	4 et 5 juin	54	0,87
1958	19 mai	108	1,32
1959	31 mai - 1er juin	48	0,82
1960	31 mai - 2 juin	43	0,78
1961	25 au 29 mai	30	0,65

c) Crues annuelles

Année	Date du débit maximal	Débit m ³ /s	Hauteur échelle m	Date de la hauteur maximale
1923	18 et 19 Octobre	2775	6,83	26/10 au 7/11
1924	4 Novembre	3100	7,41	11 au 18/11
1925	4 au 13 Novembre	3065	7,32	23 au 27/11
1926	16 Octobre	2730	6,77	21 au 24/10
1927	29 Octobre - 1er Nov	2975	7,20	7 au 22/11
1928	26 Octobre	3065	7,32	5 au 15/11
1934	8 Octobre	2735	6,76	17 au 28/10
1935	18 Octobre	2830	6,97	6/11
1936	22 Octobre	2950	7,16	3 au 19/11
1943	15 Octobre	2650	6,63	24 et 27/11
1944	7 Octobre	2380	6,28	18/10
1945	23 au 28 Octobre	2810	6,93	6 et 7/11
1947	18 Octobre	2610	6,53	25 et 26/10
1948	8 Octobre	2610	6,54	19 au 26/10
1950	30 Octobre	2860	7,07	11 et 12/11
1951	13 au 15 Novembre	2910	7,12	3 au 6/12
1952	2 Novembre	2955	7,19	18 au 20/11
1953	23 Octobre	3070	7,31	31/10 au 3/11
1954	29 Octobre	3070	7,31	4 au 11/11
1955	29 Octobre	3070	7,31	6 au 9/11
1956	22 Octobre	2780	6,86	29/10 au 4/11
1957	8 Novembre	3050	7,30	17 et 18/11
1958	30 Octobre	2860	7,07	1 au 3/11
1959	22 Octobre	2810	6,90	29/10 au 2/11
1960	22 Octobre	2820	6,91	2 au 8/11
1961	23 Octobre	2815	6,93	23 au 30/10
1962	28 et 29 Octobre	2980	7,01	6/11

N.B. Les dates d'apparition des cotes et des débits maximaux diffèrent quelque peu (courbe d'étalonnage non univoque).

d) Débits caractéristiques en m³/s

Années	DC6	DC3	DCC
1923-1924	-	2340	2765
1924-1925	-	2780	3090
1925-1926	1210	2750	3065
1926-1927	720	2175	2716
1927-1928	1270	2645	2970
1928-1929	850	2590	3060
1934-1935	530	2225	2620
1935-1936	685	2435	2820
1936-1937	-	2590	2935
1943-1944	-	1925	2635
1944	-	1690	2365
1945	-	2340	2805
1946	-	-	-
1947	-	1820	2580
1948	-	2000	2600
1950-1951	-	2425	2850
1951-1952	730	2645	2905
1952-1953	1450	2625	2950
1953-1954	1345	2615	3055
1954-1955	1245	2730	3060
1955-1956	1415	2655	3055
1956-1957	925	2220	2765
1957-1958	640	2660	3035
1958-1959	1135	2410	2840
1959-1960	550	2305	2795
1960-1961	730	2400	2800
1961-1962	410	-	2810
1962-1963	785	2425	2975

TABLEAU VII

Le NIGER à DIRE

a) Débits moyens mensuels

m³/s

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1924-25	255	1038	1891	2096	2397	2584	2486	2135	1505	819	293	118	1448	45,6
1925-26	379	1021	1678	2076	2309	2557	2658	2335	1744	1048	425	147	1527	48,2
1926-27	470	1113	1634	1945	2185	2245	1755	1182	634	208	78	73	1127	35,5
1927-28	273	912	1540	1949	2242	2483	2535	2149	1567	877	314	152	1414	44,7
1928-29	302	864	1588	2022	2328	2599	2523	2161	1538	853	321	161	1435	45,2
1929-30	590	1322	1835	2144	2393	2621	2614	2213	1574	890	333	155	1554	49,0
1930-31	541	1053	1596	1957	2201	2401	2263	1756	1149	572	193	214	1323	41,7
1931-32	522	1039	1568	1933	2177	2272	1948	1370	805	314	106	98	1180	37,3
1932-33	328	880	1463	1855	2154	2345	2271	1744	1138	567	179	77	1248	39,3
1933-34	377	1063	1594	1939	2223	2362	2130	1583	1002	439	114	30	1239	39,0
1934-35	90	584	1291	1761	2044	2168	1767	1211	668	211	73	50	990	31,3
1935-36	106	679	1410	1864	2144	2292	2010	1421	802	281	70	178	1105	34,9
1936-37	428	975	1586	1962	2218	2403	2284	1772	1167	552	164	64	1297	40,9
1937-38	121	595	1268	1726	1994	2137	1690	1104	560	175	57	50	956	30,2
1938-39	115	555	1284	1805	2120	2305	2065	1464	868	326	80	56	1085	34,2
1939-40	145	561	1226	1720	2003	2180	2012	1404	833	302	85	40	1042	33,0
1940-41	116	570	1176	1624	1870	1958	1457	912	421	113	50	40	860	27,1
1941-42	175	736	1312	1712	1973	2040	1499	910	367	80	50	50	909	28,7
1942-43	135	654	1309	1693	1898	1739	1140	619	197	56	35	35	794	25,0
1943-44	103	649	1277	1748	2025	2001	(1510)	(1050)	(530)	(170)	(50)	(40)	(929)	(29,4)
1944-45	58	368	1102	1605	1867	1829	1184	624	185	50	30	20	744	23,5
1945-46	52	503	1375	1812	2074	2209	1926	1273	644	153	50	50	1009	31,8
1946-47	188	802	1450	1856	2119	2281	2118	1541	910	295	64	40	1137	35,9
1947-48	97	655	1277	1676	1940	1996	1357	745	236	58	40	30	843	26,7
1948-49	269	992	1540	1877	2104	2158	(1550)	(1100)	(550)	(170)	(55)	(50)	(1035)	32,6
1949-50	58	535	1326	1783	2141	2043	1487	1096	686	207	85	56	950	30,0
1950-51	74	718	1494	1950	2188	2370	2222	1684	1018	372	87	129	1190	37,5

a) Débits moyens mensuels (suite)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1951-52	423	971	1588	1946	2211	2430	2534	2279	1717	1002	351	86	1460	46,2
1952-53	177	921	1688	2070	2284	2474	2431	1981	1360	684	167	79	1356	42,8
1953-54	571	1338	1767	2114	2366	2551	2455	1985	1359	696	238	169	1466	46,2
1954-55	593	1236	1769	2102	2363	2570	2582	2242	1677	980	431	195	1559	49,2
1955-56	640	1319	1796	2138	2391	2589	2550	2106	1442	799	276	89	1510	47,7
1956-57	186	786	1433	1870	2136	2276	1931	1384	781	252	66	50	1095	34,5
1957-58	293	1032	1684	2034	2285	2519	2579	2211	1647	900	331	230	1475	46,5
1958-59	683	1223	1647	1981	2200	2379	2352	1810	1257	605	143	(60)	1361	43,0
1959-60	239	913	1546	1946	2190	2342	2123	1515	792	237	(50)	(30)	1160	36,6
1960-61	262	1024	1624	1976	2206	2371	2104	1515	882	349	81	(35)	1196	37,7
1961-62	89	819	1558	1901	2154	2210	1698	1032	504	(170)	(40)	(30)	(1011)	(31,9)
1962-63	165	856	1554	1926	2213	2404	2303	1740	1070	(535)	(125)	(67)	(1244)	(39,2)
Moyenne 1924-57	272	854	1489	1893	2155	2294	2045	1551	979	456	157	92	1185	37,4
Moyenne 1924-62	274	865	1501	1899	2162	2299	2054	1548	966	443	148	85	1190	37,5

N.B. Les chiffres entre parenthèses sont des estimations.

b) Débits étiages absolus

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle m
1925	15 au 18 juin	99	1,14
1926	23 juin	105	1,21
1927	8 juin		0,61
1928	15 et 16 juin	119	1,31
1929	18 et 19 juin	121	1,33
1930	15 juin env.	< 105	≤ 1,20
1931	6 juin	123	1,34
1932	13 et 14 juin	74	0,97
1933	15 juin	59	0,82
1934	24 et 25 juin		0,58
1935	20 et 21 juin		0,30
1936	26 au 28 mai		0,74
1937	17 au 20 juin		0,80 env.
1938	13 juin		0,40
1939	10 juin		0,64
1940	15 au 23 juin		0,40
1941	12 et 13 juin		0,20
1942	16 au 26 mai		0,54
1943	10 au 13 juin		0,04
1944	fin mai-mi-juin		négative
1945	mi-juin		"
1946	11 au 15 juin		0,50
1947	27 juin au 1 juillet		0,23
1948	juin		négative
1950	avant le 13 juillet		0,20 env.
1951	4 et 5 juin		0,52
1952	29 juin au 2 juillet	65	0,88
1953	5 juin	71	0,94
1954	8 juin	111	1,26
1955	18 et 19 juin	143	1,44
1956	30 juin et 1er juillet	69	0,91
1957	17 au 23 juin		0,64
1958	7 juin	127	1,36
1959	1er au 21 juin	< 57	-
1960	12 au 16 juin	-	0,50
1961	juin	< 57	-
1962	17 mai au 30 juin	< 57	-
1963	31 mai et 1er juin	< 57	0,44

N.B. pour les hauteurs inférieures à 0,80, on sait seulement que les débits sont inférieurs à 57 m³/s.

c) Crues annuelles

Année	Dates	Débits m ³ /s	Hauteur échelle m
1924-25	30 Déc - 2 et 3 janv.	2625	6,10
1925-26	3 au 21 janv.	2675	6,17
1926-27	19 décembre	2280	5,62
1927-28	5 au 15 janvier	2570	6,03
1928-29	21 au 27 décembre	2655	6,14
1929-30	3 au 9 janvier	2675	6,17
1930-31	18 au 22 décembre	2445	5,86
1931-32	12 au 14 et 21 décembre	2320	5,68
1932-33	29 déc. au 13 janvier	2385	5,77
1933-34	15 au 22 Décembre	2385	5,77
1934-35	20 au 26 décembre	2200	5,49
1935-36	23 au 28 décembre	2315	5,67
1936-37	25 décembre au 4 janv.	2440	5,85
1937-38	21 au 26 décembre	2155	5,42
1938-39	23 au 31 décembre	2335	5,70
1939-40	26 Décembre au 5 janv.	2215	5,52
1940-41	17 au 21 décembre	2000	5,16
1941-42	4 au 22 décembre	2060	5,26
1942-43	26 nov. au 10 décembre	1945	5,07
1943-44	6 au 15 décembre	2140	5,39
1944-45	6 décembre	1965	5,10
1945-46	20 au 28 décembre	2225	5,53
1946-47	23 au 27 décembre	2315	5,67
1947-48	10 au 14 décembre	2060	5,26
1948-49	10 au 22 décembre	2205	5,50
1949-50	8 au 13 décembre	2145	5,40
1950-51	25 déc au 1er janvier	2405	5,80
1951-52	14 au 18, 22-23 janv.	2555	6,01
1952-53	2 au 10 janvier	2535	5,98
1953-54	26 au 28 décembre	2595	6,06
1954-55	4 au 8 janvier	2645	6,13
1955-56	7 au 14 janvier	2640	6,12
1956-57	19 au 28 décembre	2300	5,65
1957-58	11 au 19 janvier	2630	6,11
1958-59	15 au 24 déc. 5 au 12 janvier	2410	5,81
1959-60	23 déc. au 1er janvier	2355	5,73
1960-61	18 au 21 décembre	2405	5,79
1961-62	4 au 8 décembre	2270	5,59
1962-63	25 au 27 décembre	2440	5,85

d) Débits caractéristiquesm³/s

Année	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1921-22					
1922-23					
1923-24					
1924-25	102	566	1600	2305	2610
1925-26	125	665	1692	2321	2677
1926-27	< 54	278	1130	1881	2272
1927-28	125	573	1549	2191	2572
1928-29	139	506	1570	2286	2640
1929-30	≤ 122	755	1717	2335	2670
1930-31	135	548	1417	2055	2425
1931-32	78	407	1190	1958	2293
1932-33	75	425	1285	2031	2384
1933-34	≤ 50	410	1318	2013	2377
1934-35	≤ 50	125	923	1764	2193
1935-36	< 57	167	1085	1918	2307
1936-37	63	465	1373	2103	2440
1937-38	< 50	128	855	1693	2151
1938-39	< 56	197	1030	1899	2328
1939-40	< 40	197	1015	1817	2217
1940-41	< 40	101	723	1572	1989
1941-42	< 50	250	807	1652	2061
1942-43	< 35	75	625	1483	1947
1943-44	< 35	63	?	1637	2139
1944-45	< 20	≤ 57	479	1450	1929
1945-46	< 50	≤ 52?	971	1869	2217
1946-47	< 40	215	1180	1953	2307
1947-48	≤ 18,8	77	703	1593	2055
1948-49	< 50				2205
1949-50	< 56	106	931	1670	2139
1950-51	< 59	222	1246	2037	2398
1951-52	75	620	1637	2244	2550
1952-53	73	413	1527	2178	2527
1953-54	119	653	1662	2230	2580
1954-55	167	807	1703	2321	2632
1955-56	73	739	1648	2300	2632
1956-57	< 50	183	1080	1918	2300
1957-58	171	597	1637	2242	2625
1958-59	< 57	931	1456	2133	2412
1959-60	< 57	215	1208	2010	2356
1960-61	< 57	279	1260	2020	2393
1961-62	< 57	(97)	959	1840	2235
1962-63	58	< 310	1343	2090	2424
1963-64					
1964-65					

TABLEAU VIII

Le Marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

a) Débits moyens mensuels (en m³/s)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1931-32	(1)	9,9	36	(58)	(75)					2,1	(0,1)	(0,1)		
1932-33	(1)	4,6	21	35	55	130	202	120	47	8	0,3	0,1	52	1,64
1934-35							59	33	6,6	0,3	0	0		
35-36	0,2	0,2	3	11,5	21	64	87	46	10,4	0,5	0	0	20	0,63
36-37	0	2,7	8	22	39	96	161	109	37	3,8	0,1	0	40	1,26
37-38	0	0,2	4,7	21	33	53	(59)	30	3,6	0,1	0	0	(17)	0,52
38-39	0	0,1	4,6	17,9	27	55	80	47	14,8	0,7	0	0	21	0,66
39-40	0	0	0,7	6,7	16,1	33	62	50	10,9	0,2	0	0	15	0,47
40-41	0	0	0,1	4,1	13,9	22								
41-42	0	0	(2)	9,6	16,9	31	32	11,6	1	0	0	0	8,7	0,27
42-43	0	(2)	6,8	16,6	29	39	30	7,1	0,1	0	0	0	10,9	0,34
1945-46	0	0	(4,1)	12,8	22	44	70	32	5,8	0	0	0	15,8	0,50
46-47				23	36			74	25	1,4	0,1	0		
1951-52	(0)	(0)	10,5	27	43	113	265	254	121	57	19	0,4	76	2,40
52-53	0,1	1,7	28	50	65	154	271	200	81	39	2,7	0,2	74	2,33
53-54	0	11,2	45	62	85	224	294	181	69	29	10,4	3,4	84	2,65
54-55	0,5	18,7	44	59	88	239	342	280	145	54	21	6,4	107	3,38
55-56	3,6	7,1	45	76	115	250	310	231	132	79	46	20	110	3,48
56,57	9,4	(5)	(23)	37	55	87	104	60	41	17,9	1,4	0	37	1,17
57-58	0	0,1	4,2	21	45	160	279	230	95	19	0,5	0	70	2,21
Moyenne	0,9	3,3	15,9	30	47	111	165	118	51	19,3	6,3	1,9	47	1,49

b) Crues annuelles

Année	Date	Débit m ³ /s.
1924-25		(340)
25-26		(378)
26-27		(94)
27-28		(302)
28-29		(362)
29-30		(378)
30-31		(208)
31-32		(109)
32-33	15 Janvier	216
33-34		(162)
34-35	8 Janvier	62
35-36	8 Janvier	94
36-37	18 Janvier	170
37-38	vers 10 Janvier	(65)
38-39	15 Janvier	87
39-40	29 Janvier	74
40-41		(40)
41-42	5 Janvier	39
42-43	<u>21 Décembre</u>	41
43-44		(58)
44-45		(36)
45-46	7 Janvier	77
46-47		(110)
47-48		(48)
48-49		(70)
49-50		(60)
50-51		(177)
51-52	<u>30 Janvier</u>	313
52-53	10 Janvier	299
53-54	13 Janvier	305
54-55	19 Janvier	359
55-56	8 Janvier	320
56-57	10 Janvier	114
57-58	19 Janvier	306

Les débits entre parenthèses ont été estimés.

c) Débits caractéristiques (m3/s)

Année	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1931-32	0,16	0,9			
1932-33	0,14	0,9	27	76	208
1934-35	0				61
1935-36	0	0,08	4,4	29	93
1936-37	0	0,10	13,8	61	167
1937-38	0	0,02	3,5	31	62 env.
1938-39	0	0	7,4	32	83
1939-40	0	0	4,4	23	70
1940-41	0				
1941-42				14,4	38
1942-43			3	23	41
1945-46			4,4	24	76
1946-47	0			48	
1951-52	0	0,9	36	100	294
1952-53	0	1,6	47	92	280
1953-54	0	9,0	50	107	299
1954-55	0	19,0	58	180	348
1955-56	2,3	28,0	77	172	316
1956-57	0		30	54	110
1957-58	0	0	20	123	303

8°

7°

6°

5°

12°

10°

13°

14°

5°

15°

6°

10°

17°

BAMAKO

KOULIKORO

SEGOU

DIOILA

KE-MACINA

Tilimbega

NIAFOUNKE

GOUNDAM

DIRE

TOMBOUCTOU

DJENNE

MOPTI

BANDIAGARA

SAN

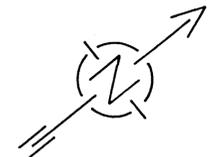
KOUTIALA

GOURMA-RHAROUS

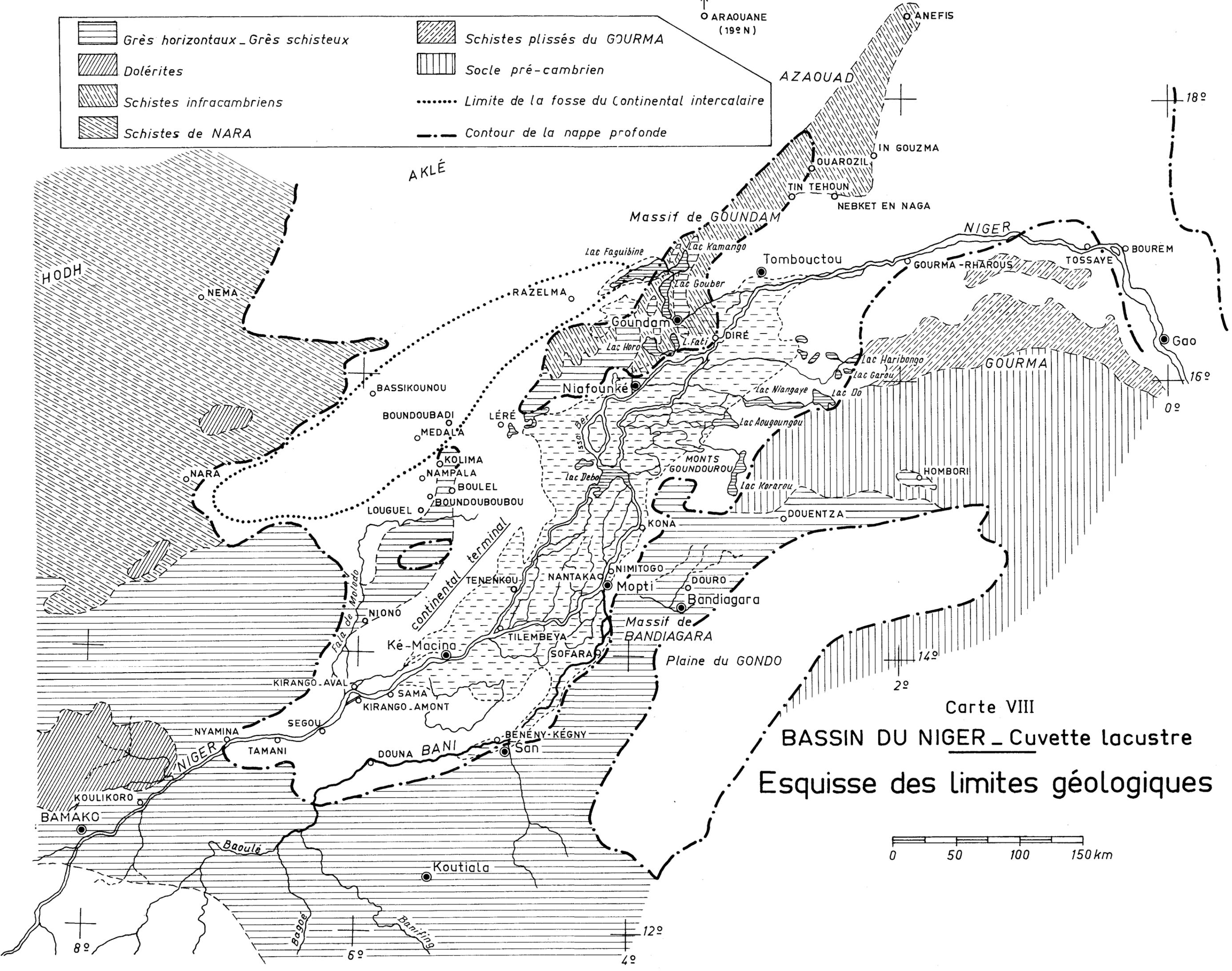
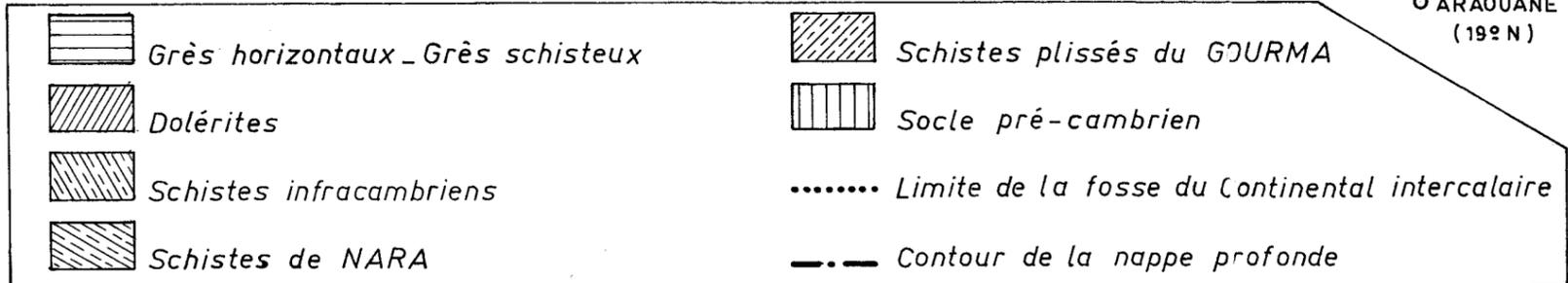
Carte VII
BASSIN DU NIGER
Carte descriptive
de la cuvette lacustre



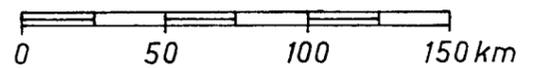
- Limite de la cuvette lacustre
- Zone inondable
- - - - - Limite de bassin partiel et superficie en km²
- KOULIKORO** Station hydrométrique principale
- KE-MACINA** Station hydrométrique secondaire

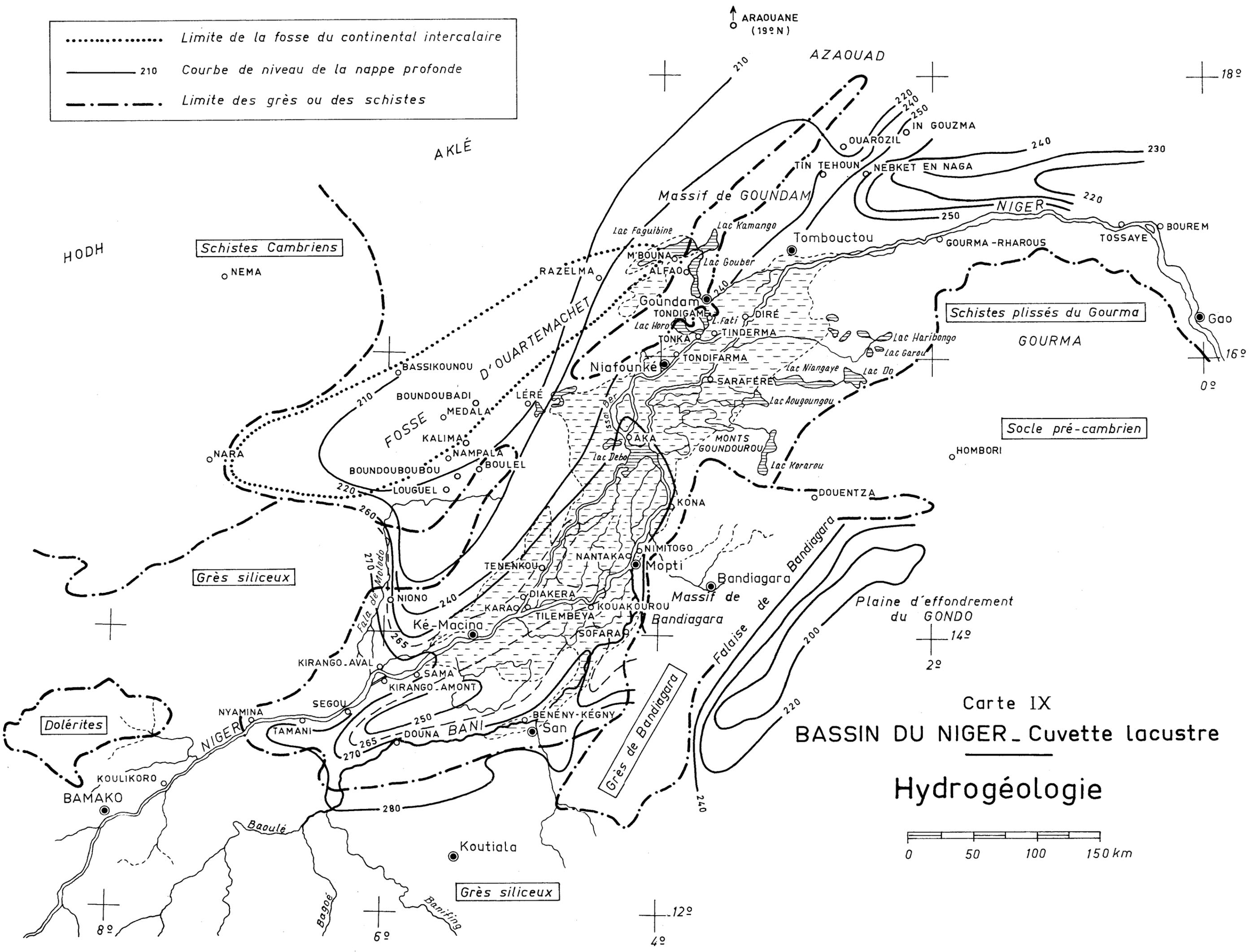
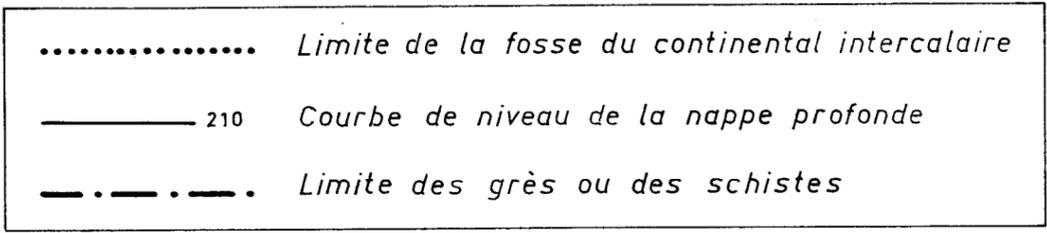


Chabaria
Tossaye
Barkaina
Korgoye
Bamba
Tin Naten

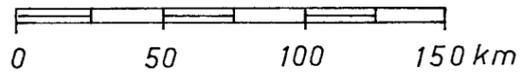


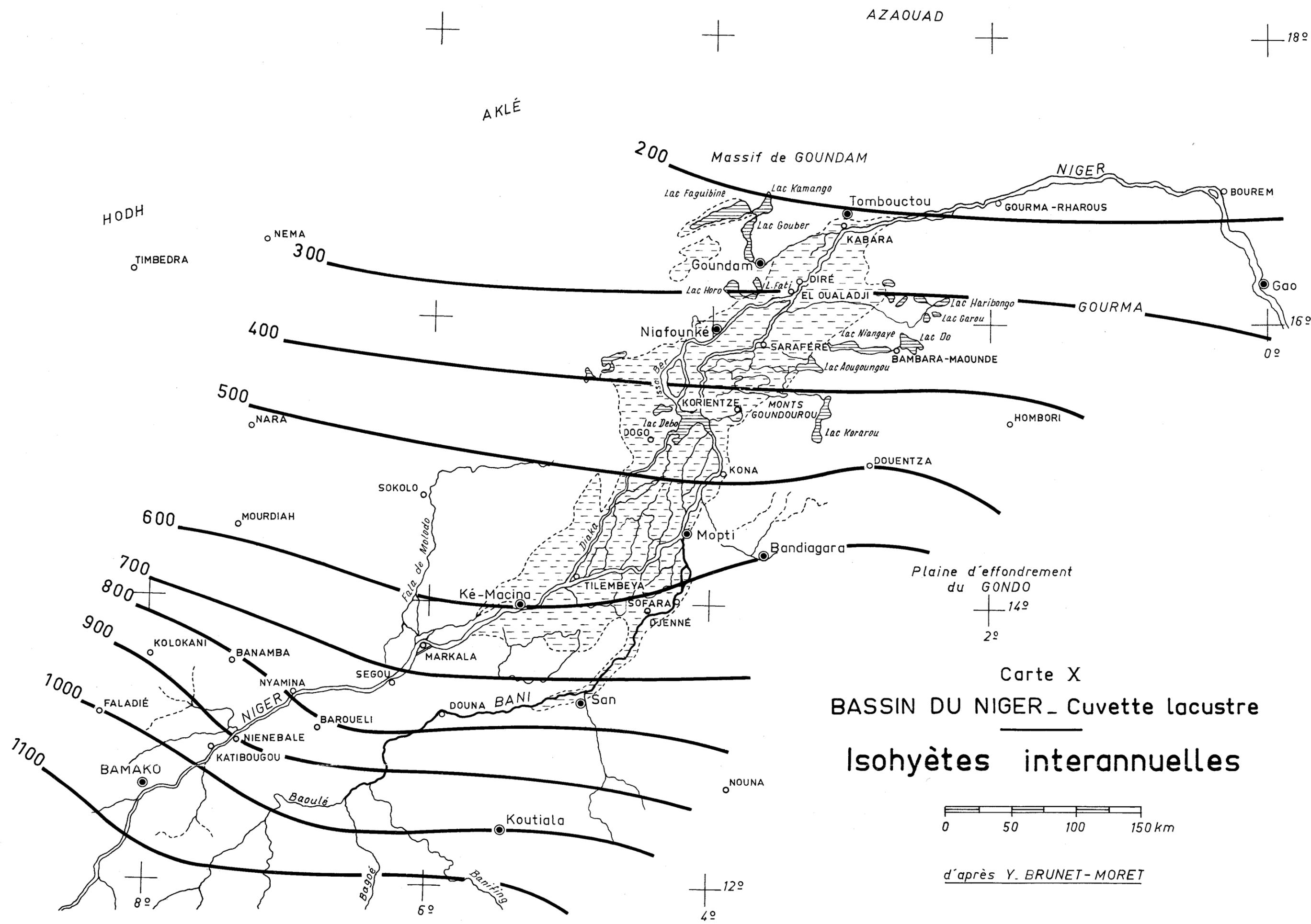
Carte VIII
BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre
Esquisse des limites géologiques



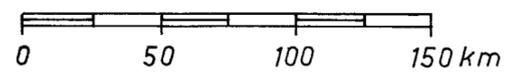


Carte IX
 BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre
 Hydrogéologie



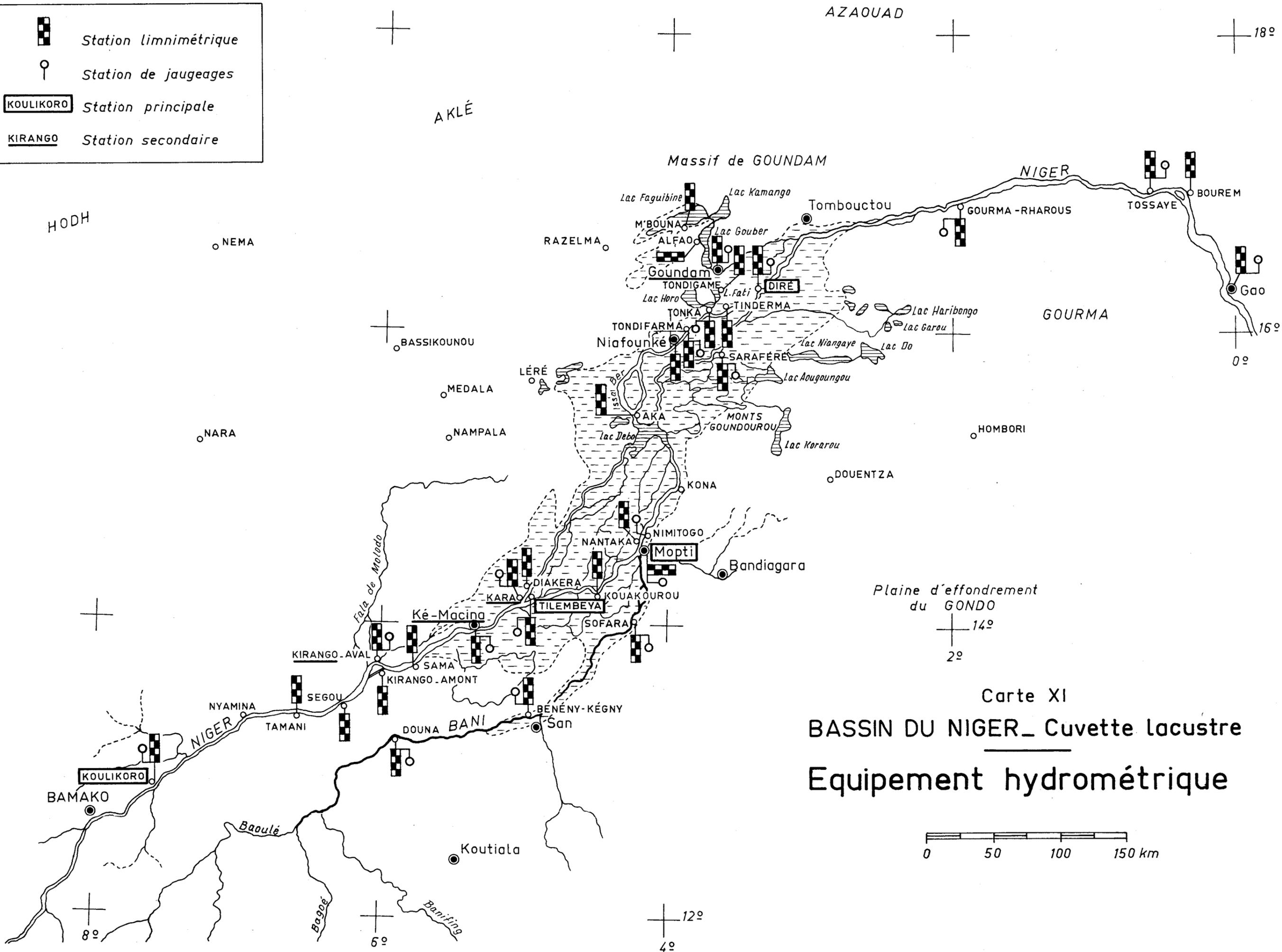


Carte X
 BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre
 Isohyètes interannuelles



d'après Y. BRUNET-MORET

	Station limnimétrique
	Station de jaugeages
	Station principale
	Station secondaire



Carte XI
 BASSIN DU NIGER_ Cuvette lacustre
 Equipement hydrométrique

Imprimé en France
DÉPÔT LÉGAL N° 1
2^e TRIMESTRE 1970
Copyright by Secrétariat d'Etat
aux Affaires Etrangères

Imprimerie RIVATON
PARIS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER



SECRETARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES
COMITÉ INTERAFRICAIN
D'ÉTUDES HYDRAULIQUES



MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU BASSIN DU NIGER

3^{ème} PARTIE

LE NIGER MOYEN



MAI 1970

T R O I S I E M E P A R T I E

Le NIGER MOYEN

Le NIGER moyen, objet de cette troisième partie, est le tronçon du fleuve qui s'étend entre TOSSAYE, considéré comme l'exutoire de la Cuvette Lacustre, et la frontière du NIGERIA.

Si l'on considère seulement le relief des régions qu'il traverse, le bassin versant drainé par le NIGER moyen est théoriquement immense. Il est compris entre :

- les parallèles 10° et 24° Nord
- et les méridiens 2° Ouest et 9° Est.

Inscrit approximativement dans un rectangle dont le grand côté est orienté du Sud-Ouest au Nord-Est, le bassin théorique du NIGER moyen est limité :

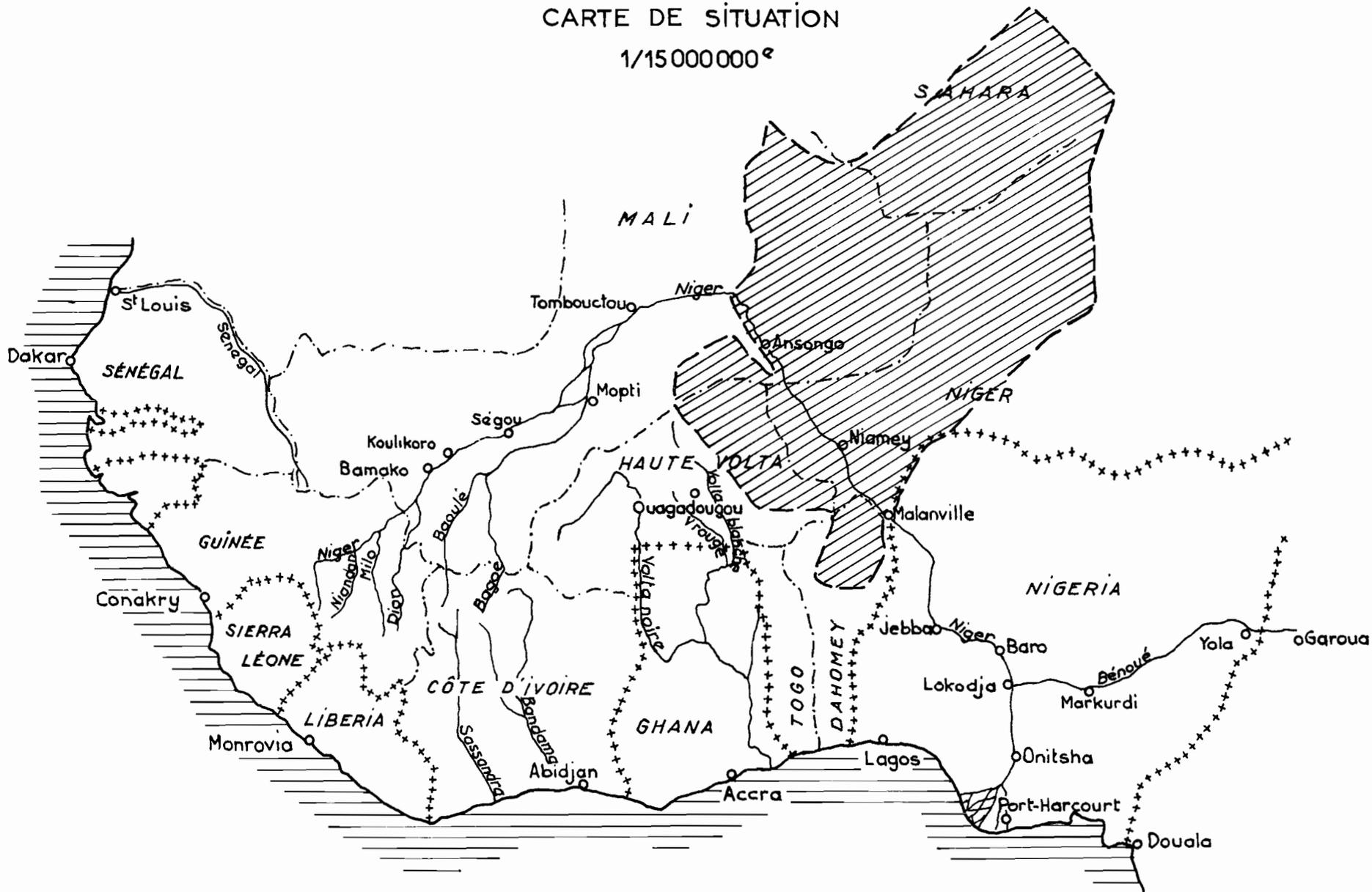
- à l'Ouest, par la cuvette lacustre du NIGER, elle-même comprise entre deux zones endoréïques, le GOURMA au Sud et l'AZAOUAK au Nord.
- Au Nord, par les bassins du TANEZROUFT et du versant Nord de l'AHAGGAR.
- A l'Est, par le bassin théorique du TCHAD depuis l'AHAGGAR jusqu'à la frontière du NIGERIA.
- Au Sud, par le bassin d'un affluent de rive gauche du NIGER inférieur, la rivière de SOKOTO, puis par les bassins des fleuves OUEME et VOLTA.

En fait, le bassin du NIGER moyen est en grande partie aréïque. Sur 900 000 km² de superficie globale, seuls les 150 000 km² que représentent à peu près les bassins des affluents de rive droite, donnent lieu à des phénomènes d'écoulement caractérisés.

Bassin Théorique du NIGER MOYEN

CARTE DE SITUATION

1/15000000^e



Les affluents voltaïques, GOROUOL, DARGOL, SIRBA, DIAMANGOU et TAPOA ont un trop faible coefficient d'écoulement pour influencer notablement le régime du NIGER. Seuls les affluents dahoméens, MEKROU, ALIBORI et SOTA, dont les bassins orientés du Sud au Nord sont relativement bien arrosés (pluviométrie moyenne de 1 100 mm), modifient la forme de l'hydrogramme annuel du NIGER en provoquant une crue d'origine locale (maximale en Septembre) qui vient se superposer à la crue issue du bassin supérieur dont le maximum n'arrive à la frontière du NIGERIA qu'en Mars. Le maximum de Septembre est de même importance que celui de Mars.

Les affluents actifs sur la rive gauche du NIGER, de TOSSAYE à MALANVILLE, sont inexistant, mis à part des ruissellements très localisés et très faibles en bordure de la vallée. La faiblesse de la pluviométrie et des pentes et surtout la nature perméable des terrains ont provoqué la dégradation du réseau hydrographique et l'endoréisme des bassins.

Les vestiges du réseau hydrographique de grandes vallées fossiles (TILEMSI, ATANKARER, AZAOUAK et DALLOL BOSSO), plus ou moins marqués suivant la latitude et la nature du sol, témoignent de la puissance des écoulements à une certaine époque du quaternaire.

L'AZAOUAK et le Bas NIGER formaient jadis une même artère orientée Nord-Sud et longue d'environ 2 800 km qui drainait la partie Sud de l'AHAGGAR et le versant Ouest de l'AÏR.

Par ailleurs, un affluent de rive droite de l'AZAOUAK occupait le lit actuel du NIGER entre BAMBA et GAO et drainait les versants Ouest (Oued Tilemsi) et Est (Oued In Atankarer) de l'ADRAR des IFORAS.

Il n'y avait alors pas de liaison entre les deux systèmes hydrographiques constitués par le Tilemsi, l'Atankarer, l'Azaouak et le NIGER inférieur, d'une part, et par le NIGER supérieur, le BANI et la Cuvette Lacustre, d'autre part.

Suivant l'alternance des périodes sèches et humides du quaternaire, la Cuvette Lacustre qui était alors une sorte de mer intérieure, a subi une succession de remplissages et d'ensablements partiels qui ont fini par provoquer des déversements par-dessus le socle primaire aux environs de TOSSAYE. Ces déversements ont lentement érodé le seuil de TOSSAYE et ont emprunté le lit d'un affluent du TILEMSI. L'Oued TILEMSI lui-même était durant les périodes humides du quaternaire une rivière

vigoureuse qui a provoqué des phénomènes d'érosion régressive facilitant à son tour la jonction des deux ensembles hydrographiques primitivement indépendants.

Par la suite une dernière période sèche s'est instaurée progressivement et a donné au bassin du NIGER moyen sa physionomie actuelle. Les apports de l'ADRAR des IFORAS, de l'AHAGGAR et de l'AÏR sont devenus complètement nuls et le cours inférieur des anciennes vallées qui les drainaient n'a plus été alimenté que par les eaux de la Cuvette Lacustre s'échappant par le seuil de TOSSAYE. Le cours même du NIGER moyen sur plus de 500 km en aval de ce seuil (jusque vers le "W") est devenu une sorte de canal se dirigeant vers le Sud-Est et ne recevant que de très faibles apports sur sa rive droite, malgré l'immensité de son bassin versant théorique.

Par suite de la disproportion entre la superficie du bassin théorique et celle du bassin réellement actif, nous avons été conduits à adopter pour cette troisième partie un plan sensiblement différent aussi bien de celui de la première que de la deuxième partie, tout au moins en ce qui concerne les facteurs conditionnels du régime hydrologique.

Après avoir examiné la géologie et la pédologie de l'ensemble du bassin, nous étudierons successivement les caractéristiques générales de la vallée du fleuve, des affluents voltaïques et dahoméyens de rive droite et des affluents fossiles de rive gauche. Pour ces derniers, leur intérêt étant nul pour l'étude du bilan hydrologique du NIGER moyen, nous examinerons dans un même chapitre la description du réseau et sa dégradation, en précisant toutes les données hydrologiques et les caractéristiques d'écoulement que nous possédons sur cet ensemble complexe. Dans les deux chapitres suivants, nous aborderons rapidement l'hydrogéologie du bassin, puis le profil en long et les variations du plan d'eau du NIGER et de ses affluents de rive droite.

L'étude des facteurs conditionnels se terminera comme dans les deux premières parties par l'examen des données climatologiques. Les chapitres ultérieurs suivront également un plan assez analogue à celui de la deuxième partie :

Hydrométrie, régime du bief TOSSAYE-NIAMEY, régime des affluents voltaïques, régime des affluents dahoméyens, régime du NIGER à MALANVILLE.

C H A P I T R E I

GEOLOGIE

=====

Nous nous contenterons d'évoquer les seules données géologiques qui ont une influence sur le ruissellement superficiel, l'écoulement des eaux souterraines, la forme des vallées ou les accidents du profil en long du fleuve. Ainsi nous esquisserons rapidement les principaux affleurements dans les diverses provinces géologiques du bassin, puis nous décrirons les accidents géologiques qui marquent le cours du fleuve (voir cartes XIII et XIV).

A - ESQUISSE GEOLOGIQUE du BASSIN -

On peut distinguer les provinces géologiques (1) suivantes :

- Les formations du GOURMA et du BELI (Vallée du BELI)
- L'ADRAR des IFORAS (Vallée fossile du TILEMSI)
- le "DETROIT Nigérien" (anciennement dit "DETROIT Soudanais")
- Le CONTINENTAL TERMINAL (Vallées fossiles des DALLOLS)
- L'AHAGGAR et l'AÏR (Vallées fossiles de l'AZAOUAK)
- Le LIPTAKO (bassin de la SIRBA)
- Le PRECAMBRIEN du Nord-DAHOMÉY (bassin de la TAPOA, de la MEKROU et de l'ALIBORI)
- Le CRETACE Supérieur de l'Est-KANDI (bassin de la SOTA).

(1) Des recherches géochronologiques récentes donnent à penser que l'échelle stratigraphique à laquelle nous nous référons ici demandera à être révisée assez profondément.

1°) - Les formations du GOURMA et du BELI :

Le GOURMA et la région du BELI constituent une vaste péné-plaine précambrienne qui, insérée dans la boucle du NIGER, a été usée et fortement rabotée à l'EST. Les formations de cette série (schistes, quartzites et grès) se succèdent en gros d'Ouest en Est, puis s'interrompent brusquement le long d'une faille qui passe à l'Ouest de GAO et que l'on suit jusqu'à ANSONGO. A l'Est d'ANSONGO, le Continental terminal repose en biseau sur le socle (REICHEL, 1967).

Cette faille est l'amorce d'une grande dislocation du socle précambrien qui constitue le "fossé de GAO". Celui-ci est une sorte de chenal au fond du "Détroit Nigérien" qui, entre les deux massifs de l'ADRAR et du LIPTAKO voltaïque, a relié depuis le Crétacé jusqu'à l'Eocène la mer Nord-Africaine et le Golfe de GUINEE.

2°) L'ADRAR des IFORAS :

Cet ancien massif, où prennent naissance les vallées fossiles du TILEMSI et de l'ATANKARER, a été fortement érodé. Le socle précambrien représenté par des gneiss, cipolins, quartzites et schistes a été remanié par de nombreuses intrusions éruptives (granites et rhyolites).

Le massif est bordé à l'approche du Détroit Nigérien par des dépôts marins (calcaires), lagunaires (sédiments phosphatés) ou continentaux (grès, argiles), qui sont d'âge secondaire ou tertiaire.

3°) - Le Détroit Nigérien :

Ainsi qu'il a déjà été indiqué, le Détroit Nigérien comporte sur une partie de sa largeur un fossé tectonique qui a été incisé dans le socle précambrien et qui atteindrait une profondeur de 1 000 à 1 500 m d'après des reconnaissances gravimétriques.

Le fossé est comblé par des sédiments marins s'étageant depuis le Sénonien jusqu'à l'Eocène moyen (grès, molasses riches en glaucome, schistes phosphatés) auxquels correspondent en bordure du Détroit des sédiments à faciès continental.

L'ensemble du Détroit Nigérien est recouvert par les dépôts du Continental Terminal.

4°) - Le Continental Terminal :

Il forme une bande de largeur variable qui s'étend presque entièrement sur la rive gauche du NIGER, depuis la grande boucle du fleuve jusqu'à la frontière du NIGERIA.

L'aspect le plus courant du Continental Terminal comprend, sous une cuirasse ferrugineuse et des alluvions sableuses, des grès argileux, puis siliceux ou ferrugineux et enfin des argilites provenant de la décomposition du socle précambrien.

Parfois, entre le Continental Terminal et le Socle, il existe des dépôts de l'Eocène, du Crétacé ou du Continental Intercalaire.

5°) - L'AHAGGAR et L'AÏR :

Le versant Sud de l'AHAGGAR et le versant Ouest de l'AÏR constituent le haut bassin de la vallée fossile de l'AZAOUAK.

L'AHAGGAR est un puissant massif constitué essentiellement de granites et de venues volcaniques récentes (phonolites et surtout basaltes) qui donnent au paysage un aspect très caractéristique. Les sommets atteignent 3 000 mètres.

L'AÏR a une constitution géologique assez similaire. Ce vaste massif formé en grande partie de granites précambriens présente cependant dans l'ensemble des formes plus molles que l'AHAGGAR. Les plus hauts sommets atteignent 1 900 mètres et sont constitués par des intrusions de jeunes granites qui ont redonné quelque vigueur au relief. L'AÏR a également été le siège de phénomènes volcaniques nombreux (basalte, trachytes, rhyolites).

A l'Ouest du massif de l'AÏR, le socle précambrien est recouvert par une série de roches détritiques primaires (schistes, grès, conglomérats) puis par le Continental intercalaire où s'individualisent bien les grès d'AGADES, les argilites de l'IRHAZER et les argilites et les grès du groupe du TEGAMA. Le Crétacé supérieur marin, calcaire et gréseux, affleure de manière plus discontinue à l'Ouest des vastes affleurements du groupe du TEGAMA. La présence d'une bande de grès au contact du socle permet l'alimentation de nappes aquifères à l'Ouest de l'AÏR, à partir du ruissellement qui prend occasionnellement naissance dans le massif.

6°) - Le LIPTAKO :

Cette province géologique, limitée au Nord par les formations du BELI, à l'Est par le NIGER, au Sud-Est et à l'Ouest par les niveaux grés-schisteux cambriens du Nord-TOGO, représente la presque totalité de la HAUTE-VOLTA.

Les arènes granitiques, les éboulis chaotiques de falaises et les reliefs tabulaires cuirassés donnent au paysage monotone l'allure d'une vaste pénéplaine rabotée par l'érosion.

On distingue deux formations essentielles :

- le Birrimien (roches vertes, amphibolites, schistes rouges ou violacés, quartzites),
- et les granites du LIPTAKO.

Des venues de dolérites sont également assez fréquentes.

7°) - Le PRECAMBRIEN du NORD-DAHOMÉY :

Dans la région qui nous intéresse, ces formations orientées NNE-SSO constituent les bassins de la MEKROU et de l'ALIBORI, s'étendant depuis le parallèle 10° N jusqu'au NIGER.

On y distingue :

- le "Dahoméyen" (gneiss et migmatites)
- les quartzites de l'Atacora et les micaschistes associés
- et le Buem (grès et jaspes).

8°) - Les GRES et ARGILES SEDIMENTAIRES de l'OTI :

Cette série s'étend entre le LIPTAKO et le BUEM le long de la frontière HAUTE-VOLTA et TOGO et rejoint le fleuve au droit de l'embouchure de la TAPOA.

Les niveaux grés-schisteux et les argiles de cette série sont considérés comme primaires.

9°) - Le Crétacé supérieur de l'Est-KANDI :

Il affleure sur la majeure partie du bassin de la SOTA. Les grès de KANDI sédimentaires recouvrent les gneiss de l'Ouest-KANDI à l'Ouest de la route GAYA-KANDI. Ces formations gréseuses largement cuirassées laissent affleurer des massifs d'embranchites (groupe de PIRA), qui constituent la haute vallée de la SOTA.

Au Sud (vallée de la TANSINET), nous retrouvons les gneiss du "DAHOMÉYEN" et les granites syntectoniques.

B - ASPECTS GEOLOGIQUES de la VALLEE

1°) - Bief TAKAMBA - TOSSAYE :

Dans son mouvement de contournement des formations anciennes du GOURMA, le NIGER dépasse au Nord le parallèle 17° pendant une trentaine de kilomètres à l'aval de BAMBA, coulant dans un profond "tayeurt" éolien. Ensuite il traverse les affleurements de quartzites de la série de TAKAMBA.

Dans cette partie du cours, le lit est entièrement rocheux avec de nombreux blocs et massifs isolés ; son tracé présente des resserrements et des déboîtements brusques indiquant les difficultés du franchissement qui se poursuivent jusqu'à l'aval du seuil de TOSSAYE.

Rappelons que l'érosion de ces affleurements rocheux a conditionné jadis la jonction des deux réseaux hydrographiques indépendants du NIGER Supérieur et de la Cuvette Lacustre, d'une part, et de la vallée du TILEMSI d'autre part.

Divers sites de barrage ont été étudiés en Décembre 1956 (Mission J. DUCÉLLIER). Il faut en retenir que le site de TOSSAYE souvent proposé pour la régularisation et le plus étroit (250 à 300 mètres), semble être le moins intéressant du fait de l'existence sur la rive droite d'un épais placage de cuirasse ferrugineuse. Par contre, les sites de BOSSELIA et de BARKAINA, en roc sain, paraissent répondre aux conditions imposées par le génie civil.

2°) - Bief TOSSAYE - ANSONGO :

A l'aval de BOUREM, la vallée s'élargit dans de notables proportions (3 à 5 km) et laisse apercevoir sur la rive gauche les collines de grès du Continental Terminal. En face de GAO, la rive droite est plaquée d'une série de dunes vives. Derrières ces dunes, les "falaises de GOURMA", limite d'affleurement des quartzites d'ANSONGO se rapprochent progressivement du fleuve vers l'aval, tout en devenant plus hautes et plus nettes. Elles indiquent la faille qui délimite la bordure Sud-Ouest du Détroit Nigérien.

La rive gauche du fleuve marque la limite des affleurements grés-argileux du Continental Terminal.

Depuis GAO, le NIGER emprunte la vallée fossile du TILEMSI, dont le fond est dallé d'alluvions descendues de l'ADRAR. Ces alluvions scellés dans un ciment de cuirasse démontrent l'état fossile de la vallée lors de sa remise en eau.

3°) - Bief ANSONGO-FIRGOUN :

A l'aval immédiat d'ANSONGO la faille du Détroit Nigérien traverse de part en part le fleuve qui franchit ensuite sur une centaine de kilomètres la plupart des formations de la série du GOURMA, la bande étroite des grès du BELI et débouche dans les formations précambriennes du LIPTAKO.

A environ 25 km en aval d'ANSONGO, près du village de BOURRE, la vallée traverse un massif lenticulaire d'ortho-gneiss et de granite intrusifs. Divers accidents géologiques de ce genre donnent au cours du fleuve une forte pente. Le lit se subdivise fréquemment en plusieurs bras qui serpentent au milieu des rochers et donnent lieu à des successions de rapides (rapides de LABBEZANGA notamment).

4°) - Bief FIRGOUN-TILLABERY-GOTHEYE :

Le fleuve s'engage dans les granites du LIPTAKO, recouverts de lambeaux de Birrimien (amphibolites et schistes).

Les passes d'amphibolites sont la cause d'élargissements pittoresques où le lit se fractionne en de multiples bras enserrant des îlots innombrables et obliquant parfois brusquement à angle droit au milieu de blocs rocheux (rapides d'AYOROU et de "AMALE).

5°) - Bief GOTHEYE-NIAMEY-KIRTACHI :

A l'aval de GOTHEYE, le cours du fleuve traverse sur une quinzaine de kilomètres la partie Nord-Est du plus important massif d'amphibolites du LIPTAKO. Il s'agit du massif LOUGUI-GOTHEYE dont l'épaisseur serait considérable (plusieurs kilomètres) d'après les anomalies gravimétriques observées dans la région (Mlle CRENN - ORSTOM, 1953).

La vallée s'enfonce ensuite dans les dépôts du Continental Terminal et le fleuve longe sur sa rive gauche les grès jaunes et rouges qui en forment le faciès supérieur. Le NIGER coule sur des revêtements alluvionnaires récents qui dissimulent le socle décomposé.

6°) - Bief KIRTACHI-MALANVILLE :

A une cinquantaine de kilomètres en aval de KIRTACHI, le cours du fleuve décrit sur une vingtaine de kilomètres un tracé comportant des angles brusques et évoquant la lettre W ; d'où le nom donné à ce secteur du fleuve qui est sauvage et difficilement accessible, mais qui est bien connu à cause de la réserve de chasse aménagée sur sa rive droite.

Les formations du Continental Terminal ont été décapées par l'érosion extensive de la vallée et laissent apparaître les formations du Voltaïen (grès et quartzites plissés) qui composent les berges du fleuve dans le W.

Le NIGER a creusé son lit suivant deux directions dominantes (NNE-SSO et ESE-ONO) qui sont, d'une part, celle des plissements et, d'autre part, celle des chenaux d'érosion transversaux.

Les falaises des rives ne forment jamais de défilé rocheux étroit ; elles sont encombrées de gros blocs démantelés. Néanmoins, après décapage, cette région pourrait offrir un site de barrage hydro-électrique qui serait techniquement réalisable mais relativement coûteux.

Au voisinage du confluent de la MEKROU, le NIGER effleure sur sa rive droite l'extrémité septentrionale de l'arête de quartzites d'Atacora qui traverse en arc le TOGO et le DAHOMEY, puis s'enfonce sous le Continental Terminal. Les quartzites n'apparaissent pas cependant dans le lit même du fleuve colmaté d'alluvions récentes.

En aval et jusqu'à la frontière du NIGERIA, la vallée retrouve sur ses deux rives le Continental Terminal (grès), puis sur sa rive droite des alluvions surmontant le Crétacé de l'Est-KANDI.

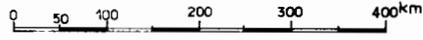
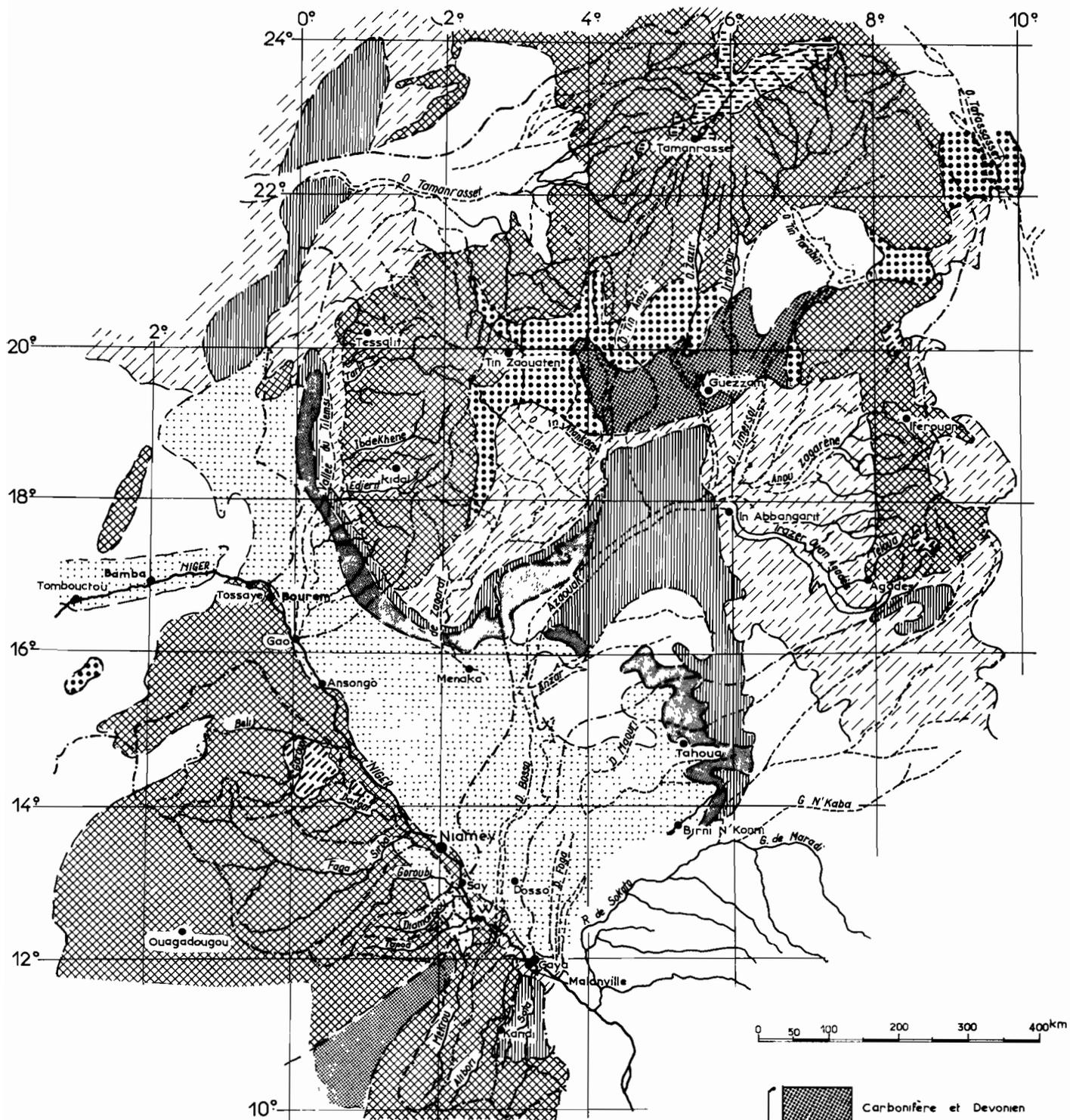
Indiquons enfin qu'en bordure du fleuve, sur la rive gauche entre KOULOU et SANAFINA, des lambeaux de gneiss émergent du Continental Terminal.

B I B L I O G R A P H I E

- Bulletin du Service Fédéral des Mines et de la Géologie (ex-AOF) :
 - n° 22 : Le Précambrien du DAHOMEY (R. POUGNET - 1955).
 - n° 23 : Le Précambrien du TOGO et du Nord-Ouest du DAHOMEY (P. AICARD - 1953).
 - n° 24 : Le Précambrien de la partie orientale de la Boucle du NIGER (P. MASCLANIS - 1955).
 - n° 26 : Tome I - Le Précambrien saharien au Sud de l'ADRAR des IFORAS (H. RADIÉ).
Tome II - Le bassin crétacé et tertiaire de GAO.
Le détroit Soudanais (H. RADIÉ - 1957).
- Rapport de fin de mission géologique (J. GREIGERT - 1955).
- Rapport de mission dans la vallée du NIGER (J. DUCÉLLIER - 1956).
- Carte géologique de l'Afrique Occidentale au 1/2 000 000 (BRGM - 1959).
- GREIGERT J. - 1957 : Rapport inédit D.F.M.G. AOF - DAKAR
- " -- 1963 : Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemenden, Afrique Occidentale, Publ. Dir. Mines et Géol. n° 2, Rép. du NIGER.
- JOULIA F. - 1963 : Carte géologique de reconnaissance de la bordure sédimentaire de l'AÏR, au 500 000^e, BRGM, PARIS 2 feuilles.
- REICHEL T. - 1967 : Le fossé de GAO (MALI) - 4ème Colloque de Géologie Africaine, SHEFFIELD.
- MACHENS E. - 1967 : Notice explicative sur la carte géologique du NIGER Occidental (échelle au 1/200 000^e), BRGM, PARIS, 36 p.
2 planches en couleur.

BASSIN DU NIGER MOYEN

Croquis géologique



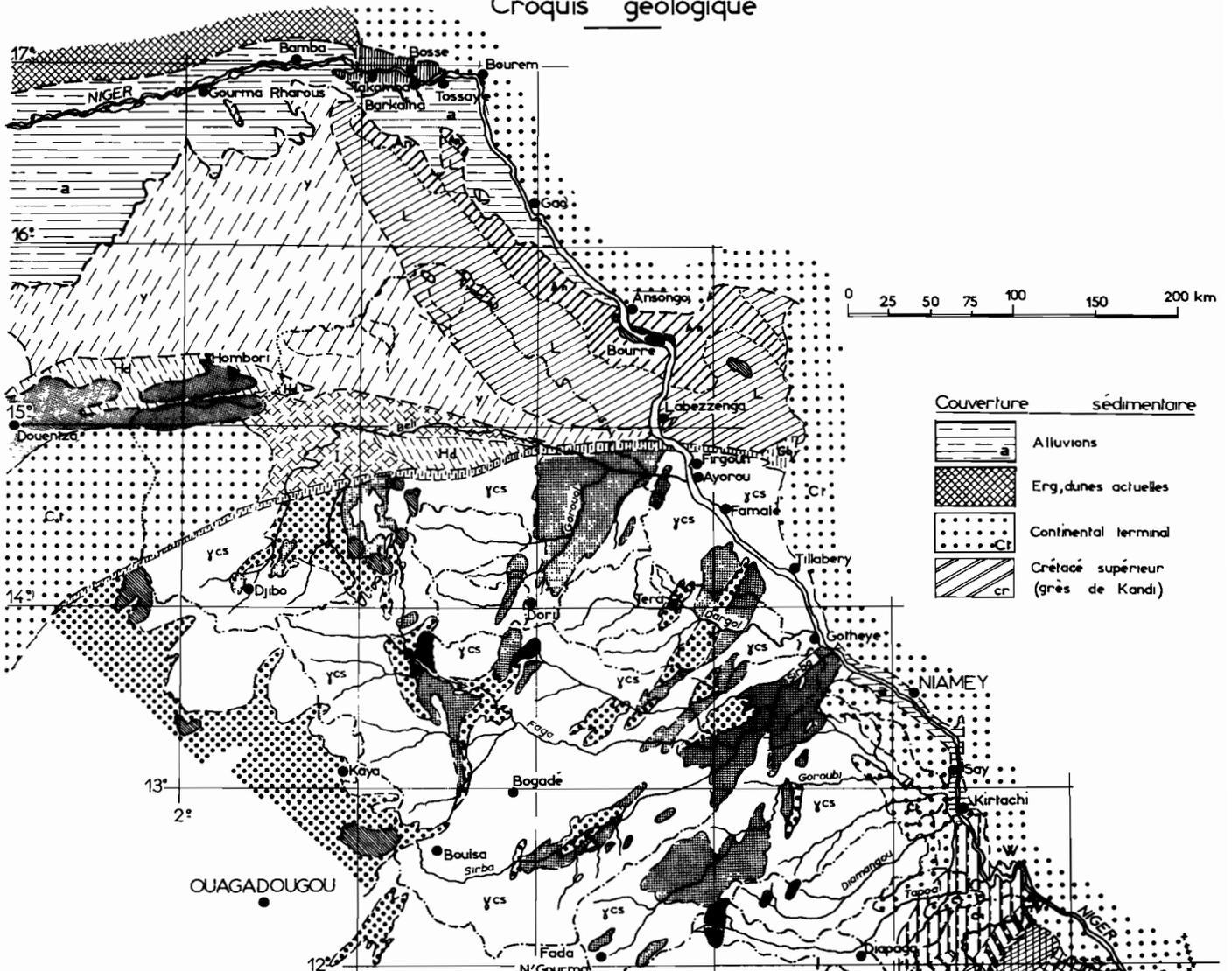
- Terrains sédimentaires-**
- Recouvrements récents
 - Continental terminal
 - Éocène
 - Crétacé moyen et supérieur
 - Continental intercalaire

- Terrains primaires-**
- Terrains cristallins et Précambrien-**
- Carbonifère et Devonien
 - Ordovicien (Silurien au Niger)
 - Cambrien
 - Précambrien moyen et supérieur
Socle archéen et granites
 - Roches ignées basiques
 - Roches d'épanchement (basaltes)

BASSIN DU NIGER MOYEN

(Rive droite)

Croquis géologique



Couverture sédimentaire

	Alluvions
	Erg, dunes actuelles
	Continental terminal
	Crétacé supérieur (grès de Kandi)

Précambrien - DAHOMEY - TOGO -

	Buem
	Série de Kandi Sémitoschistes.
	Atacorien (Micaschistes-Quartzites)
	Gneiss à muscovite, à deux micas
	Gneiss à biotite, à biotite et amphibole, leptynites
	Orthogneiss à pyroxène, pyroxénites
	Migmatites

Dahomeyen

Roches éruptives

	Dolérites
	Granites syntectoniques ou du Liptako
	Granites calco-alcalins post-tectoniques

Précambrien - NIGER - MALI -

	Schistes de Toun
	Série de Hombori-Douentza
	Série dolomitiques d'Irma
	Schistes d'Ydouban
	Grès du Béli
	Schistes de Labezzenga
	Quartzites d'Ansongo
	Schistes, grauwackes métamorphiques
	Roches vertes
	Série de Takamba

Birmien

Primaire

	Grès supérieurs
	Schistes de l'Or

Voltaïen

CHAPITRE II

ESQUISSE PEDOLOGIQUE

(d'après B. DABIN, pédologue de l'ORSTOM)

A - GENERALITES

Le long de la vallée du NIGER entre ANSONGO et MALANVILLE, on peut distinguer deux zones principales, l'une située au Nord de NIAMEY, où la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 300 à 600 mm, l'autre au Sud de la capitale, où la pluviométrie croît progressivement de 600 à 800 mm.

Ces deux zones se distinguent par la nature de certains sols alluvionnaires et par l'extension des formations dunaires beaucoup plus abondantes dans la partie Sud.

B - Les SOLS de la VALLEE au NORD de NIAMEY

1. Dans les régions de FIRGOUN et de TILLABERY on observe, entre le plateau gréseux du Continental Terminal et le fleuve, un assez large glacis où les sols appartiennent au groupe des sols bruns steppiques. Ils présentent jusqu'à un mètre de profondeur un horizon sablo-limoneux très homogène, à structure fondue moyennement compacte. Ils supportent une végétation clairsemée d'épineux (Acacia seyal et acacia tortilis). Le relief est en général très plat, ce qui réduit l'érosion hydrique. L'érosion éolienne peut en revanche être assez sensible. Ces sols sont peu perméables et s'engorgent facilement.

En bordure de la vallée, on rencontre plusieurs bandes de sols alluvionnaires dont la largeur totale ne dépasse pas un kilomètre et que nous allons décrire ci-après.

2. Les sols sableux exondés appartiennent au groupe des sols ferrugineux tropicaux non lessivés. Ils présentent le profil-type suivant :

- 0 - 30 cm : Horizon beige rosé, très pulvérulent, riche en sable fin.
- 30 - 100 cm : Horizon sableux, beige ocre, plus grossier mais possédant une très légère cohésion.

De petites dunes donnent un certain relief à ces sols qui sont cultivés en mil, sorgho et parfois en arachides. Les espèces arbustives dominantes sont *Guiera Senegalensis*, *Acacia Albida* et *Balanites Aegyptiaca*.

Ces sols sont susceptibles d'absorber rapidement les premières pluies, mais ils peuvent ensuite s'engorger. Si la pente est suffisante, le ruissellement est alors intense et provoque une forte érosion du relief dunaire. Ces sols sont également sensibles à l'érosion éolienne.

3. Les sols hydromorphes minéraux à gley constituent le premier sous-groupe dans lequel on doit classer les sols alluvionnaires inondables. Un profil caractéristique est le suivant :

- 0 - 25 cm : Horizon limono-argileux, gris foncé, structure un peu grenue et moyennement compacte.
- 25 - 40 cm : Horizon gris-brun, limono-argileux, devenant brun à la base avec quelques taches ocres ; structure polyédrique à tendance compacte.
- 40 - 50 cm : Horizon brun, avec quelques taches ocres, plus argileux, plus compact.
- 50 - 70 cm : Horizon brun-clair, argileux, plastique, avec rares tâches ocres.
- 70 - 90 cm : Horizon gris à taches ocres, argilo-sableux, plastique.
- 90 - 100 cm : Gris à taches ocres de plus en plus nombreuses, argilo-sableux, plastique.
- 100 - 120 cm : Horizon de sable grossier, un peu argileux, grisâtre, constituant le fond de la couche d'alluvions.

La végétation naturelle de ces sols est constituée en majeure partie de graminées et de plantes aquatiques. Leur structure compacte les rend peu perméables et ne facilite pas leur drainage.

4. Les sols hydromorphes jeunes sur matériaux d'apport récent constituent le deuxième sous-groupe dans lequel peuvent se classer les sols alluvionnaires inondables. Nous en donnons un profil-type :

- 0 - 20 cm : Horizon gris clair, limoneux, structure un peu grumeleuse, moyennement humifère.
- 20 - 40 cm : Horizon gris-brun, sablo-argileux, assez friable (stru.fondue)
- 40 - 60 cm : Horizon gris-brun, argilo-sableux, peu compact.
- 80 - 90 cm : Horizon brun-grisâtre avec traînées de rouille, argileux, compact.
- 60 - 80 cm : Horizon brun, argileux, compact.
- 90 - 120cm : Horizon gris-brun à taches de rouille, argileux, compact, avec quelques grains de quartz et paillettes de mica.

Dans ces sols, la couche d'alluvions fine ne dépasse pas 120 cm ; au-dessous, on rencontre le soubassement de sable grossier.

La végétation naturelle, comme dans le sous-groupe précédent, comprend surtout des graminées et des plantes aquatiques. Ces sols ont une structure fondue très battante et sont de ce fait très peu perméables.

C - Les SOLS de la VALLEE au SUD de NIAMEY

1. La large bande de sols bruns steppiques disparaît et est remplacée par des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ; en certains points toutefois des sols argileux d'anciennes terrasses alluviales non inondées peuvent être classés parmi les sols bruns steppiques.

Les sols ferrugineux tropicaux sont le plus souvent des sols dunaires beiges, tels qu'ils ont été décrits plus haut (paragraphe B.2.). Il existe cependant des sols ocres qui proviennent généralement de la désagrégation des cuirasses tertiaires et que l'on rencontre soit sur le sommet, soit au pied des falaises. L'érosion des sols beiges donne également naissance à des sols beige-ocre voisins des sols ocres.

Les sols ocres se distinguent des sols beiges, outre leur couleur rouille plus foncée, par une teneur en argile légèrement plus élevée (5 à 10 % au lieu de 2 à 3 %) et par une teneur en matières organiques un petit peu moins pauvre. Au lieu d'être voisin de la neutralité, le pH peut également être assez nettement acide.

Le long du fleuve, on retrouve plusieurs bandes de sols alluvionnaires qui sont plus variés qu'au Nord de NIAMEY.

Le lit même du NIGER est constitué surtout par des sols jeunes hydromorphes sur matériaux d'apport récent, avec quelques bancs de sable grossier.

Dans les cuvettes latérales, on observe plusieurs groupes de sols hydromorphes (sous-classes des sols à hydromorphie totale semi-permanente et temporaire).

2. Sols hydromorphes organiques de fond de vallée.

Leur profil-type est le suivant :

0 - 90 cm : Horizon homogène de couleur noire, humide ; structure finement grumeleuse, richesse en humus élevée et bien répartie dans le profil, texture argilo-limoneuse.

90 cm : Sable grossier argileux, rougeâtre.

Certains de ces sols sont parfois recouverts d'une mince couche blanche de cristaux de gypse.

Ces sols possèdent une bonne perméabilité due à leur excellente structure. Ils peuvent se drainer si les conditions topographiques s'y prêtent.

3. Sols hydromorphes minéraux à gley de bordure de vallée.

Ces sols alluviaux sont de couleur :

- soit noire, avec le profil suivant :

0 - 50 cm : Horizon noir avec parfois quelques taches de rouille, limono-argileux ; structure grumeleuse peu compacte à l'état sec ; sol bien pourvu en matière organique qui semble bien répartie.

50 à 90 cm : Horizon brun avec quelques taches de rouille ; structure grumeleuse, texture argilo-limoneuse, bon drainage en saison sèche.

90 cm : Horizon sableux, rougeâtre, très légèrement argileux ; texture grossière correspondant à un alluvionnement antérieur.

- soit brune avec un profil assez différent :

0 - 50 cm : Horizon brun à brun gris, avec quelques taches de rouille ; texture limono-argileuse, structure très compacte, présence de fentes de retrait, matière organique bien répartie.

50cm à 1m : Horizon brun argileux, compact, avec taches de rouille beaucoup plus nombreuses.

1 m : Lit de graviers et galets.

Les sols noirs se drainent bien en surface, contrairement aux sols bruns qui sont compacts et peu perméables.

4. Sols intermédiaires.

Entre les sols hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux, on rencontre un groupe intermédiaire de sols exondés à texture sablo-limoneuse que l'on peut classer parmi les sols brun-rouge steppiques.

D - Les SOLS du BASSIN VERSANT

Nous nous contenterons d'indiquer qu'on retrouve des types de sols assez semblables à ceux de la vallée, à savoir :

- des sols ferrugineux tropicaux et des sols bruns steppiques sur les hauteurs et les zones drainées (le cuirassement des sols ferrugineux est presque total sur les grès de la rive gauche du fleuve);
- des sols hydromorphes dans les vallées et les bas-fonds marécageux.

Un empyement éolien plus ou moins prononcé peut être décelé en divers points du bassin.

CHAPITRE III

DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE

de la VALLEE

Sur les 900 km qui séparent TOSSAYE de la frontière du NIGERIA la vallée du NIGER Moyen présente des aspects différents dus à la diversité géologique des régions traversées et à l'accroissement progressif de la pluviométrie qui passe de 175 à 870 mm. On peut distinguer trois biefs principaux sur le cours moyen dont la direction générale est axée du Nord-Ouest au Sud-Est. (Voir carte XV)

A - BIEF TOSSAYE-ANSONGO (212 km)

Au défilé de TOSSAYE, la largeur du fleuve est de 200 à 300 m sur une distance d'environ 2 400 m. Les berges, rocheuses ou latéritiques, sont hautes et peuvent atteindre 30 m au-dessus de l'étiage.

A l'aval du défilé, la vallée du NIGER s'élargit notablement entre les grès de la rive gauche et les quartzites de la rive droite. Le lit mineur serpente en basses eaux d'une rive à l'autre, au milieu de nombreuses îles recouvertes de végétation herbacée qui sert de pâture aux troupeaux. Les cultures, presque inexistantes sur les berges, sont exclusivement pratiquées sur les sols alluvionnaires du lit majeur et plus particulièrement dans les bas-fonds exondés en basses eaux.

Lors des hautes eaux, les chenaux et la quasi-totalité des îles sont inondés ; le lit majeur a une largeur moyenne de 4 km dans le bief TOSSAYE-ANSONGO. Les surfaces mouillées sont d'environ :

820 m² pour le lit majeur

130 m² pour le lit mineur

En aval de TOSSAYE que nous prendrons comme origine du kilométrage du cours moyen (TOSSAYE est situé en fait à environ 2 050 km des sources guinéennes du fleuve), le NIGER ne reçoit aucun affluent actif. En aval de BOUREM (Km 26), on devine sur la rive gauche la vallée fossile

de l'oued ESSALAOUA dont le lit est obstrué de dépôts éoliens. Il en est de même pour la vallée du TILEMSI qui conflue avec celle du NIGER immédiatement en amont de GAO (km 110).

De GAO à ANSONGO (Km 212), quelques lits d'oueds de faible longueur entaillent la falaise de grès (oued ANDERNAMAN en particulier).

Sur ces 212 km de parcours, la navigation est possible durant toute la période de hautes eaux pour les chalands de moyens tonnages ; elle est entravée par les bancs de sable en basses eaux.

B - BIEF ANSONGO-NIAMEY

Le NIGER ne modifie pas sa direction générale NW-SE ; il utilise les zones de moindre résistance comme les lignes de faille et franchit les barres rocheuses par des rapides dont les plus connus sont ceux de FAFA (km 271), LABBEZANGA (km 321) et AYOROU (km 356). Le lit mineur se subdivise alors en une multitude de chenaux très caractéristiques.

La vallée présente des aspects différents suivant la nature des roches traversées ; elle est étroite d'ANSONGO à AYOROU (lit majeur inférieur à 2 km) ; la dernière barre rocheuse franchie à AYOROU, la vallée s'élargit, les îles et les chenaux redeviennent très nombreux ; on retrouve jusqu'au confluent de la SIRBA, la morphologie du bief situé en amont d'ANSONGO ; ensuite, jusqu'à NIAMEY (km 564) la vallée, d'une largeur inférieure à 2 km, est enserrée dans les grès du Continental Terminal qui surplombent les alluvions quaternaires ; le lit mineur divague d'un bord à l'autre.

La largeur moyenne du lit majeur dans le bief ANSONGO-NIAMEY est d'environ 2 km. Les surfaces mouillées sont voisines de :

- 670 m² pour le lit majeur
- 300 m² pour le lit mineur

L'accroissement de la pluviométrie entraîne la disparition progressive des zones endoréïques dans le bassin d'alimentation de ce bief. Le NIGER reçoit quelques apports qui sont cependant trop faibles pour influencer sensiblement le régime du fleuve.

Les affluents de rive gauche sont pratiquement inexistantes et se réduisent à quelques cours d'eau dont la partie active n'excède pas une dizaine de kilomètres.

Sur la rive droite, le GOROUOL, qui est le premier véritable affluent du NIGER Moyen, conflue au km 359, en aval d'AYOROU. Ensuite, ce sont le DARGOL et la SIRBA qui rejoignent le NIGER respectivement au km 486 et au km 504.

Les cultures ne se font guère qu'en bordure immédiate du fleuve et, à partir de FIRGOUN, dans les zones exondées aux basses eaux. La densité de la population riveraine, très faible d'ANSONGO à FIRGOUN, augmente en fonction de la largeur du lit majeur. Le service de l'Agriculture a aménagé plusieurs plaines dans lesquelles le contrôle de l'inondation permet une riziculture assez intensive ; citons les cuvettes de FIRGOUN, DAÏKENA et KOUTOUKALE, qui sont en général d'anciens bras ou méandres du fleuve que le lit mineur a abandonnés lors de ses divagations.

Le bief ANSONGO-NIAMEY est l'un des plus difficiles du NIGER pour la navigation ; les rapides de FAFA, LABBEZANGA et AYOROU en sont les principaux obstacles et bien qu'ils aient été franchis de nombreuses fois en très hautes eaux par des chalands de petit tonnage ou des vedettes de faible tirant d'eau, on peut considérer que le bief FAFA-MEANA est inexploitable. Seul le tronçon MEANA-TILLABERY-NIAMEY (170 km) est navigable en hautes eaux, malgré la présence de nombreux écueils.

Signalons que c'est un peu en amont de FIRGOUN, au km 330, que le fleuve quitte le territoire du MALI pour entrer sur celui de la République du NIGER.

C - BIEF NIAMEY-MALANVILLE (336 km)

La vallée a une largeur moyenne supérieure à 4 km. Sur l'ensemble du bief NIAMEY-MALANVILLE, les surfaces mouillées du NIGER sont voisines de :

- 140 m² pour le lit mineur
- 560 m² pour le lit majeur

La population riveraine est concentrée dans les régions alluvionnaires de la vallée propices aux cultures et aux pâturages, c'est-à-dire entre NIAMEY et SAY d'une part, BOUMBA et MALANVILLE d'autre part, et plus particulièrement dans les principales cuvettes de TENDIFAROU (km 578), KOLO (km 602), SAY (km 626), KOULOU (km 803) et ALBARKAÏZE (km 825).

Entre KIRTACHI et BOUMBA, la vallée est resserrée et les zones de cultures inexistantes ; les rares villages rencontrés sont habités par des pêcheurs.

En aval de NIAMEY, le NIGER reçoit plusieurs affluents sur sa rive droite. Les trois premiers viennent de HAUTE-VOLTA ; ce sont le GOROUBI (confluent au km 650), le DIAMANGOU (km 662) et la TAPOA (km 704). Leur régime est intermédiaire entre le type sahélien et le type tropical, mais la tendance tropicale n'est pas encore assez marquée pour que ces cours d'eau aient une influence bien sensible sur les débits du NIGER.

En aval du W, le NIGER reçoit les trois principaux affluents de son cours moyen qui viennent du DAHOMEY. Ce sont la MEKROU (confluent au km 768), l'ALIBORI (km 847) et la SOTA (km 863). Le confluent de cette dernière rivière est situé immédiatement en aval de la station hydrométrique de MALANVILLE (km 862). Les apports de ces affluents de régime tropical déterminent une première crue du NIGER en Septembre-Octobre presque aussi importante que la crue tardive issue du NIGER Supérieur qui ne parvient à MALANVILLE qu'en Février-Mars.

Sur la rive gauche du NIGER, les apports des affluents sont sinon tout à fait nuls, du moins à peu près négligeables. Citons le DALLOL BOSSO ou vallée fossile de l'AZAOUAK (confluent au km 770, à BOUMBA) et le DALLOL FOGA-MAOURI (km 894).

Le bief NIAMEY-DOLLE est navigable en hautes eaux, même pour les gros chalands. La frontière du NIGERIA passe à DOLLE à environ 25 km en aval de MALANVILLE.

D - PROFIL en LONG du FLEUVE

Le NIGER qui n'a pas encore atteint son profil d'équilibre sur tout son parcours entre TOSSAYE et MALANVILLE, présente des pentes moyennes qui varient, suivant la nature des terrains traversés, entre 3 et 27 cm/km.

Le graphique 96 montre deux lignes d'eau établies d'après les relevés des principales stations hydrométriques (1) du NIGER Moyen à deux dates distinctes : le 1er Mars 1955 au maximum de la crue annuelle, et le 1er juin 1955 au voisinage de l'étiage. Les deux lignes d'eau ont, dans l'ensemble, des pentes assez peu différentes ; l'amplitude moyenne de la crue annuelle est d'environ 3,5 m à la plupart des stations et ne descend guère au-dessous de 2,75 m dans la région de TILLABERY.

- Entre TOSSAYE et BOUREM, c'est-à-dire dans le bief marqué par le franchissement du "seuil de TOSSAYE", la pente moyenne n'est que de 4 cm/km et varie fort peu au cours de l'année.

- Entre BOUREM et GAO, la pente moyenne augmente très légèrement. Sa valeur minimale est de 4,9 cm/km en étiage et sa valeur maximale de 5,3 cm/km en Décembre.

- Le bief GAO-ANSONGO est celui qui présente la plus faible pente moyenne de tout le NIGER Moyen. Elle est voisine de 3 cm/km en étiage et de 4 cm/km en crue.

- A partir d'ANSONGO, le cours du NIGER quitte les terrains sédimentaires et coule sur des formations cristallines qui sont plus résistantes à l'érosion et donnent lieu à des accidents du profil déjà signalés. Entre ANSONGO et FIRGOUN, la pente moyenne est d'environ 14,8 cm/km en étiage et de 14,4 cm/km en crue. Entre les rapides, il existe certainement des biefs dont la pente doit être de l'ordre de 5 cm/km.

- Entre FIRGOUN et TILLABERY, on relève la plus forte pente de tout le NIGER Moyen. Elle est voisine de 27 cm/km et varie peu dans l'année. Cette pente relativement élevée n'exclut pas la présence de biefs calmes entre les zones de rapides.

- Entre TILLABERY et NIAMEY, la pente moyenne reste assez élevée : 16 cm/km. En fait, il est très vraisemblable qu'entre TILLABERY et GOTHEYE la pente est sensiblement plus forte, tandis qu'en aval de GOTHEYE elle devient inférieure à 16 cm/km, car le fleuve quitte alors les terrains cristallins pour couler à nouveau dans des formations sédimentaires. La pente moyenne entre TILLABERY et NIAMEY augmente légèrement en étiage (16,6 cm/km) et diminue un peu en hautes eaux (15,8 cm/km).

(1) Voir au chapitre VIII la liste et l'emplacement des stations hydrométriques.

- Entre NIAMEY et SAY, la pente moyenne retombe à une valeur très modérée de 7 cm/km environ et ne subit que de légères variations annuelles. Le NIGER semble avoir atteint, dans ce secteur, un profil d'équilibre dont le niveau de base serait constitué par les affleurements rocheux des rapides de BOUSSA, en NIGERIA, à 220 km en aval de MALANVILLE.

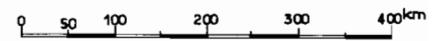
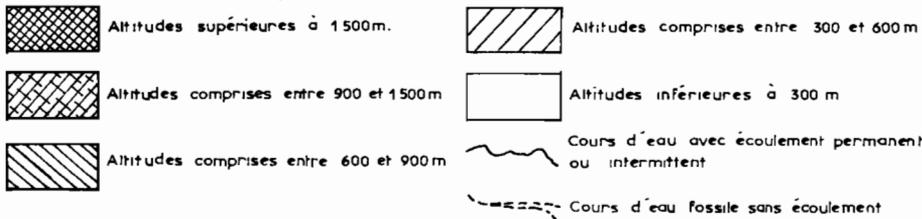
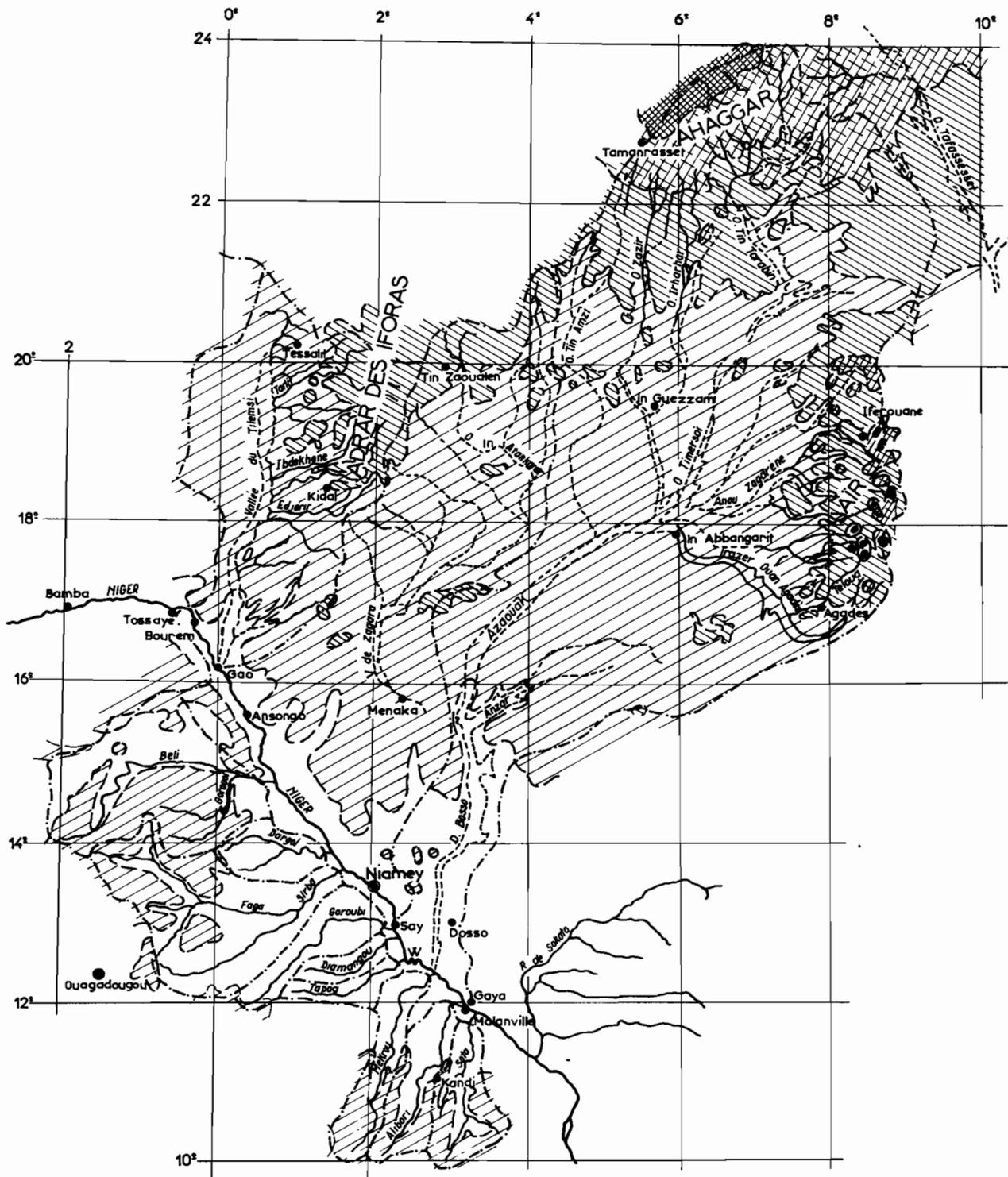
- Entre SAY et MALANVILLE, le NIGER a une pente moyenne à peu près équivalente à celle du bief précédent (6,7 cm/km). Le fleuve franchit dans la région du W l'extrémité de la chaîne de l'ATACORA et il est possible qu'il y ait localement un certain accroissement de la pente, mais on manque de données pour vérifier cette hypothèse. De légères diminutions de la pente moyenne du bief se produisent sous l'effet de crues des affluents dahoméens, notamment en Septembre (6,3 cm/km par exemple). Au contraire, au maximum de la crue guinéo-malienne, la pente peut atteindre 7 cm/km.

On trouvera ci-après un tableau donnant les pentes moyennes des différents biefs du NIGER Moyen à quatre dates échelonnées de trois mois en trois mois, au cours de l'année 1955, qui a bénéficié d'une hydraulicité excédentaire. En année d'hydraulicité moyenne ou déficitaire, les pentes moyennes ne subiraient pas de modifications importantes.

Station	Dist. cum. en km	Dist part. en km	Pente en cm/km			
			au 1.3.1955	au 1.6.1955	au 1.9.1955	au 1.12.1955
TOSSAYE	0	26	4,00	4,04	3,92	4,12
BOUREM	26	84	5,21	4,92	5,19	5,30
GAO	110	102	3,97	3,04	3,54	3,83
ANSONGO	212	134	14,43	14,75	14,72	14,50
FIRGOUN	346	100	27,39	26,95	27,11	27,36
TILLABERY	446	118	15,81	16,58	16,25	16,00
NIAMEY	564	62	6,71	7,35	7,14	6,92
SAY	626	236	6,96	6,80	6,30	6,88
MALANVILLE	862					

BASSIN THÉORIQUE DU NIGER MOYEN

Hypsométrie



CHAPITRE IV

Les AFFLUENTS de RIVE DROITE

Les bassins des divers affluents de rive droite du NIGER sont situés entre les parallèles 16° et 10° Nord (voir carte XVI). Par suite de leur position étagée en latitude, ils ont des régimes différents qui s'échelonnent depuis le type sahélien pur au Nord (GOROUOL et DARGOL) jusqu'au type tropical pur au Sud (MEKROU, ALIBORI et SOTA) en passant par une gamme intermédiaire (SIRBA, GOROUBI, DIAMANGO et TAPOA).

La limite de chacune de ces zones climatiques n'étant pas nettement définie, nous les classerons en affluents du groupe voltaïque et affluents du groupe dahoméens.

A - AFFLUENTS DU GROUPE VOLTAÏQUE

1 - Le GOROUOL

Situé entre les parallèles 14 et 16° Nord, le bassin du GOROUOL avec 45 000 km² est le plus étendu.

La majeure partie de ce bassin est constituée de terrains cristallins et précambriens. Une petite partie à l'Ouest est cependant recouverte de terrains sédimentaires du Continental Terminal.

Le relief est dans l'ensemble peu apparent : 90 % de la surface est comprise entre 240 et 320 m d'altitude, l'altitude moyenne étant de 288 m.

Le GOROUOL, dont le cours a une longueur totale de 255 km, reçoit sur sa rive droite le GOUDEBO, grossi du FELLEOL.

Dans le bassin supérieur du GOROUOL, les lignes de crête des petits bassins qui le constituent sont tantôt des pointements granitiques fortement érodés, tantôt des dunes rapportées. A leur pied, s'étendent des plaines sablo-argileuses jonchées de gravillons ferrugineux mis à jour par l'érosion en nappe des eaux de ruissellement et accessoirement par l'érosion éolienne.

Les ravins d'érosion, témoins d'un ruissellement actif au voisinage des lignes de crête, débouchent rapidement dans des plaines à très faible pente où s'épandent leurs eaux de crues et leurs débits solides. On dit que le réseau hydrographique se dégrade et ce phénomène apparaît souvent dès que la surface drainée atteint 50 km². Les lits mineurs se réduisent à de petites saignées dans des terrains argileux, saignées d'ailleurs discontinues qui relient entre elles une succession de mares et de dépressions. En aval de KORIZIENA, l'envasement du bassin par les sables est très important.

A YATAKALA, le GOROUOL reçoit sur sa rive gauche le BELI qui coule d'Ouest en Est, en limite de la zone subdésertique du GOURMA. C'est pourquoi, bien qu'il draine théoriquement 80 % du bassin total du GOROUOL, le BELI est loin d'être un affluent important du GOROUOL. Son bassin est essentiellement constitué de zones endoréïques et le lit n'est en fait qu'un chapelet de mares, ne communiquant pas toujours entre elles et formant plutôt les points bas de nombreux bassins fermés (dépression du FETO MARABOULE et de SOUM, mares d'OURSI et de DARKOY). Les écoulements sont très limités et l'on peut considérer comme très faibles en année humide, et nuls en année déficitaire, les apports du BELI au GOROUOL.

En aval de YATAKALA, le GOROUOL coule dans un profond sillon dont les bords sont recouverts de dunes sableuses hautes d'une quarantaine de mètres.

La végétation du bassin versant est très pauvre. Elle est essentiellement constituée de hautes herbes pendant l'hivernage et de quelques arbustes, surtout des acacias, concentrés dans les bas-fonds inondables.

2 - Le DARGOL

D'une longueur totale de 212 km, le DARGOL draine un bassin de 7 200 km² constitué par les granites du LIPTAKO recouverts partiellement par des terrains précambriens (schistes et roches vertes du Birrimien) qui apportent quelque vigueur au relief monotone de la vieille pénéplaine granitique. Les dépôts éoliens sont surtout importants dans le bassin inférieur.

Le relief est un peu plus vigoureux que celui du bassin du GOROUOL, bien que 99 % de la superficie totale soient compris entre 200 et 320 m d'altitude. L'altitude moyenne du bassin est de 257 m.

Le DARGOL, dont le cours est sensiblement orienté Ouest-Est, reçoit un certain nombre de petits affluents dont le principal est le TILIM qui se jette dans le DARGOL à 20 km en aval de TERA.

Bien que légèrement plus arrosé que le bassin du GOROUOL, celui du DARGOL ne permet pas à son axe principal de drainage d'être un réel cours d'eau ; les mares d'épandage sont encore nombreuses et le volume des apports parvenant au NIGER est bien inférieur à celui des ruissellements qui se produisent à l'intérieur du bassin versant.

3 - La SIRBA

Son bassin versant a une superficie totale de 38 750 km². La SIRBA est le premier affluent depuis MOPTI dont les apports au NIGER ne soient pas négligeables.

Longue de 460 km, elle draine, avec ses nombreux affluents, un bassin qui s'étend jusqu'à la longitude de OUAGADOUGOU et qui, suivant la latitude, subit l'influence des climats sahélien et tropical.

La totalité du bassin est constituée par les granites du LIPTAKO recouverts par endroits par les schistes et les roches vertes du Birrimien. C'est une vaste pénéplaine érodée au relief monotone et aux pentes faibles: 85 % de la superficie totale du bassin sont à une altitude comprise entre 240 et 320 m. L'altitude moyenne est de 287 m.

La végétation est celle d'une savane légèrement boisée avec épineux ; elle n'est vigoureuse que dans les bas-fonds.

La SIRBA ne prend réellement son nom qu'après le confluent de son bras Sud, le KOULOUOKO, issu de la région de BOULSA, et de son bras Nord, la FAGA, qui reçoit elle-même de multiples sous-affluents.

L'endoréisme est encore assez important dans le bassin de la FAGA. Néanmoins, les précipitations deviennent supérieures à 500 mm et le ruissellement superficiel commence à être suffisant pour justifier la création de quelques barrages-réservoirs.

Cependant la dégradation hydrographique est encore notable et les pertes par épandage représentent un volume largement supérieur à celui des apports qui parviennent au NIGER.

4 - Le GOROUBI

Le GOROUBI draine un bassin de forme allongée, orienté Sud-Ouest Nord-Est, dont la superficie totale est de 15 500 km².

La constitution géologique du bassin est sensiblement la même que celle du bassin de la SIRBA : granites usés du LIPTAKO, affleurements

de schistes et roches vertes, puis dans le bassin inférieur recouvrement de terrains sédimentaires du Continental Terminal.

La pente du bassin du GOROUBI est plus forte que celle de la SIRBA : 77 % de la surface sont entre 240 et 320m d'altitude ; l'altitude moyenne est de 287 m.

Le GOROUBI prend naissance près de FADA N'GOURMA ; il ne reçoit aucun affluent important jusqu'à LAMORDE-TORODI. Il coule alors dans un sillon creusé dans les terrains sédimentaires puis reçoit le DIGUIBARI et le TYENETYEGAL avant de confluer avec le NIGER entre SAY et KIRTACHI.

La longueur totale du GOROUBI est de 433 km.

5 - Le DIAMANGO

Le bassin du DIAMANGO est tout à fait analogue à celui du GOROUBI par sa forme, son orientation et sa nature géologique. Son relief est toutefois un peu plus mou. Son altitude moyenne est de 252 m et sa superficie de 4 400 km².

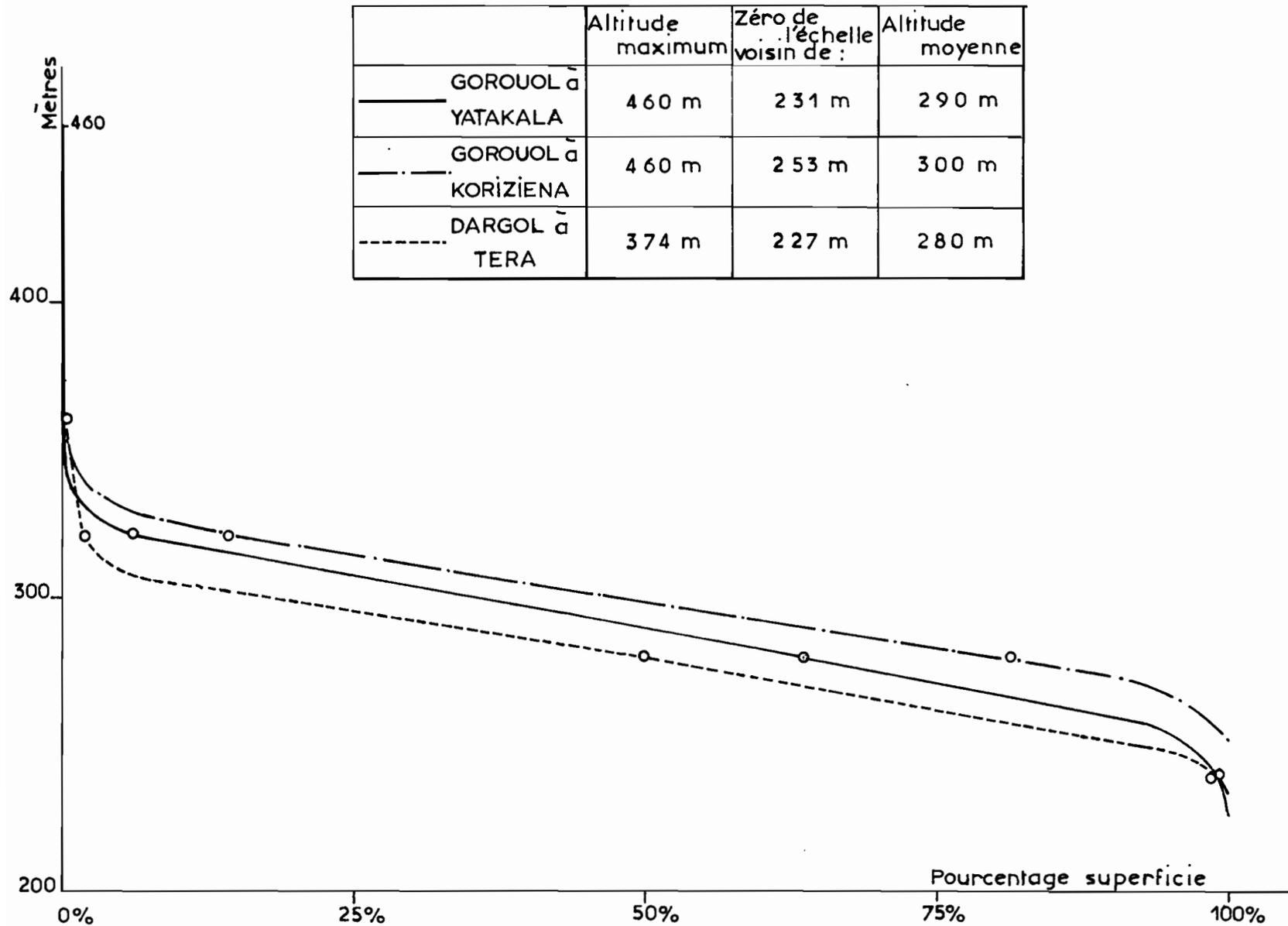
6 - La TAPOA

Dernier affluent voltaïque, la TAPOA, qui conflue avec le NIGER en amont du W, a un bassin de 5 500 km². De forme allongée, il est dans sa partie supérieure constitué de roches éruptives (granites et dolérites) qui, fortement érodées, forment une pénéplaine au relief peu accusé. Celui-ci est plus vigoureux dans le bassin inférieur composé de formations sédimentaires et de grès primaires.

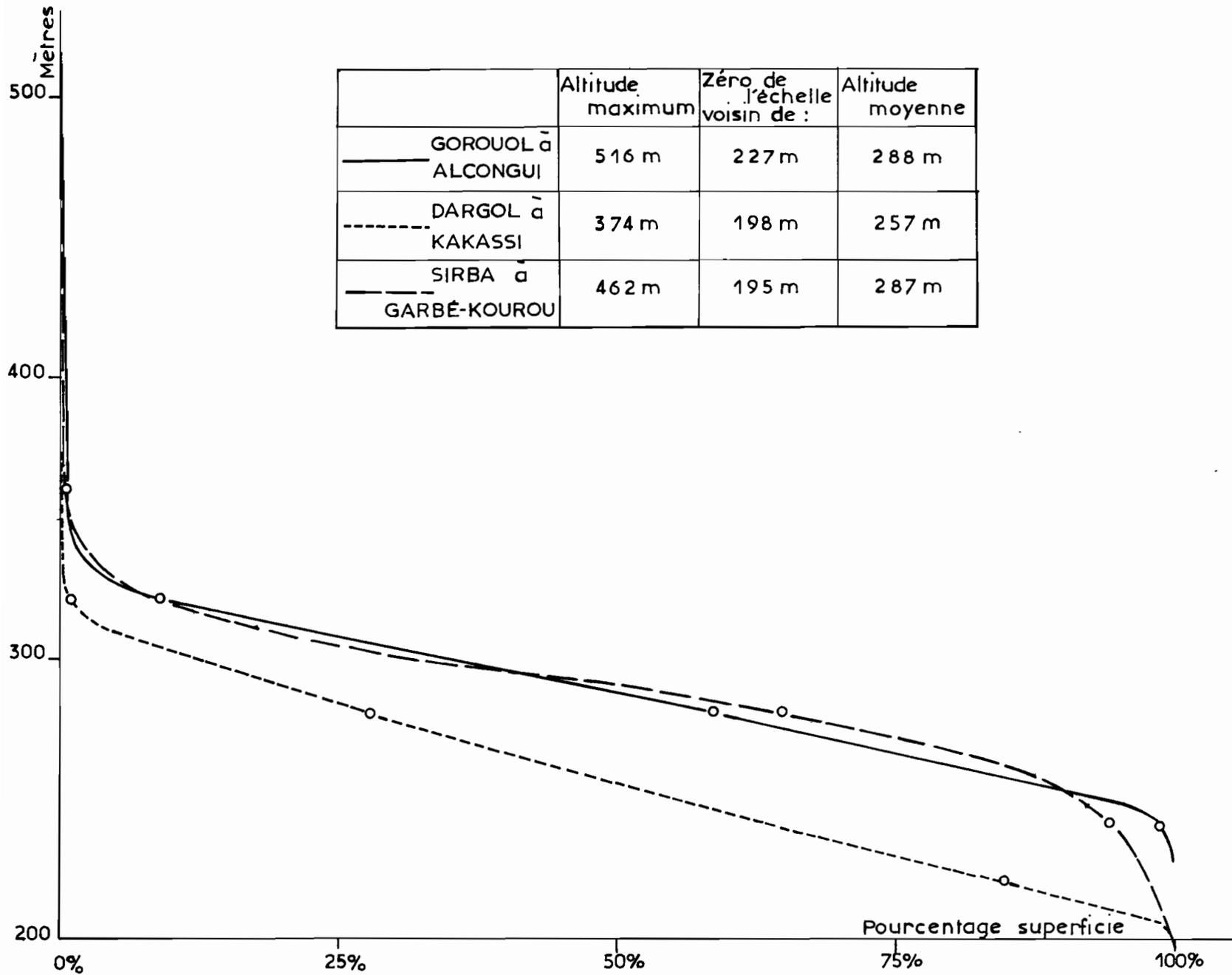
La végétation du bassin est celle d'une savane boisée avec épineux.

Longue de 260 km, la TAPOA n'est dans son cours supérieur et moyen qu'une série de dépressions argileuses. La pente augmente, à l'aval, dans la traversée des grès. Près du campement de chasse de la réserve du W la TAPOA franchit une chute d'une vingtaine de mètres de hauteur, puis rejoint le NIGER au fond d'une gorge étroite et sinueuse, obstruée par d'importants blocs de grès. Le réseau hydrographique du bassin de la TAPOA se réduit presque à l'artère principale, le seul affluent notable étant le BOROFWANOU.

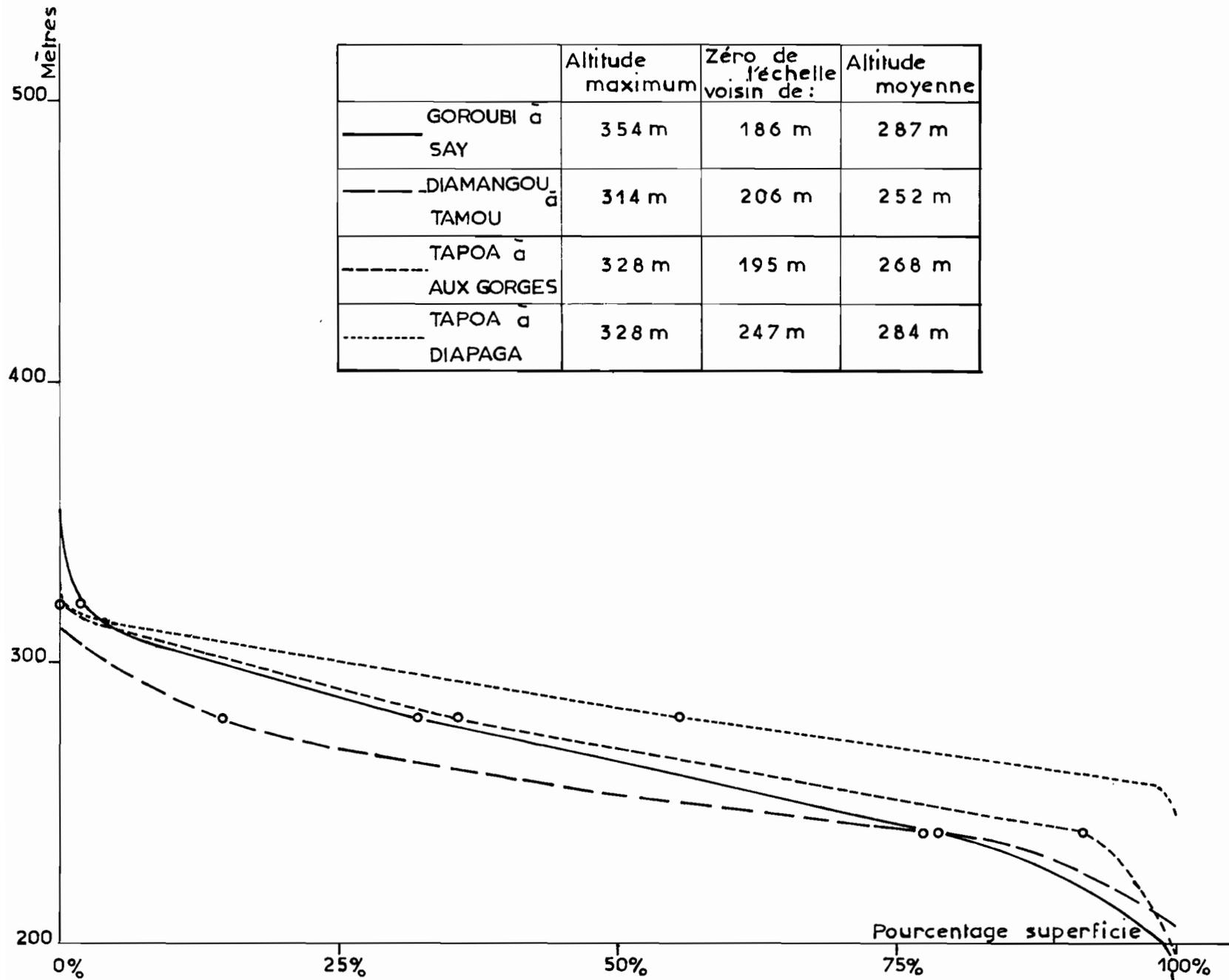
COURBES HYSOMÉTRIQUES DES BASSINS VOLTAÏQUES



COURBES HYSOMETRIQUES DES BASSINS VOLTAÏQUES



COURBES HYPSONOMÉTRIQUES DES BASSINS VOLTAÏQUES



En conclusion, tous les affluents du groupe voltaïque, exception faite du cours inférieur de la TAPOA, ont une structure semblable : bassins plats, endoréisme marqué, pertes par épandage prédominantes, réseau hydrographique dégradé. Toutes ces caractéristiques, très nettes pour le GOROUOL vont en s'estompant vers le Sud.

B - AFFLUENTS du GROUPE DAHOMEYEN

Le groupe dahoméyen comprend trois affluents, la MEKROU, l'ALIBORI et la SOTA qui présentent des caractères géographiques communs, à savoir :

- un relief accentué,
- un bassin de forme allongée, orienté du Sud au Nord, donc bien arrosé dans sa partie supérieure la plus accidentée,
- la disparition de la dégradation hydrographique.

1 - La MEKROU

Son bassin de 10 500 km² est particulièrement allongé et accidenté. Sa partie supérieure fait partie du Massif de l'ATACORA et a une altitude maximale de 640 m, alors qu'au confluent du NIGER l'altitude est voisine de 173 m.

L'altitude moyenne est de 371 m pour le bassin supérieur limité à la station de KOMPONGOU (5 670 km²) et de 320 m pour le bassin total.

La majeure partie du bassin est recouverte par des terrains précambriens (gneiss et orthogneiss, ainsi que micaschistes et quartzites de l'ATACORA). Dans le bassin inférieur apparaissent des grès et schistes primaires.

La végétation est une savane arborée et arbustive avec une légère galerie forestière dans le cours inférieur de la MEKROU. Le Parc National du W couvre tout le bassin inférieur jusqu'à la route BANIKOARA-KOMPONGOU.

Le réseau hydrographique est très simple : une seule grande artère, longue de 500 km, sans affluent notable, draine le bassin. D'origine structurale, les méandres et coudes brusques sont très nombreux et le lit est souvent encombré de rochers. La traversée de la chaîne de l'ATACORA perturbe le cours de la MEKROU : les chutes de KOUDOU, les gorges de DYODYONGA et les rapides de BAROU en sont les accidents les plus pittoresques.

Aux gorges de DYODYONGA, la MEKROU coule entre des parois verticales de quartzites hautes d'une quarantaine de mètres ; ce site serait intéressant pour un aménagement hydro-électrique d'environ 20 000 kW de puissance régularisée.

2 - L'ALIBORI

Le bassin versant de l'ALIBORI a une superficie totale de 13 650 km². D'une altitude moyenne de 287 m, son relief est moins accentué que celui de la MEKROU qui est traversé par la chaîne de l'ATACORA.

Le bassin est essentiellement constitué de terrains précambriens gneissiques ; des granites affleurent dans le haut bassin ; entre des séries de fractures, orientées Nord-Sud, apparaissent des migmatites. L'ensemble du bassin peut être considéré comme relativement imperméable.

La végétation est une savane arborée et arbustive ; la forêt humide dégradée borde parfois les lits du haut bassin ; elle devient une belle galerie forestière le long du cours inférieur. Une forêt classée couvre près de la moitié du bassin supérieur, tandis que le Parc National du W, englobant le bassin du PAKO, jouxte partiellement le cours inférieur de l'ALIBORI.

Prenant naissance à 410 m d'altitude environ, l'ALIBORI, long de 408 km, reçoit en rive droite le SOUEDAROU et le DAROUWOKA. Dans son cours moyen, le lit de l'ALIBORI est coupé de nombreux rapides. Il reçoit, en rive gauche, les rivières KONEKOGA et PAKO avant de confluer avec le NIGER en amont de MALANVILLE.

3 - La SOTA

Situé en bordure de la frontière du NIGERIA, le bassin de la SOTA a une superficie de 12 100 km² et n'offre pas les mêmes caractères géologiques que les deux autres bassins dahoméens. Tandis que sa partie supérieure est constituée par des granites recouverts partiellement de gneiss précambriens, ses parties moyenne et inférieure sont formées de terrains sédimentaires (grès de KANDI) fortement cuirassés.

L'altitude moyenne du bassin contrôlé par la station de COUBERI (superficie : 12 020 km²) est de 300 m.

La végétation de la SOTA est une savane arborée et arbustive assez clairsemée sur les plateaux latéritiques du bassin inférieur. Une étroite galerie forestière borde une partie du cours inférieur. Plusieurs forêts classées occupent 30 % de la surface totale du bassin : celle des Trois Rivières, dans le bassin supérieur, est la plus dense et la plus grande (2 400 km²)

La SOTA, (longueur 284 km), reçoit successivement le SOUAMON en rive droite et en rive gauche le TASSENE, le BOULI et l'IRANE. En aval de COUBERI, la SOTA serpente durant 15 km dans les alluvions de la vallée du NIGER avant de confluer avec ce dernier à 1 km en aval de MALANVILLE.

C - PROFIL en LONG des AFFLUENTS

Le profil en long des affluents de rive droite du NIGER est représenté sur le graphique 97. On remarque que tous les affluents, sauf l'ALIBORI et la SOTA, ont une vallée plus ou moins "suspendue" par rapport à celle du NIGER et rejoignent celui-ci par un bief à pente accentuée, parfois coupé de chutes ou de rapides.

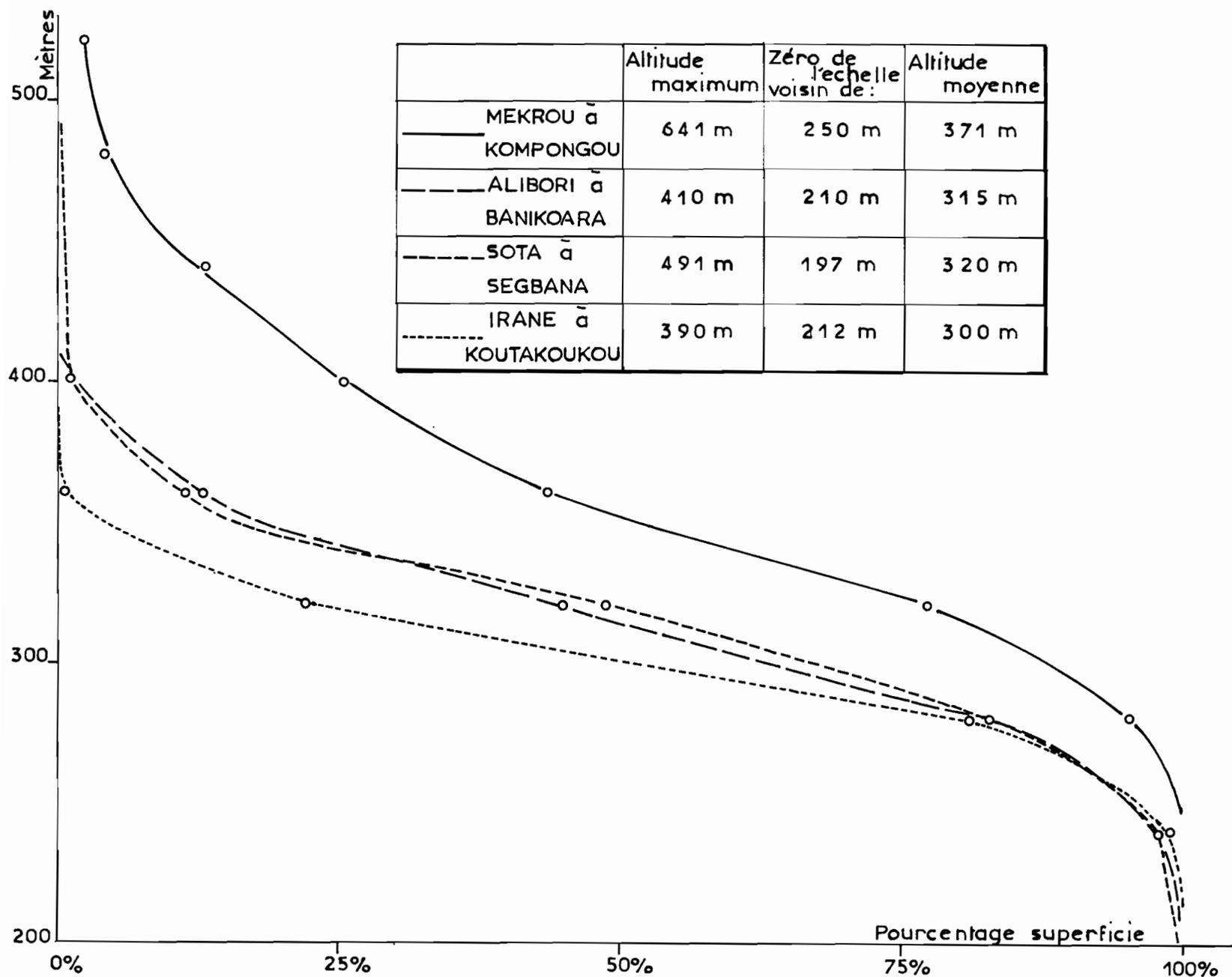
Cette particularité s'explique par la capture du NIGER Supérieur qui a modifié considérablement les conditions d'écoulement du fleuve en aval de TOSSAYE et a activé l'érosion de son lit. Ses affluents de rive droite, surtout ceux de régime sahélien peu abondant, n'ont pu encore atteindre un nouveau profil d'équilibre entièrement concave.

- Le GOROUOL Supérieur et ses principales branches actives (GOUDEBO et FELLEOL) ont des pentes assez fortes d'environ 65 cm/km. Sur le GOROUOL Moyen, la pente s'abaisse à 30 cm/km, puis tombe à 18 cm/km en aval de YATAKALA. Le BELI, affluent de rive gauche du GOROUOL dont le bassin versant mal défini est en grande partie endoreïque, a une pente très faible de 7 cm/km.

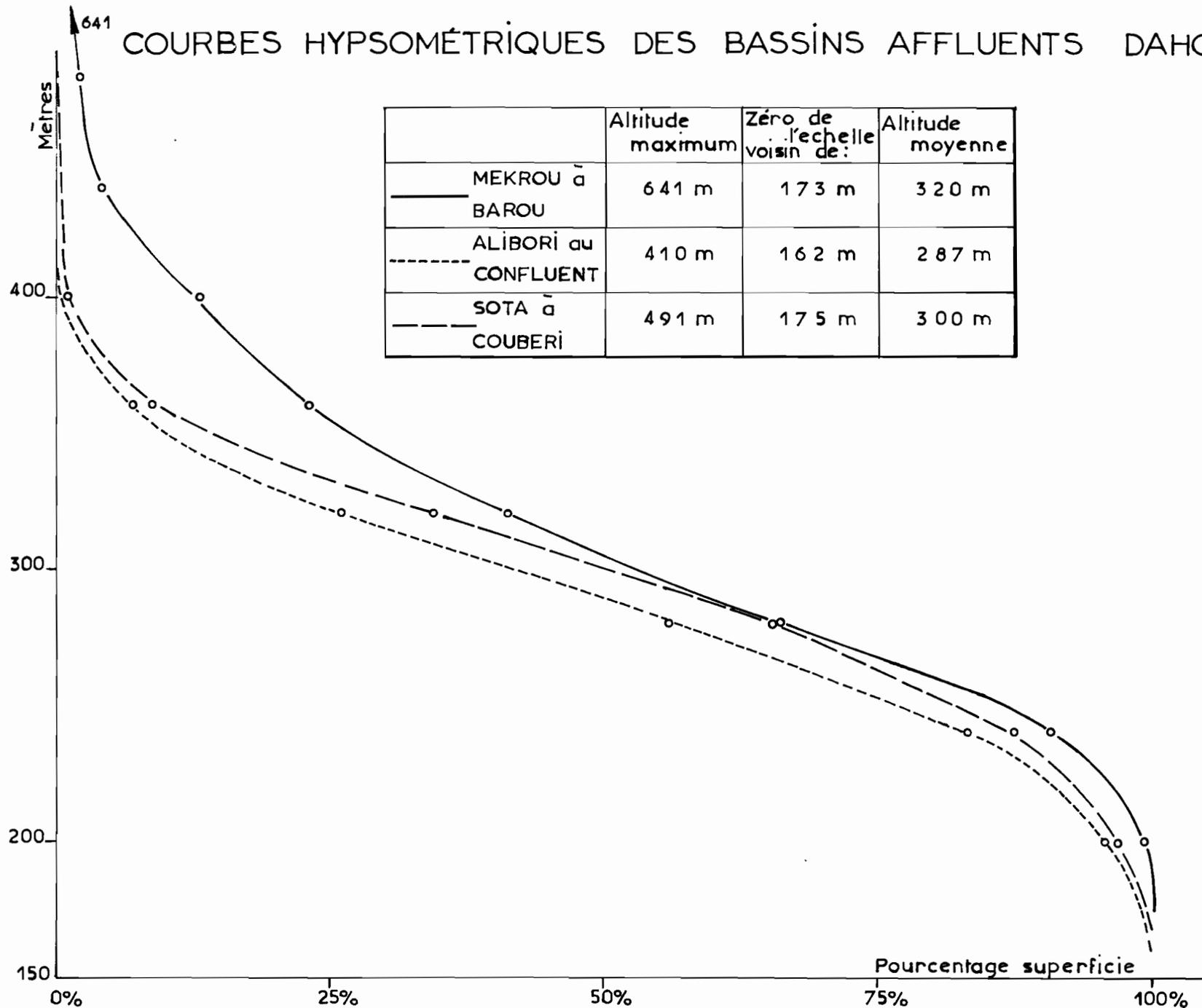
- Le DARGOL a une pente d'abord décroissante qui atteint une valeur de 35 cm/km dans son cours moyen, puis s'augmente à nouveau jusqu'à 55 cm/km dans son cours supérieur.

- Le lit supérieur et moyen de la SIRBA est constitué par une série de dépressions ; la pente moyenne est de 18 cm/km. Elle atteint 24 cm/km à l'approche du confluent du NIGER.

COURBES HYPSONOMÉTRIQUES DES BASSINS AFFLUENTS DAHOMÉENS



COURBES HYSOMÉTRIQUES DES BASSINS AFFLUENTS DAHOMÉENS



- Le GOROUBI a une pente de 30 cm/km dans son cours supérieur, puis de 17 cm/km sur la plus grande partie de son cours moyen. A partir de LAMORDE-TORODI, le GOROUBI coule dans des formations sédimentaires et sa pente augmente jusqu'à 25 cm/km avant de rejoindre le NIGER.

- La pente moyenne du DIAMANGOU, 27 cm/km, est plus élevée que celle du GOROUBI. Elle augmente également dans son cours inférieur (31 cm/km).

- La pente de la TAPOA varie avec la nature des terrains traversés. Faible en amont de DIAPAGA (12cm/km), elle augmente dans son cours moyen (21 cm/km) et s'accélère encore dans les grès primaires du cours inférieur (70 cm/km).

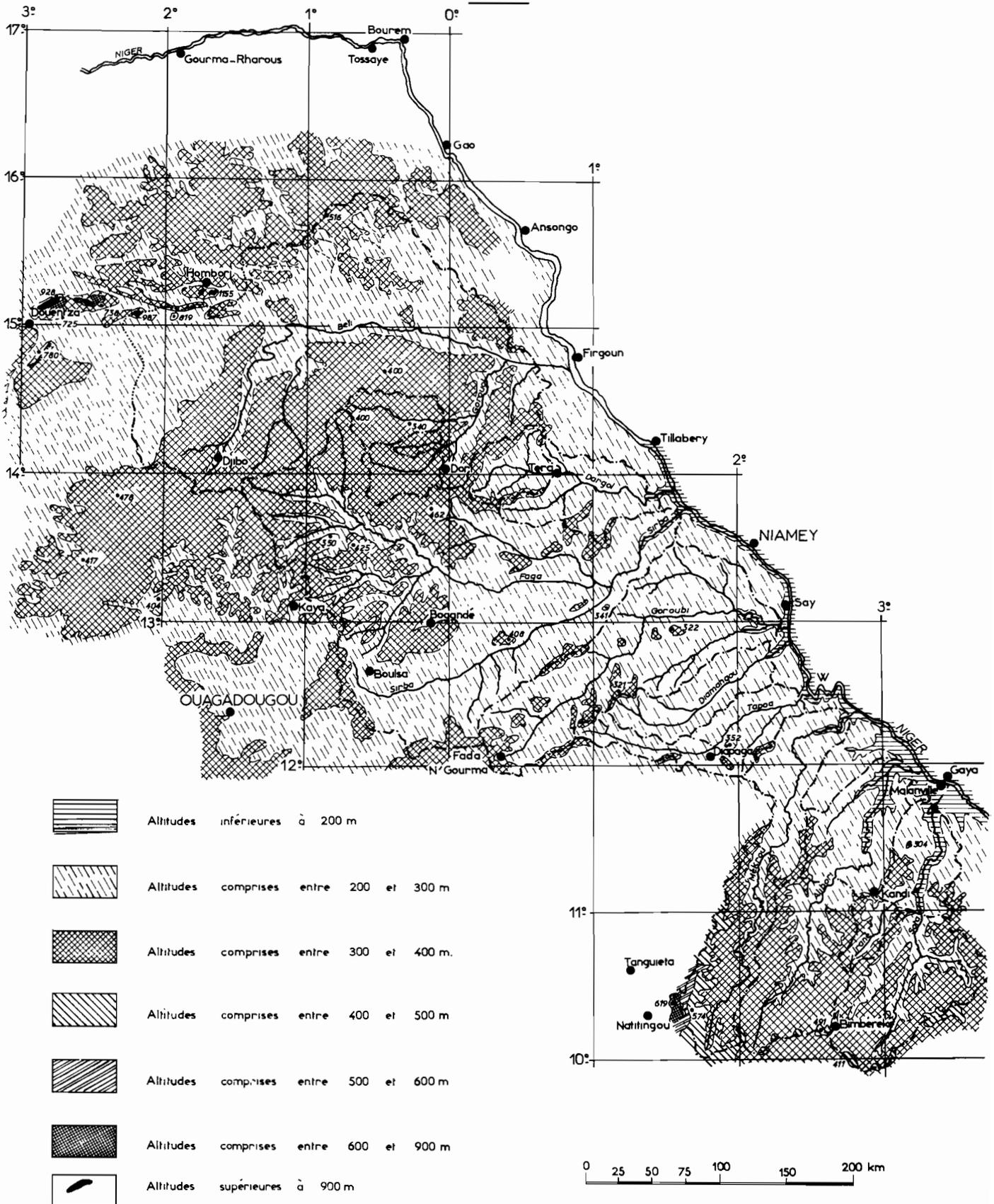
- La MEKROU, qui prend naissance sur le versant oriental de la chaîne de l'ATACORA, a une pente moyenne de 56 cm/km dans son cours supérieur. Son cours moyen, coupé de rapides, a une pente moyenne de 26 cm/km. Dans le cours inférieur, la traversée d'un dernier contrefort de l'ATACORA provoque une nouvelle augmentation de la pente (56 cm/km).

- L'ALIBORI est le premier affluent du NIGER Moyen dont le profil en long est concave sur toute sa longueur. La pente qui est de 60 cm/km dans le cours supérieur, s'abaisse à 28 cm/km environ dans le cours moyen et n'est plus que de 10 cm/km dans les cinquante derniers kilomètres.

- La SOTA a également un profil en long sensiblement concave sur tout son cours, car les formations sédimentaires qu'elle traverse dans ses parties moyenne et inférieure lui ont permis d'atteindre à peu près un profil d'équilibre par rapport au NIGER.

Les branches supérieures de la SOTA ont des pentes moyennes élevées (65 à 130 cm/km). Le cours moyen s'abaisse d'environ 40 cm/km et le cours inférieur de 13 cm/km.

BASSIN DU NIGER MOYEN (Rive droite) Hypsométrie



CHAPITRE V

Les AFFLUENTS FOSSILES de RIVE GAUCHE

Les affluents fossiles de rive gauche ont des bassins versants "théoriques" dont la superficie totale est estimée à 700 000 km². (voir carte XV).

Malgré la dégradation des réseaux hydrographiques et l'imprécision des limites des bassins, nous distinguons plusieurs grands systèmes ; ce sont des bassins dans lesquels seul le cours supérieur coule encore quelques jours par an ; il serait illusoire d'en donner la surface totale et nous nous contenterons de déterminer parfois la superficie du bassin actif.

Dans cette zone immense on ne possède pas toujours suffisamment de renseignements pour déterminer l'importance ou même l'existence d'un écoulement exceptionnel. Aussi l'inventaire des zones actives de rive gauche, que nous essayons de présenter aussi complètement que possible, ne peut prétendre être exhaustif.

Nous examinerons :

- les affluents localisés en bordure de la vallée du NIGER
- le bassin du TILEMSI,
- le bassin de l'ATANKARER,
- le bassin de l'AZAOUAK,
- les "dallol" BOSSO, FOGA et MAOURI.

A - Les AFFLUENTS LOCALISES en BORDURE de la VALLEE du NIGER

De TOSSAYE à MALANVILLE, la rive gauche de la vallée du NIGER présente à peu près le même aspect. Une falaise de quelques dizaines de mètres de hauteur borde un plateau gréseux recouvert d'une cuirasse latéritique et de dépôts éoliens plus ou moins continus. Entre le pied de la falaise et les sols alluvionnaires de la vallée, on rencontre tantôt des sols dunaires, tantôt des sols provenant de la désagrégation des cuirasses.

Le plateau est entaillé par des vallées d'importance très variable.

Au Nord de NIAMEY, la faible pluviométrie, l'extension des dépôts éoliens et l'existence de grandes zones endoréïques font que les bassins ne sont actifs que dans leur partie inférieure. Si les apports de ces petits cours d'eau dans le NIGER sont insignifiants, il ne faut pas en négliger les caractéristiques hydrologiques dans l'étude d'aménagements locaux. En 1959, par exemple, de forts ruissellements ont causé de nombreux dégâts sur la route de NIAMEY-TILLABERY. Auparavant, le périmètre agricole de FIRGOUN avait été dévasté par les violentes crues d'un petit cours d'eau dévalant du plateau latéritique.

Au Sud de NIAMEY et plus particulièrement entre le W et MALANVILLE, la pluviométrie s'accroît sensiblement, mais les volumes écoulés par les vallées affluentes restent faibles et sans rapport avec la superficie des bassins versants théoriques. L'ORSTOM a été amené à étudier particulièrement le régime des petits cours d'eau qui débouchent dans la cuvette de KOULOU, en vue de l'aménagement hydro-agricole de celle-ci (1). Nous citerons rapidement les principaux résultats qui ressortent des mesures réalisées en 1960 et 1961:

(1) Voir "Etude hydrologique des tributaires de la Cuvette de KOULOU" Rapport de la campagne 1960 par P. DUBREUIL et rapport de la campagne 1961 par R. LEFEVRE.

	Marigot de BANIGOROU		DALLOL	YOLDE
	1960	1961	1960	1961
Volume ruisselé maximal (m3)	33 000	27 500	14 750	145 000
Coefficient de ruissellement maximal (%)	3,7	3,6	0,7	3,7
Débit maximal (m3/s)	2	3,7	0,36	4,9
Volume des apports annuels (m3)	245 000	480 000	120 000	735 000
Superficie du bassin versant théorique (km2)	16		840	
Superficie du bassin actif (km2)	16		16	
Débit de crue décennal (m3/s) (estimation)	12,8		10	

On retiendra que pour la plupart des petits affluents de rive gauche qui bordent la vallée du NIGER, la plus grande partie des eaux de ruissellement se rassemble dans des dépressions fermées où elles se perdent par évapotranspiration et accessoirement par infiltration profonde. La superficie totale des bassins actifs qui donnent lieu à des écoulements fugitifs vers le NIGER, est très réduite et l'importance de leurs apports annuels est pratiquement négligeable. Il faut toutefois se garder de sous-estimer les crues subites de certains d'entre eux.

B - Le bassin du TILEMSI

La vallée fossile du TILEMSI, qui est orientée Nord-Sud et rejoint le NIGER à GAO, collecte de nombreux "oueds" qui drainent le versant occidental du Massif de l'ADRAR des IFORAS.

Ce massif a un climat subdésertique, les précipitations annuelles sont en moyenne voisines de 80 mm à TESSALIT au Nord et de 135 mm à KIDAL au Sud. Le versant occidental est moins aride que le versant oriental.

On possède très peu de données sur l'importance des écoulements. J. DUBIEF a évalué à 60 000 km² le bassin actif du TILEMSI, mais cette superficie qui correspond à la totalité de la zone montagneuse nous paraît un peu surestimée, car de mémoire d'homme on n'a jamais vu d'écoulement dans le TILEMSI. Par analogie avec ce qui a été observé dans l'AÏR, on peut admettre qu'en année de pluviosité excédentaire les écoulements atteignent le pied du Massif, puis se perdent rapidement par infiltration. Le lit des "oueds" large de quelques dizaines de mètres et encombré de sable grossier se transforme rapidement à la sortie du massif en plaine d'épandage de un ou plusieurs kilomètres de largeur.

A l'intérieur du massif, il semble que la plupart des cours d'eau dont les principaux sont les oueds EDJERIR, IBDEKHENE et TARLIT, aient chaque année quelques crues de brève durée.

C - Le bassin de l'ATANKARER

Le bassin actif de l'ATANKARER est formé par le versant oriental de l'ADRAR des IFORAS et l'extrémité Sud-Ouest du massif de l'AHAGGAR. J. DUBIEF a évalué à 35 000 km² la superficie de ce bassin actif dont le climat subdésertique peut être grossièrement caractérisé par la hauteur moyenne des pluies annuelles observées de 1938 à 1942 à TIN ZAOUATEN, soit 43 mm concentrés pour les trois-quarts sur Août et Septembre. Quelques pluies provoquées par des dépressions sahariennes peuvent cependant se produire en Mai et Juin.

On possède quelques observations précises recueillies de 1932 à 1935, puis de 1940 à 1942 par les militaires du poste de TIN ZAOUATEN sur l'oued du même nom. Pendant ces sept années d'observation, il y a eu quatorze écoulements, dont trois en Mai, cinq en Juillet, trois en Août et trois en Septembre. Il est vraisemblable que la plupart de ces écoulements se sont infiltrés rapidement et n'ont pas atteint la vallée de l'ATANKARER. Celle-ci se perd elle-même, sous le nom de ZAGARAT, dans les dunes et les mares d'hivernage de la région de MENAKA.

D - Le bassin de l'IN-AZAOUAK

L'IN-AZAOUAK draine le versant méridional de l'AHAGGAR et le versant occidental de l'AÏR. Il se prolonge vers le Sud par le DALLOL BOSSO qui rejoint le NIGER à BOUMBA, un peu en aval du W et que nous étudierons plus loin avec les autres "dallols" situés plus au Sud.

L'AZAOUAK est de loin le bassin fossile le plus important de la rive gauche du NIGER, mais sa partie active se limite aux versants des massifs montagneux.

Quatre affluents principaux prennent naissance entre 1400 et 2150 m d'altitude dans l'AHAGGAR. Ce sont les "oued" TIN-AMZI, ZAZIR, IGHERGHER et TIN-TARABIN. La pluviométrie annuelle dans la partie supérieure de leur bassin doit être en moyenne de l'ordre de 25 mm. Ces "oued" ne coulent que rarement, peut-être une fois par an en moyenne ; leurs écoulements se perdent rapidement à la sortie du massif, ne parcourant guère au total que quelques dizaines de kilomètres et exceptionnellement 200 à 350 kilomètres, d'après les informations recueillies par J. DUBIEF. Dans leur cours supérieur ces "oued" peuvent cependant avoir des crues violentes et pour en donner une idée nous citerons un exemple rapporté par J. DUBIEF : en 1951, l'Oued TARHAOUHAOUT coula à FORTMOTYLINSKI sur 170 m de largeur et 1 mètre de profondeur lors des crues des 20 - 28 Août et 16 - 25 Septembre. En Septembre 1918, le même oued coula à plein bord pendant deux jours consécutifs.

Du massif de l'AÏR descendent vers l'Ouest une multitude de petits "oued" qui se rassemblent dans quatre collecteurs principaux lesquels confluent avec l'AZAOUAK dans la région d'IN-ABANGARIT. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 20 mm dans le Nord de l'AÏR, mais elle croît assez rapidement vers le Sud pour atteindre 165 mm à AGADES. Les crues tendent donc à devenir moins rares et plus violentes dans le Sud du massif.

En 1959 et 1960, des études hydrologiques ont été confiées à l'ORSTOM par le Ministère des Travaux Publics de la République du NIGER et l'Organisation Commune des Régions Sahariennes. Le but de ces études était de préciser l'importance de l'écoulement des rivières (ou "kori") qui s'écoulent vers la bordure Ouest du massif de l'AÏR et qui, par infiltration progressive, alimentent la nappe aquifère des grès d'AGADES.

Les études ont porté sur les points suivants :

- Reconnaissance et cartographie du réseau hydrographique de l'AÏR.
- Etude des précipitations sur le versant Ouest du massif.
- Etude du ruissellement sur deux bassins versants expérimentaux de faible superficie : les bassins d'IN-TIZIOUEN 1 (1,81 km²) et IN-TIZIOUEN 2 (0,55 km²) situés près de RAZELMAMOULMI, à 30 km au Nord d'AGADES.

- Etude quantitative du ruissellement du KORI TELOUA.
- Etude extensive des "kori" de l'Aïr.
- Etude sommaire de l'évaporation et des inféro-flux.

La réalisation de ce programme a donné lieu à deux rapports annuels intitulés "Etudes d'écoulement dans le Massif de l'Aïr" par Robert LEFEVRE, Ingénieur hydrologue de l'ORSTOM (campagne 1959 et campagne 1960). Nous allons rappeler très brièvement les principaux résultats de ces études.

Une carte au 1/200 000^e du réseau hydrographique de l'Aïr a été établie à partir des photographies aériennes de l'Institut Géographique National. Ce réseau est complexe et comporte trois branches principales :

- l'ANOU ZAGAREN,
- le SEKKIRETT,
- et IRHAZER OUN AGADES

qui rejoignent la vallée de l'AZAOUAK sur sa rive gauche.

L'étude du ruissellement sur les deux bassins versants expérimentaux d'IN-TIZIOUEN a permis de déterminer les caractéristiques principales des crues que l'on trouvera dans le tableau I. On notera la valeur élevée des coefficients de ruissellement qui atteignent et même dépassent 50 % pour des pluies comprises entre 10 et 30 mm seulement. L'imperméabilité du terrain granitique, l'absence presque complète de couverture végétale et même de sol de décomposition (si ce n'est quelques accumulations d'arènes granitiques), la forte pente et la forte intensité des averses en sont les raisons principales.

Les débits de crue décennale sont également très élevés et ont été estimés comme suit :

- IN-TIZIOUEN 1 : 36 m³/s, soit 20 000 l/s.km².
- IN-TIZIOUEN 2 : 25 m³/s, soit 45 000 l/s.km².

Massif de l'Aïr Esquisse hydrographique

Echelle : 1 / 1.000.000

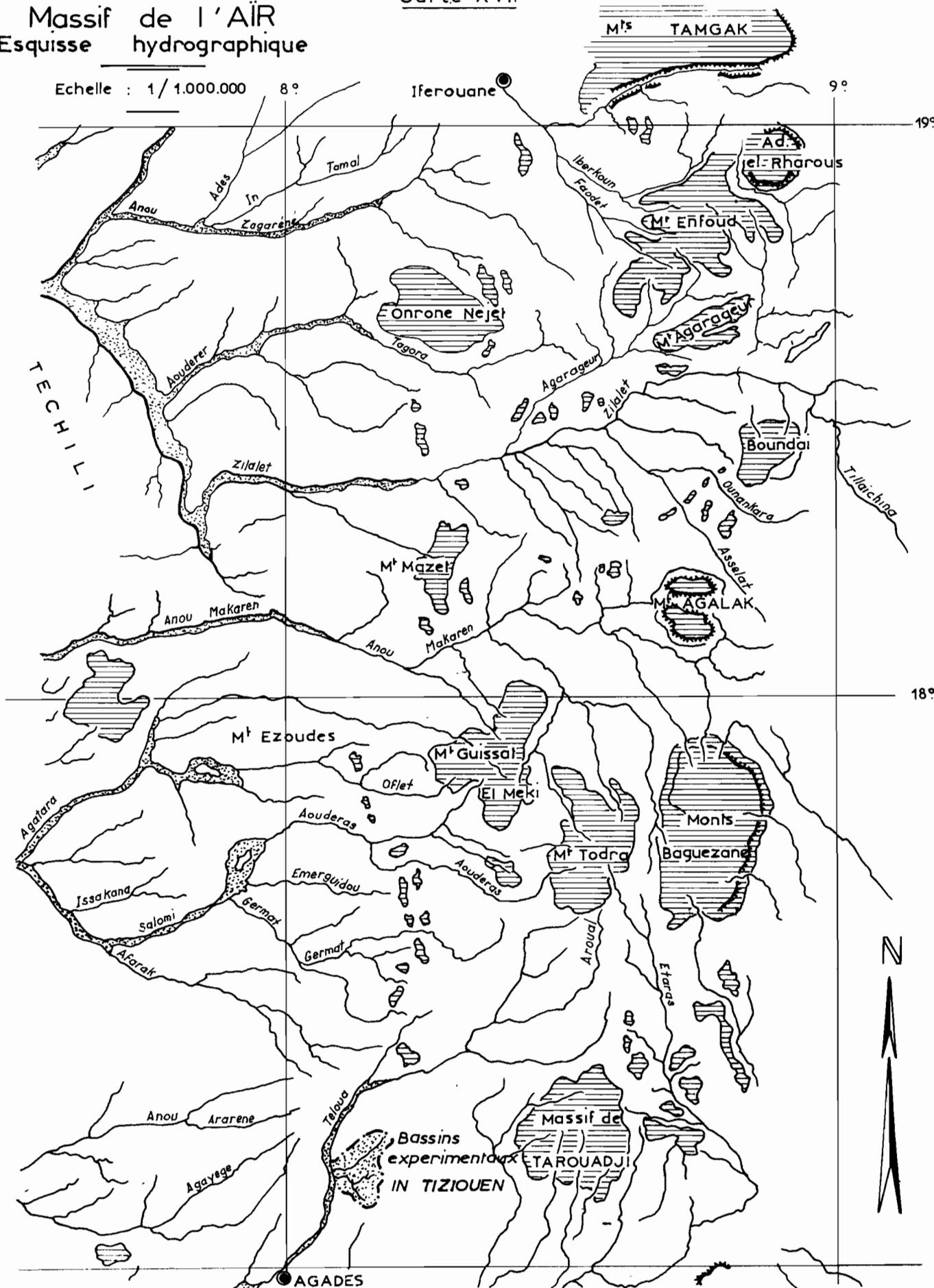
8°

Iferouane

M^{ts} TAMGAK

9°

19°



Le bilan hydrologique des bassins a pu être établi approximativement :

	Pluie moyenne (mm)	Volume écoulé (m3)	Coefficient d'écoulement (%)
IN-TIZIOUEN 1			
1959	130	63 000	27
1960	130	41 000	17,5
IN-TIZIOUEN 2			
1959	130	25 000	35
1960	130	11 358	16

TABLEAU I

CARACTERISTIQUES des CRUESBassin Versant d'IN-TIZIOUEN 1 (1,81 km²)

Date	Pluie moyenne (mm)	Temps de montée (minutes)	Lame ruisselée H _R (mm)	Coefficient de ruisselle ment (%)	Débit de pointe Q _{max.} (m ³ /s)	Débit spécifique de pointe (m ³ /s.Km ²)	Rapport Q _{max} /H _R (m ³ /s.mm)
<u>1959</u>							
3 Août	8	9	2,2	28	2,05	1,13	0,93
6 "	26	20	17,9	69	21	11,6	1,17
11 "	8,4	6	2,6	31	2,25	1,24	0,87
13 "	14,4	20	4,4	31	2,45	1,35	0,56
14 "	10,5	20	2,6	25	2,65	1,46	1,02
14 "	10	25	4,8	48	3,15	1,74	0,66
<u>1960</u>							
18 Août	20,7	4	6,6	32	12,7	7,0	1,06
21 "	14,6	11	5,3	36	9,9	5,5	1,04
23 "	16,2	14	9,4	58	10,7	5,9	0,63
19 Septembre	9,4	15	1,3	14	0,8	0,44	0,34

Bassin Versant d'IN-TIZIOUEN 2 (0,55 km²)

<u>1959</u>							
3 Août	9,4	5	2,9	31	2,65	4,82	1,65
6 "	27,8	14	21,8	78	7,6	13,8	0,64
11 "	8,4	6	3,9	46	2,05	3,73	0,95
14 "	10	16	6,5	65	2,05	3,74	0,57
<u>1960</u>							
18 Août	20	10	10,9	55	5,2	9,46	0,87
21 "	14,4	9	5,1	35	2,85	5,20	1,02
23 "	14	12	2,8	20	1,25	2,30	0,82
19 Septembre	11,9	-	-	-	-	-	-

Ces études ont confirmé les indications déjà obtenues au Nord du TCHAD sur le ruissellement des petits bassins en tête des systèmes hydrographiques des massifs désertiques. Avec des averses orageuses ne dépassant pas 30 mm et une hauteur annuelle inférieure à 150 mm, il est possible d'obtenir des écoulements beaucoup plus élevés que dans les régions tropicales plus méridionales ; ils peuvent atteindre 25 à 30 % des précipitations. Si ces apports parviennent dans les zones très perméables en liaison avec des nappes souterraines, ils peuvent alimenter ces nappes de façon satisfaisante.

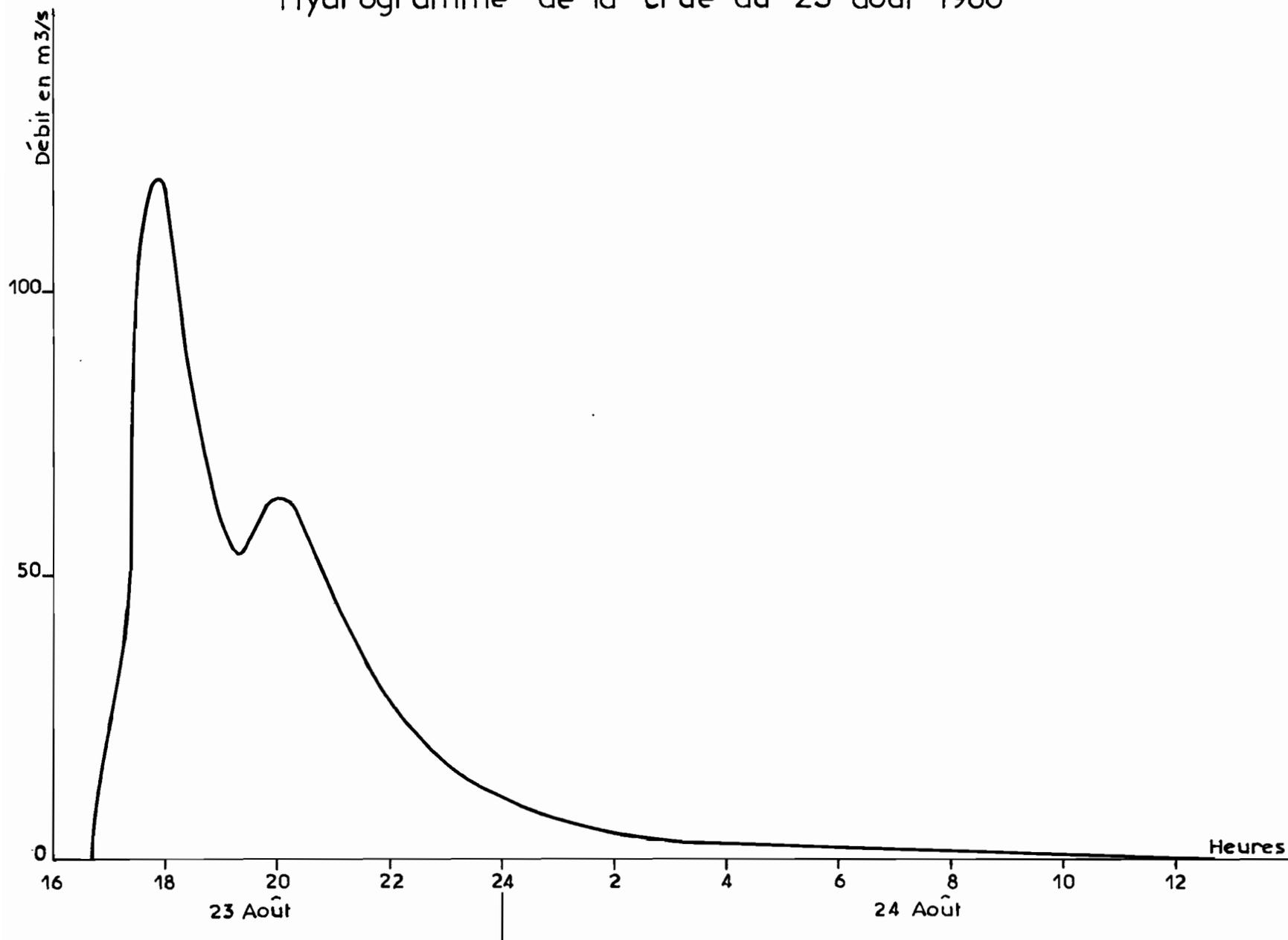
Le Kori TELOUA a été suivi à plusieurs stations échelonnées le long de son cours. Les deux stations principales étaient celle de RAZELMAMOULMI (km 86) et celle d'AZEL (km 101) située sensiblement à la sortie du massif. L'observation des crues a donné en 1960 les résultats suivants :

Date des crues	RAZELMAMOULMI (1170 km ²)		AZEL (1260 km ²)	
	Débit maximal (m ³ /s)	Volume écoulé (10 ³ m ³)	Débit maximal (m ³ /s)	Volume écoulé (10 ³ m ³)
<u>1960</u>				
12 Juillet	37	(1 000)	-	-
14 "	144	(5 500)	(130)	(4 000)
23 "	14	420	0	0
16 Août	8	80	0	0
18 "	7,2	30	0	0
21 "	11	90	0	0
23 "	120	1 410	22	680
25 "	200	5 550	130	4 400
	Total...	14 080	Total....	9 000 env

On voit que les débits de crue et les volumes écoulés subissent une atténuation sensible entre les deux stations. Il y a là un effet d'amortissement dû en partie à la porosité des alluvions du lit qui, à chaque crue, sont susceptibles d'absorber des volumes d'eau appréciables.

Gr-94

KORI TELOUA à RAZELMAMOULMI
Hydrogramme de la crue du 23 août 1960



Le bilan hydrologique du Kori TELOUA s'établit approximativement comme suit :

	Pluie moyenne (mm)	Volume écoulé (m3)	Coefficient d'écoulement (%)
<u>Kori TELOUA à RAZELMAMOULMI</u>			
1959	170	46 000 000	23
1960	116	14 100 000	10,4
<u>AZEL</u>			
1959	-	-	-
1960	120	9 000 000	6

En aval d'AZEL, le Kori TELOUA poursuit son cours jusqu'à AGADES (km 112) en subissant encore un amortissement sensible de ses crues. Mais après AGADES, le lit se partage en plusieurs bras qui se perdent dans des cuvettes boisées. A une trentaine de kilomètres au Sud-Ouest d'AGADES, on perd complètement la trace du Kori TELOUA qui a subi une dégradation hydrographique totale.

Les observations effectuées sur les principaux Kori de l'AÏR ont montré que seuls, ceux qui sont situés dans le quadrilatère AGADES-Massif de GUISSAT - Monts TODRA - Massif de TAROUADJI, ont pu contribuer en 1960 à l'alimentation des nappes aquifères.

En effet, en dehors de ce quadrilatère, le réseau hydrographique est trop dégradé et la pluviométrie trop faible pour qu'il y ait un écoulement appréciable à la sortie du massif, sauf en année particulièrement pluvieuse.

En année assez abondante, comme en 1959, l'écoulement global du massif de l'AÏR, à la limite des grès et du cristallin, peut être évalué en grossière approximation à 100 millions de mètres cubes.

En 1960, année relativement sèche, l'écoulement global a été de l'ordre de 35 millions de mètres cubes. Il a été limité à un ensemble de bassins dont la superficie totale est de 4 500 km² et qui ont reçu une pluviométrie moyenne voisine de 120 mm. Le coefficient d'écoulement a été de l'ordre de 6 %.

Les apports de 1960 ont été environ trois fois moindres que ceux de 1959, et pourtant 1960 n'a pas été d'une sécheresse exceptionnelle. Les volumes écoulés décroissent ainsi très vite avec la pluviométrie de l'année. Il est vraisemblable que lorsque la pluviométrie annuelle tombe au-dessous de 100mm, l'écoulement global devient pratiquement nul.

Il reste à savoir quelle proportion de l'écoulement global de l'AÏR participe effectivement à l'alimentation de la nappe des grès d'AGADES. Il est actuellement impossible de répondre à cette question avec quelque précision. Il est toutefois certain qu'une partie importante de cet écoulement se perd par évaporation dans les cuvettes d'épandage.

Nous avons dans ce sous-chapitre parlé surtout des cours d'eau temporaires issus de l'AÏR, car ils sont un peu mieux connus que ceux de l'AHAGGAR. En ce qui concerne l'AZAOUAK lui-même, il semble qu'il ne présente que de rares écoulements. J. DUBIEF rapporte cependant qu'en 1946 un écoulement aurait été observé jusqu'à une vingtaine de kilomètres en aval d'IN-ABANGARIT ; cet écoulement provenait vraisemblablement de l'AÏR méridional.

E - Les "Dallol" BOSSO, FOGA et MAOURI

Les "dallol" que l'on appelle également "vallées sèches" sont les vestiges d'anciens affluents du NIGER. Ces vallées sont larges, évasées et souvent ensablées.

Le Dallol BOSSO n'est que le prolongement de la vallée de l'AZAOUAK et s'étire sur plusieurs centaines de kilomètres avant de rejoindre le NIGER un peu en aval du W. Il n'a pas de lit marqué et ne présente aucun écoulement continu. Les eaux de ruissellement local descendent les pentes de la vallée ; tantôt elles s'infiltrent dans le thalweg, tantôt elles forment des mares qui s'assèchent à la fin de l'hivernage.

Le Dallol MAOURI a un bassin versant théorique qui s'étend jusqu'à la falaise de TIDJEDDI à 50 km au Sud d'AGADES, mais les différentes vallées affluentes (ABALEMMA, KEITA et BADEGUICHERI) sont en fait des dépressions discontinues qui n'apportent que des écoulements très limités ou nuls. Rejoint par le Dallol FOGA à 20 km au Nord de GAYA, le Dallol MAOURI conflue avec le NIGER près de DOLE. Dans son cours inférieur, la vallée est mieux marquée et présente quelques écoulements continus ou tout au moins de nombreuses mares d'hivernage. Dans certaines d'entre elles, on extrait du sel après évaporation.

Dans l'ensemble, les caractéristiques hydrologiques de ces "dallos" s'apparentent à celles du Dallol YOLDE étudiées au sous-chapitre A. Ils ont, en outre, un rôle hydrogéologique non négligeable en permettant l'alimentation de nappes superficielles alluviales et sans doute, certaines années abondantes, celle de la nappe du Continental Terminal.

Signalons qu'à la demande du Service du Génie Rural, l'ORSTOM a entrepris, de 1964 à 1966, des études de ruissellement et des mesures de transports solides sur un petit bassin versant représentatif appelé KOUNKOUZOUT (près de TAMASKE) et affluent de la vallée de KEITA. Des études hydrologiques plus extensives ont également été entreprises à partir de 1965 dans la région de l'ADER DOUTCHI. Ces études effectuées en vue d'aménagements hydro-agricoles ont porté sur les vallées de KEITA et de BADEGUICHERI. Le lecteur intéressé pourra se reporter aux rapports particuliers établis lors de ces recherches.

Bien que ne faisant pas partie du bassin du NIGER Moyen étudié dans le cadre de cette Monographie, nous citerons pour mémoire différents cours d'eau temporaires de la République du NIGER qui sont des affluents théoriques de la RIMA-SOKOTO, laquelle rejoint le NIGER en aval de MALANVILLE et a son bassin versant entièrement situé au NIGERIA.

Les principaux de ces cours d'eau sont la MAGGIA et le GOULBI de MARADI qui sont l'objet d'observations suivies de la part de l'ORSTOM (voir rapports annuels des "Vallées Sèches"). La MAGGIA qui prend naissance à une centaine de kilomètres au Nord-Est de BIRNI-NKONNI a un bassin actif de 3 000 km² environ. Elle se perd progressivement dans des dépressions marécageuses dont la principale est celle du lac KALMALO et de nos jours n'apporte plus aucun écoulement à la RIMA-SOKOTO. Le GOULBI de MARADI prend naissance au NIGERIA et y retourne après avoir décrit une large boucle en République du NIGER. C'est le premier affluent de la rive gauche du NIGER qui présente un écoulement à peu près continu sur tout son cours en saison très humide. Son régime est assez comparable à celui du BELI, premier affluent notable de la rive droite du Niger Moyen.

CHAPITRE VI

ESQUISSE HYDROGEOLOGIQUE

En 1960, J. ARCHAMBAULT a publié une remarquable synthèse des connaissances acquises sur "les Eaux Souterraines de l'Afrique Occidentale". Nous ne pouvons qu'inciter le lecteur à s'y reporter et nous donnerons seulement ici une brève esquisse de ce problème fort important pour les régions sahéliennes ou subdésertiques.

Les principales nappes aquifères se trouvent dans les bassins sédimentaires qui se sont constitués dans les régions où le vieux bouclier africain et sa couverture primaire se sont affaissés et où se sont accumulés les dépôts du Continental Intercalaire et du Continental Terminal. La tectonique est dans l'ensemble très simplifiée de sorte que les nappes du Continental couvrent de vastes superficies. Nous nous étendrons davantage sur celles-ci, mais auparavant nous parlerons des systèmes aquifères beaucoup plus réduits que l'on rencontre dans les terrains cristallins et précambriens.

A - SYSTEMES AQUIFERES des TERRAINS CRISTALLINS et PRECAMBRIENS

Ces terrains sont absolument imperméables en profondeur ; aussi ne peut-on y rencontrer que de petites nappes superficielles et localisées, non reliées entre elles sauf peut-être en fin d'hivernage. On peut distinguer des nappes alluviales, des nappes de fonds de mare et des nappes de sol d'altération.

Les nappes alluviales se forment dans les alluvions récentes des cours d'eau, mais la puissance de celles-ci est généralement faible.

L'alimentation de ces nappes est fonction de l'importance des crues. Sur la rive droite du NIGER, les alluvions sont peu perméables et il arrive fréquemment que les nappes tarissent en saison sèche.

Dans les régions granito-gneissiques de l'ADRAR des IFORAS et de l'AÏR, la vigueur du relief donne parfois naissance à des formations alluviales perméables que les autochtones connaissent et utilisent au mieux en recherchant de préférence les zones où la configuration du bed-rock crée un barrage souterrain, ce qui permet de trouver l'eau à faible profondeur. Les nappes étant uniquement alimentées par l'infiltration des crues, leur profondeur et leur durée d'utilisation pratique dépendent essentiellement de la pluviométrie de l'année.

Les nappes de fonds de mare, souvent pérennes, constituent l'une des principales ressources en eau des zones sahéliennes à substratum cristallin.

En saison des pluies, l'eau s'accumule fréquemment dans des dépressions dont le centre se colmate sous l'effet de dépôts argileux. Sur les bords et au-dessous de ce revêtement argileux, le terrain est souvent sableux et permet ainsi la constitution d'une nappe dont le niveau statique peut être très inférieur à celui de la mare superficielle.

Les nappes de fonds de mare se rencontrent sur la rive droite du NIGER, mais elles sont inexistantes dans les massifs de l'ADRAR des IFORAS et de l'AÏR.

Les nappes des terrains d'altération peuvent être des nappes d'arènes granitiques ou des nappes sous-latéritiques. Sur la rive droite du NIGER on en rencontre un certain nombre qui ne sont généralement pas reliées entre elles et dont la durée d'utilisation dépend beaucoup de l'épaisseur de la couche d'altération. Les nappes de ce type sont inexistantes dans les massifs de l'ADRAR et de l'AÏR.

B - SYSTEMES AQUIFERES des BASSINS SEDIMENTAIRES

Les bassins sédimentaires, qui occupent la majeure partie de la rive gauche du NIGER moyen, sont constitués au Nord et en bordure des massifs précambriens, par la série du Continental Intercalaire composée de sables, de graviers, de grès et d'argiles. Cette série forme une nappe aquifère continue. Le Continental Intercalaire

est recouvert par des niveaux du Crétacé moyen et supérieur et de l'Eocène, eux-mêmes surmontés par la série du Continental Terminal (perméable) qui jouxte le socle au Sud-Ouest.

a) On rencontre toutes ces séries dans le Détroit Nigérien, compris entre l'ADRAR des IFORAS et le massif ancien du GOURMA. La largeur de la nappe libre du Continental Intercalaire est faible : inférieure à 50 km dans la vallée du TILEMSI, elle est nulle au Sud des IFORAS. Le débit des puits est élevé dans la zone où la nappe est captive sous le crétacé. Son alimentation se fait à partir du ruissellement sur le massif des IFORAS.

Plus au sud, la nappe continue du Continental Terminal, comprise entre le Crétacé et le NIGER, a une largeur moyenne de 100 km. Le niveau hydrostatique est très irrégulier : la profondeur des puits varie de 20 à 40 m près du NIGER et atteint 100 m au Nord de GAO.

Les eaux du NIGER alimentent la nappe du Continental Terminal, principalement dans le bief BOUREM-GAO. Jusqu'à une trentaine de kilomètres du NIGER, les eaux des puits sont extrêmement douces ; au delà, leur minéralisation s'accroît, mais reste modérée.

Au voisinage immédiat du fleuve, la nappe du NIGER est susceptible de fournir des débits importants dans les niveaux de sable grossier intercalés dans les alluvions.

b) A l'Est et au Sud-Est du Détroit Nigérien, on retrouve toutes les séries sédimentaires sur des distances considérables.

- La série du Continental Intercalaire, très épaisse, comporte dans la région d'AGADES deux horizons perméables (grès d'AGADES et grès du TEGAMA) séparés par une intercalation argileuse partiellement imperméable (argilites gréseuses de l'IRHAZER) ; dans la région TAHOUA-ADER DOUTCHI, les argilites de l'IRHAZER ont disparu et il n'y a plus qu'une seule nappe (GREIGERT). De nombreux puits, profonds de 30 à 75 m, l'exploitent en position libre à l'Est du 6ème méridien, tandis qu'à l'Ouest la nappe se trouvant sous les argiles du Crétacé inférieur est captive et ne peut être exploitée que par des forages profonds (300 m à AGADEM-BORAREM).

L'alimentation des nappes du Continental Intercalaire se fait depuis les affleurements gréseux situés au contact du socle précambrien à partir du ruissellement sur les massifs. La partie méridionale de l'AIR, comprise entre le 17ème et le 18ème parallèle, dont la pluviométrie moyenne est de 150 mm environ, contribue principalement à l'alimentation de la nappe.

L'écoulement de la nappe s'effectue vraisemblablement en direction générale du NIGER, mais avec une vitesse très lente de l'ordre de quelques mètres par an tout au plus.

- Les nappes de l'Eocène et du Crétacé qui recouvrent au Sud le Continental Intercalaire semblent stériles ou très peu aquifères. Un forage effectué à CHINAZARAN n'a pas atteint la nappe, mais il est possible que son niveau statique soit très profond et qu'il existe des nappes crétacées en d'autres points du bassin.

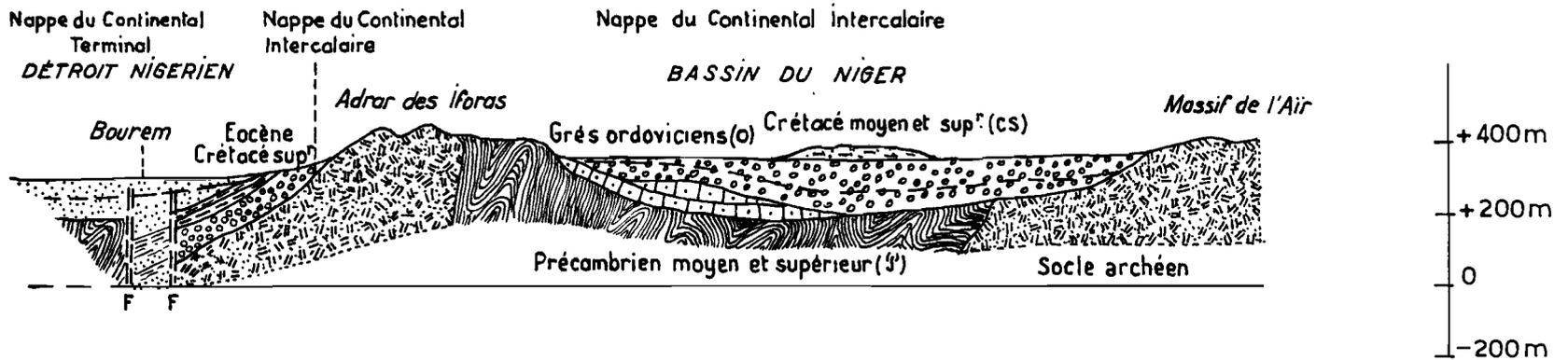
- La nappe du Continental Terminal, très importante, est située au-dessus des formations de l'Eocène et du Crétacé. C'est une nappe aquifère continue et libre puisqu'il n'existe pas de niveau perméable superposé. C'est donc la première nappe que rencontrent les puits des autochtones. Elle s'étend sur la rive gauche du NIGER depuis le fleuve jusqu'à la ligne TAHOUA-MENAKA.

L'alimentation de cette nappe phréatique se fait essentiellement à partir des ruissellements locaux.

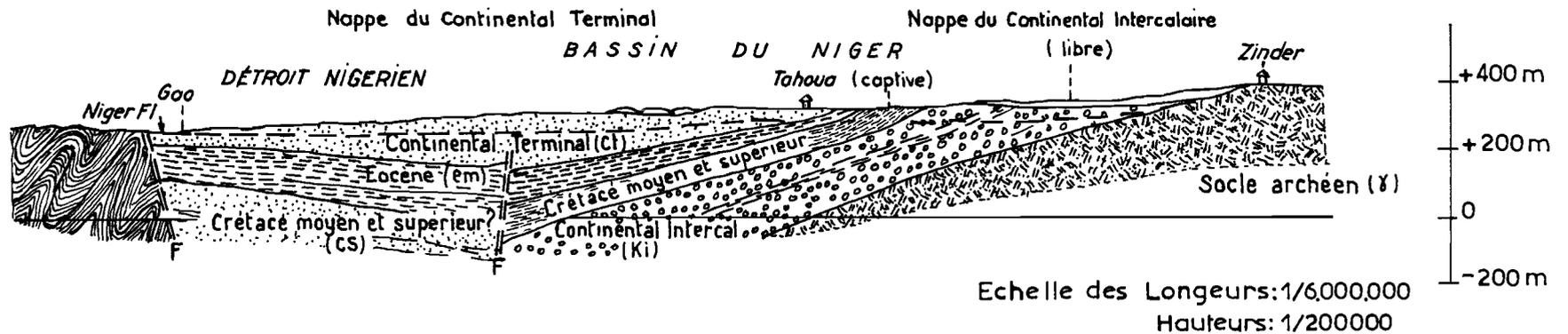
La pluviométrie moyenne dans le quadrilatère ANSONGO-MENAKA-TAHOUA-DOSSO varie entre 300 mm et 700 mm ; les bassins sont, en général, fermés et les eaux de ruissellement se concentrent dans les thalwegs où elles s'infiltrent, non sans avoir subi des pertes très importantes par évaporation.

Coupes géologiques du Bassin du NIGER MOYEN (d'après J. Archambault)

Coupe BOUREM _ Adrar des Iforas _ Aïr



Coupe GAO _ TAHOUA _ ZINDER



CHAPITRE VII

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

A - GENERALITES

Le bassin théorique du NIGER Moyen, compris entre les parallèles 10° et 24°, est soumis à trois principaux types de climats qui s'échelonnent du Nord au Sud (classification de J. RODIER) :

- Le climat "tropical pur" entre les isohyètes 1200 et 750 mm.
- Le climat "sahélien" entre les isohyètes 750 et 300 mm.
- Le climat "subdésertique" entre les isohyètes 300 et 100 mm.

On peut ajouter le climat "saharien" qui règne à l'extrémité Nord du bassin théorique, dans des régions mal connues aréïques ou à écoulement vite dégradé.

Ces climats sont régis par le mouvement alternatif de l'"harmattan" et de la "mousson", sur lequel nous ne reviendrons pas puisqu'il a déjà été décrit au Chapitre IV de la deuxième Partie. Rappelons seulement que ce mouvement alternatif se traduit par une saison sèche en hiver et une saison des pluies en été, la longueur de la saison sèche, par rapport à celle de la saison des pluies, croissant du Sud vers le Nord.

Les stations climatologiques et les postes pluviométriques sont très inégalement répartis dans les régions immenses théoriquement drainées par le NIGER Moyen. Ils sont principalement concentrés dans la vallée du NIGER, les bassins affluents de rive droite et sur l'axe NIAMEY-ZINDER.

Nous avons adopté trois stations de référence pour caractériser les principaux climats du bassin :

- GAO pour le climat subdésertique,
- NIAMEY pour le climat sahélien,
- KANDI pour le climat tropical.

Ces trois stations sont situées dans ce que l'on peut appeler le bassin actif du NIGER, par opposition au bassin théorique. Elles sont bien échelonnées en latitude. Nous manquons de données suffisantes pour retenir une station caractéristique du climat saharien, comme celle de TAMANRASSET par exemple. On pourra éventuellement se reporter à la remarquable étude de J. DUBIEF sur le "climat du SAHARA", dont malheureusement le tome II n'a pas, à ce jour, été publié. C'est dans ce Tome que l'on devrait trouver le chapitre sur les précipitations qui nous intéresserait le plus directement.

B - VENTS

Le régime des vents dans le bassin du NIGER Moyen est analogue à celui de la Cuvette Lacustre. L'harmattan, vent sec soufflant du secteur Nord-Est ou Est, est dominant en saison sèche. La mousson, vent humide du secteur Sud-Ouest ou Sud, domine pendant la saison des pluies. On peut noter des déviations locales dans la direction des vents. Ainsi à GAO, en saison humide, les vents du Nord-Ouest sont aussi fréquents que les vents du Sud.

Les tableaux ci-dessous donnent la répartition des vitesses pendant les semestres Novembre - Avril et Mai - Octobre que l'on peut approximativement assimiler à la saison sèche et à la saison des pluies

Saison sèche (Novembre 1954 - Avril 1955)				
Stations	< 6 km/h	6 à 25 km/h	26 à 50 km/h	> 50 km/h
GAO	21	68	11	0
NIAMEY	17	80	3	0
KANDI	54	42	4	0

Hivernage (Mai - Octobre 1955)				
Station	< 6 km/h	6 à 25 km/h	26 à 50 km/h	> 50 km/h
GAO	17	70	13	0
NIAMEY	15	83	12	0
KANDI	59	41	0	0

La comparaison des tableaux montre que la fréquence des vents en saison sèche et en hivernage est sensiblement identique pour GAO et NIAMEY avec un pourcentage élevé des vents modérés (68 à 83 %) ; la fréquence des vents assez forts n'est pas négligeable pour ces deux stations, sauf à NIAMEY en saison sèche.

Au Sud du bassin, d'après les relevés de KANDI, les vents sont beaucoup plus faibles durant toute l'année.

C - TEMPERATURES

Les températures moyennes interannuelles pour les trois stations de base sont les suivantes :

GAO : 29° 6 (Moyenne 1928-49)

NIAMEY : 28° 9 (" 1944-54)

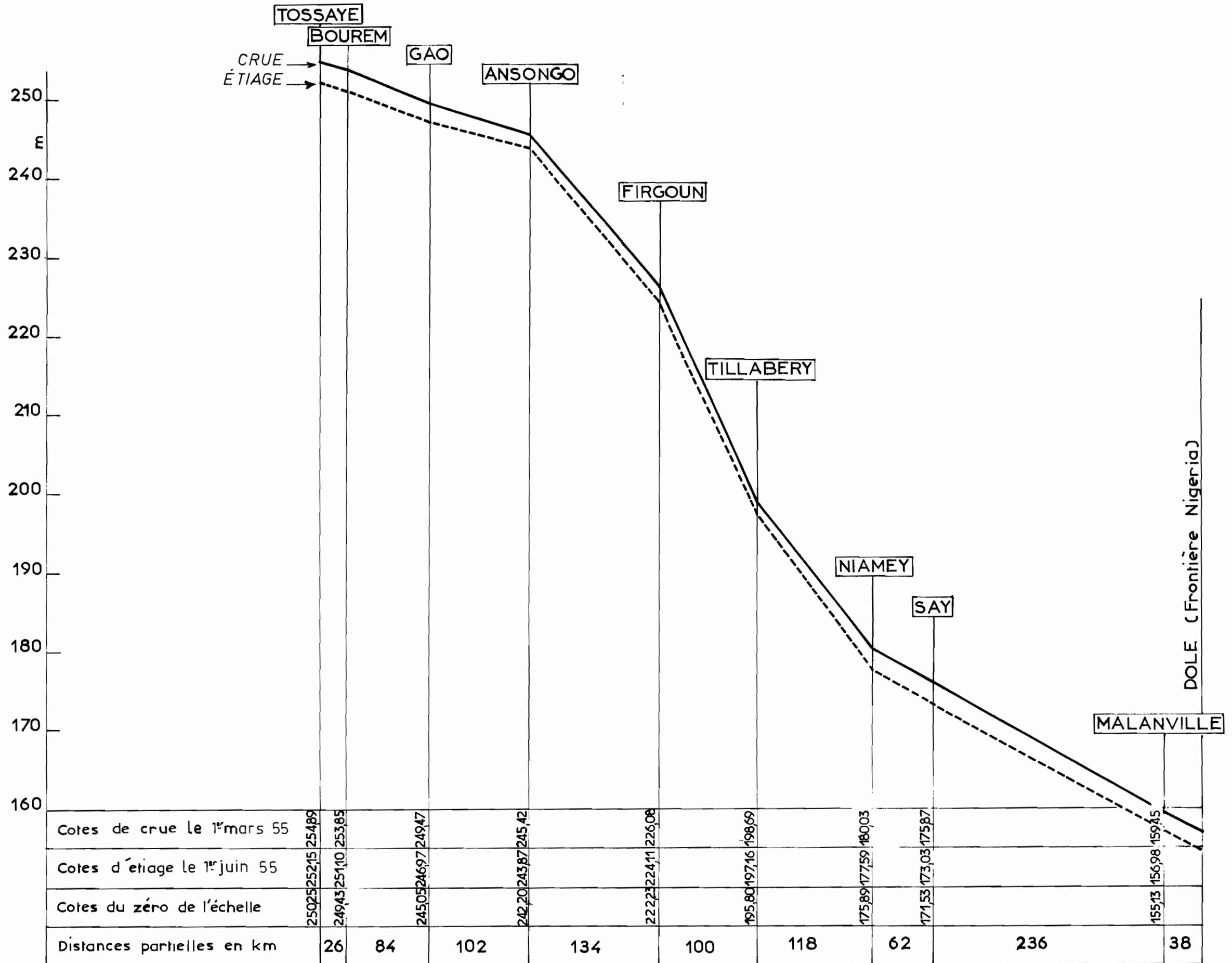
KANDI : 27° 8 (" 1937-49)

On remarque que la température moyenne décroît légèrement du Nord vers le Sud. Les variations diurnes et saisonnières étant élevées, il est utile de considérer les moyennes mensuelles des températures journalières extrêmes (Tx et Tn), ainsi que leurs écarts. Ces données ont été figurées sur le graphique 98.

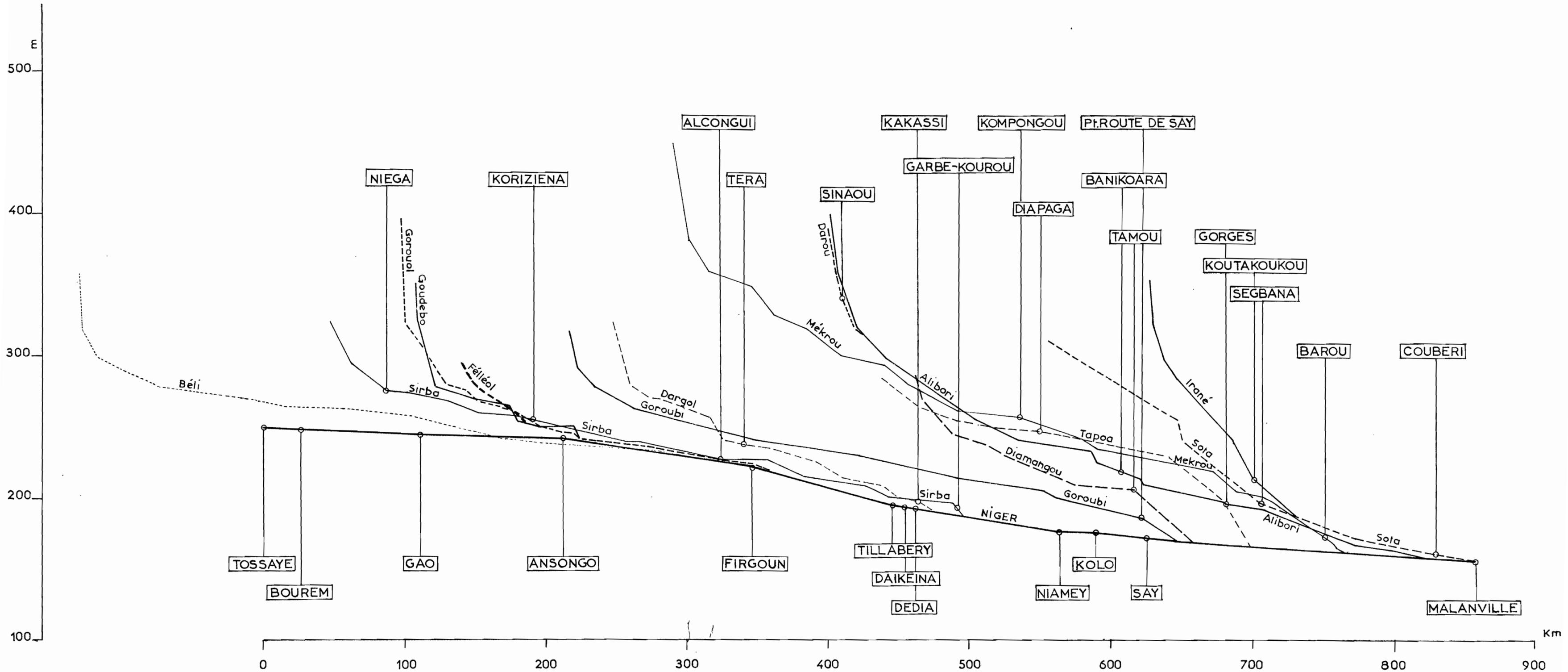
Les variations saisonnières des températures maximales journalières sont, à NIAMEY, les suivantes. Après un minimum en Janvier (33°6), la température Tx croît rapidement pour atteindre un maximum en Avril (41°4). La remontée du Front inter-tropical et, par suite, l'arrivée d'air humide et des premières averses rafraîchissent légèrement l'air : Tx est de 37°7 en Juin. Ensuite, durant la saison des pluies, la température Tx décroît et atteint un deuxième minimum en Août (31°5), qui correspond au mois le plus pluvieux.

LIGNES D'EAU DU NIGER MOYEN

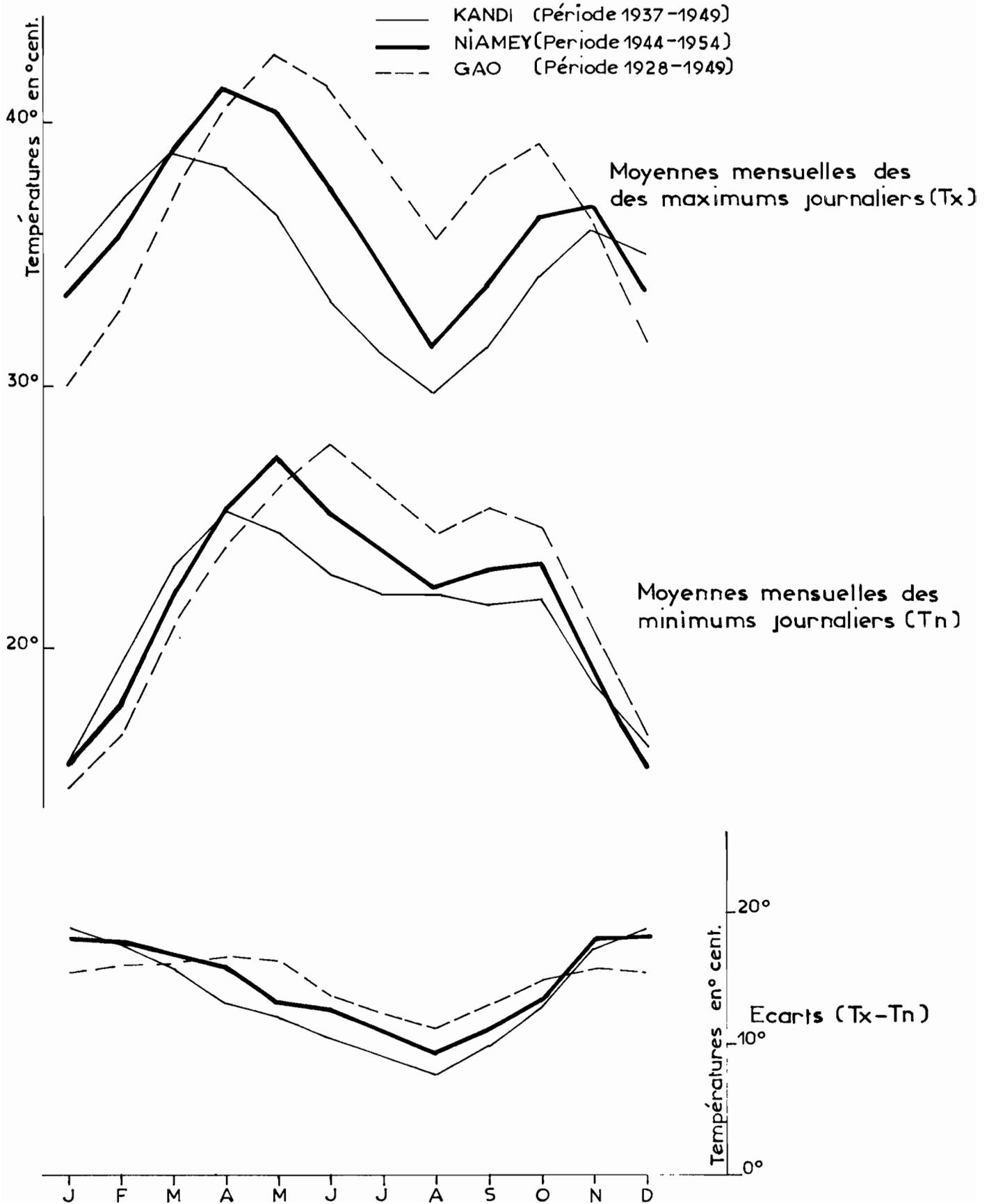
Gr. 96



PROFIL EN LONG DU NIGER MOYEN ET DE SES AFFLUENTS



VARIATIONS SAISONNIÈRES DES TEMPÉRATURES



Il est à noter qu'à NIAMEY, la moyenne des maximums est plus basse en Août que durant l'hiver proprement dit ; avec le recul du F.I.T. vers le Sud, la température Tx augmente régulièrement jusqu'en Novembre ($36^{\circ}8$), puis décroît rapidement en Décembre ($33^{\circ}6$).

Les variations des températures minimales Tn sont similaires à celles des maximums. Minimale en Décembre et Janvier ($15^{\circ}5$), la température Tn croît jusqu'en Mai ($27^{\circ}3$) puis diminue durant la saison des pluies ; le minimum d'Août ($22^{\circ}3$) est toutefois bien moins important que celui de Janvier.

Tn remonte légèrement en Septembre et Octobre ($23^{\circ}2$) puis atteint un minimum en Décembre ($15^{\circ}5$).

Les écarts entre les valeurs de Tx et de Tn, maximaux en Janvier ($18^{\circ}8$), décroissent jusqu'en Août ($9^{\circ}2$), puis croissent à la fin de l'hivernage.

Les diagrammes des stations de GAO et KANDI présentent des similitudes avec ceux de NIAMEY. Toutefois, par suite des écarts de latitude, les valeurs de Tx et de Tn sont différentes et leurs maximums sont décalés dans le temps. L'arrivée du F.I.T. étant plus précoce à KANDI qu'à GAO, le maximum de Tx se produit :

- en Mars à KANDI ($38^{\circ}8$)
- en Avril à NIAMEY ($41^{\circ}4$)
- en Mai à GAO ($42^{\circ}6$).

Le minimum a lieu, pour les trois stations en Août, mois où quelle que soit la latitude, la hauteur de pluie est maximale.

La durée de la saison des pluies étant plus courte au Nord qu'au Sud de NIAMEY, le deuxième maximum des Tx a lieu en Octobre à GAO et en Novembre à KANDI.

Pour Tn, nous retrouvons le même décalage suivant la latitude. Le maximum se produit :

- en Avril à KANDI ($25^{\circ}2$)
- en Mai à NIAMEY ($27^{\circ}3$)
- en Juin à GAO ($27^{\circ}7$)

Les variations mensuelles des écarts journaliers augmentent avec la latitude. Ceci est dû au fait que les variations nocturnes sont plus faibles en climat tropical qu'en climat subdésertique ou sahélien.

D - HYGROMETRIE et EVAPORATION

a) Humidité de l'air

Les moyennes interannuelles (période 1951-55) des humidités relatives journalières maximales et minimales augmentent du Nord au Sud, comme le montre le tableau suivant :

Station	Humidité relative en %	
	Moyenne des maximums	Moyenne des minimums
GAO	55,5	18,1
NIAMEY	62,0	26,7
KANDI	80,7	39,7

L'air humide de la mousson séjournant plus longuement dans les régions méridionales, la tendance constatée s'explique aisément.

A KANDI, les moyennes mensuelles Ux et Un des maximums et minimums journaliers d'humidité relative sont faibles de Janvier à Mars, croissent avec l'arrivée du F.I.T., puis restent sensiblement stationnaires de Juin à Octobre. Elles décroissent franchement en Novembre et Décembre.

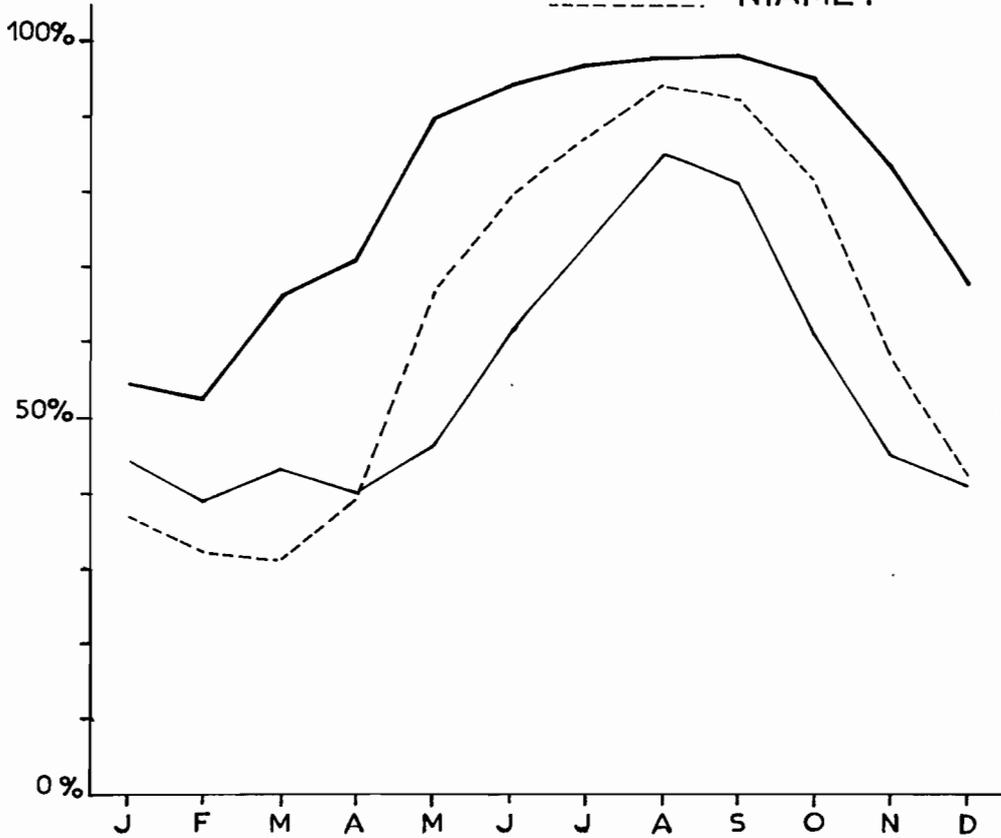
A NIAMEY et surtout GAO, le diagramme des variations saisonnières de Tx et de Tn présente un maximum beaucoup plus aigu qui se situe en Août. Les valeurs extrêmes de Ux et Un se situent d'ailleurs sensiblement aux mêmes époques de l'année pour les trois stations :

Station	Ux %		Un %	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
GAO	39,2 (Fév)	85,6 (Août)	7,8 (Mars)	42,6 (Août)
NIAMEY	31,4 (Mars)	94,2 (Août)	7,8 (Fév.)	59,6 (Août)
KANDI	52,8 (Fév.)	98,2 (Sept)	17,0 (Fév.)	65,6 (Août)

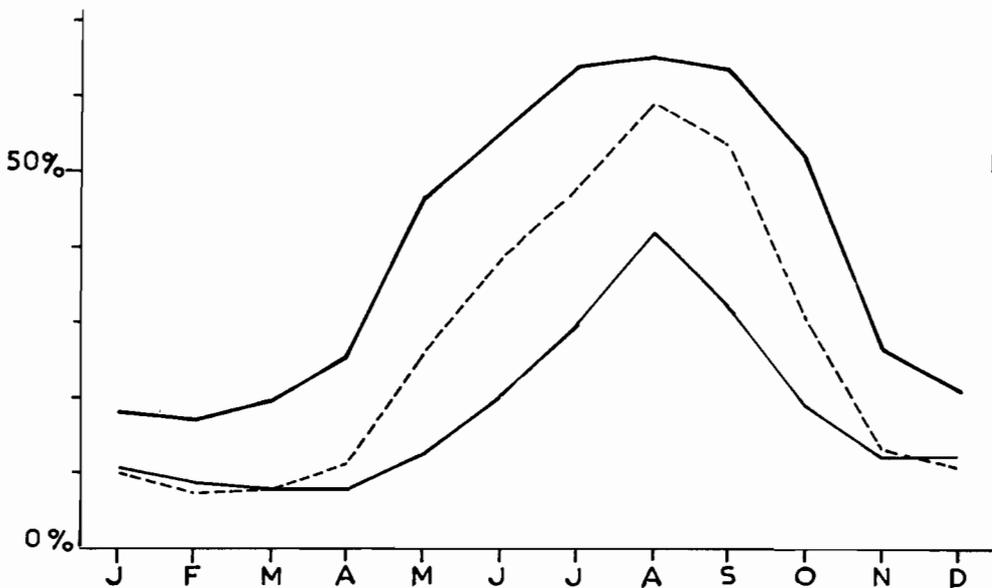
VARIATIONS SAISONNIÈRES DE L'HUMIDITÉ RELATIVE

(Période 1951-1955)

— GAO
— KANDI
- - - NIAMEY



Moyennes mensuelles des maximums journaliers (U_x)



Moyennes mensuelles des minimums journaliers (U_n)

b) Evaporation

On ne dispose pratiquement d'aucune observation directe d'évaporation sur bac pour tout le bassin du NIGER Moyen. On possède seulement quelques relevés effectués sur un bac Colorado à IFEROUANE dans le massif de l'AÏR en 1959-60.

Les moyennes mensuelles obtenues à IFEROUANE ont été figurées sur le graphique n° 100, où l'on a représenté également les valeurs recueillies en d'autres stations : TIN ADJAR situé au milieu du GOURMA à peu près à la même latitude que GAO, MBOUMA (micro-climat humide) au bord du lac FAGUIBINE à l'Ouest de TOMBOUCTOU, BOL-dune (micro-climat sec) sur la bordure Nord-Ouest du lac TCHAD et sensiblement à la même latitude que NIAMEY, enfin FORT-LAMY qui se trouve à la même latitude que MALANVILLE.

Les variations saisonnières des évaporations mensuelles sont assez analogues pour les cinq stations mentionnées. Après un minimum en Décembre ou Janvier, l'évaporation croît rapidement pendant la saison sèche pour atteindre un maximum entre Mars et Juin. L'arrivée de l'air humide de la mousson provoque une baisse assez brusque de l'évaporation qui atteint un minimum très marqué en Août, (sauf à IFEROUANE, situé vers la limite septentrionale de la remontée du F.I.T.).

Les valeurs annuelles de l'évaporation sont les suivantes :

- IFEROUANE : 3 980 mm
- TIN-ADJAR : 3 170 mm
- M'BOUNA : 2 500 mm
- BOL (dune) : 3 170 mm
- FORT-LAMY : 2 510 mm

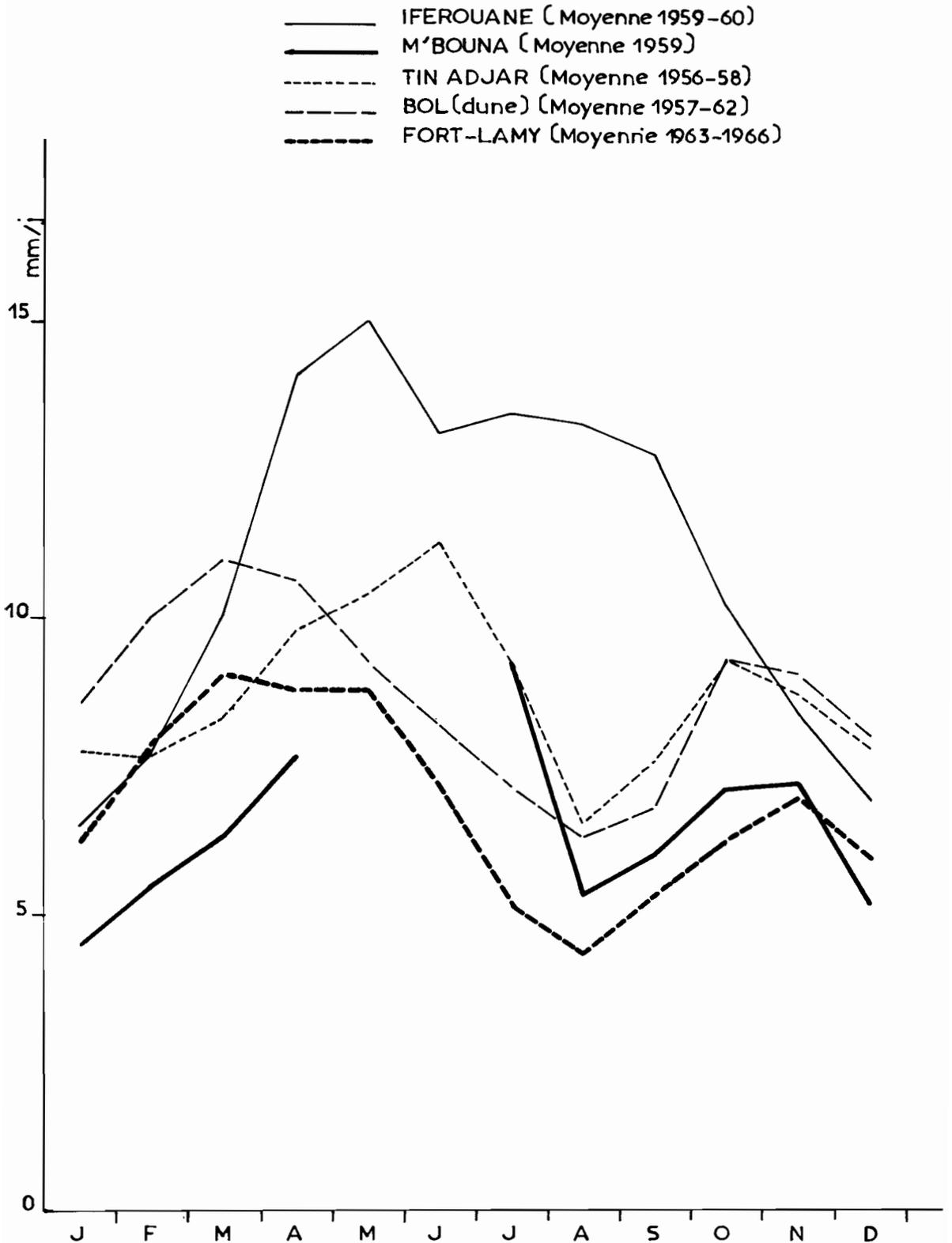
Pour obtenir l'évaporation sur une grande nappe d'eau libre, on pourra utiliser les coefficients de réduction approximatifs qui suivent :

- 85 à 90 % pour les bacs situés en micro-climat humide,
- 65 à 70 % pour les bacs situés en micro-climat sec.

Pour les régions subdésertiques du bassin, l'évaporation d'une retenue approcherait ainsi de 3 mètres. Dans la vallée du NIGER Moyen proprement dite, le micro-climat étant relativement humide, on peut adopter des valeurs comprises entre 2,25 et 1,75 m selon la latitude.

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE L'ÉVAPORATION SUR BAC COLORADO

(Moyennes mensuelles en mm/jour)



E - PRECIPITATIONS

1°) - Hauteurs annuelles

Les isohyètes interannuelles du bassin du NIGER Moyen ont été tracées sur la carte XVIII à partir des données recueillies par Y. BRUNET-MORET dans l'"Etude Générale des Averses Exceptionnelles en Afrique Occidentale" (cf Rapports relatifs à la République du MALI, la République du NIGER et la République de HAUTE-VOLTA).

Nous donnons ci-dessous les hauteurs moyennes aux-principales stations pluviométriques classées suivant le régime climatique :

a) Climat tropical pur

BIMBEREKE	(1284) mm	- TANGUIETA	(1060) mm
NIKKI	(1275) mm	- BOUKOMBE	(1108) mm
NATITINGOU	(1260) mm	- KANDI	(1046) mm
KOUANDE	(1235) mm	- TENKODOGO	967 mm (34 ans)
GAYA	836 mm (27 ans)	- DIAPAGA	841 mm (22 ans)
OUAGADOUGOU	868 mm (32 ans)	- KOUPELA	821 mm (34 ans)
KANTCHARI	782 mm (18 ans)	- KOULOU	839 mm (11 ans)

b) Climat sahélien

OUAHIGOUYA	725 mm (25 ans)	- KAYA	706 mm (35 ans)
DOSSO	694 mm (31 ans)	- KOLO	567 mm (20 ans)
SAY	680 mm (38 ans)	- BIRNI N'KONNI	596 mm (28 ans)
DOGONDOUTCHI	640 mm (39 ans)	- MAGARIA	654 mm (23 ans)
MARADI	623 mm (28 ans)	- DOUENTZA	499 mm (35 ans)
DORI	546 mm (25 ans)	- TERA	526 mm (23 ans)
NIAMEY-Ville	575 mm (56 ans)	- MADAOUA	524 mm (25 ans)
TESSAOUA	562 mm (25 ans)	- ZINDER	501 mm (51 ans)
HOMBORI	429 mm (29 ans)	- TILLABERY	508 mm (38 ans)
FILINGUE	513 mm (30 ans)	- TAHOUA	396 mm (38 ans)
ANSONGO	312 mm (36 ans)		

c) Climat subdésertique

GAO	276 mm (39 ans)	- KABARA	223 mm (36 ans)
MENAKA	267 mm (35 ans)	- TOMBOUCTOU	234 mm (13 ans)
BOUREM	160 mm (33 ans)	- GOURMA RHAROUS	180 mm (35 ans)
KIDAL	138 mm (36 ans)	- AGADES	173 mm (38 ans)
IFEROUANE	63 mm (21 ans)	- TESSALIT	100 mm (14 ans)
TAMANRASSET(43)mm			

Sur le bassin actif du NIGER Moyen la pluviométrie annuelle varie entre 180 mm vers TOSSAYE et 1280 mm à son extrémité méridionale en territoire dahoméyen.

La hauteur moyenne des précipitations annuelles sur le bassin versant des affluents actifs est la suivante :

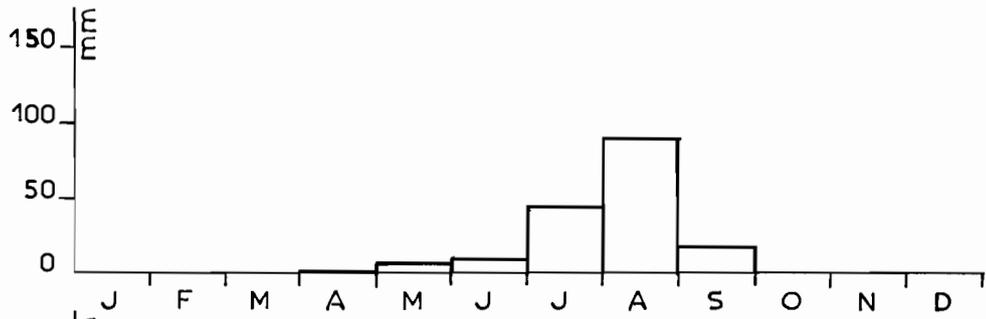
- Bassin du GOROUOL : 460 mm
- " du DARGOL : 525 mm
- " de la SIRBA : 700 mm
- " du GOROUBI : 700 mm
- " du DIAMONGOU : 755 mm
- " de la TAPOA : 820 mm
- " de la MEKROU : 1040 mm
- " de l'ALIBORI : 1090 mm
- " de la SOTA : 1120 mm

2°) - Variations saisonnières

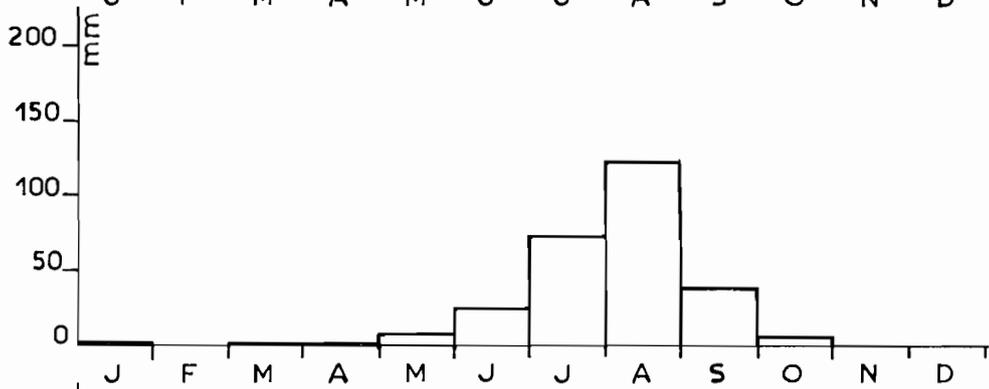
Le tableau ci-dessous rassemble les hauteurs moyennes mensuelles pluviométriques pour la période 1923-1957 ; il montre bien les variations saisonnières pour quatre stations assez régulièrement échelonnées en latitude :

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AGADES	0	0	0	1	6	9	43	89	16	0	0	0
GAO	1	0	1	1	7	24	71	121	38	5	0	0
NIAMEYville	0	0	2	7	39	83	134	207	92	19	1	0
KANDI	0	1	10	29	98	140	197	296	214	58	3	0

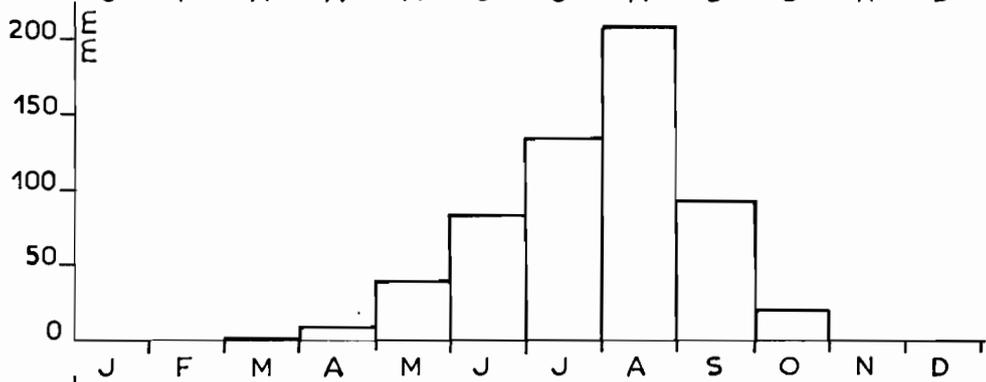
VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA PLUVIOMETRIE



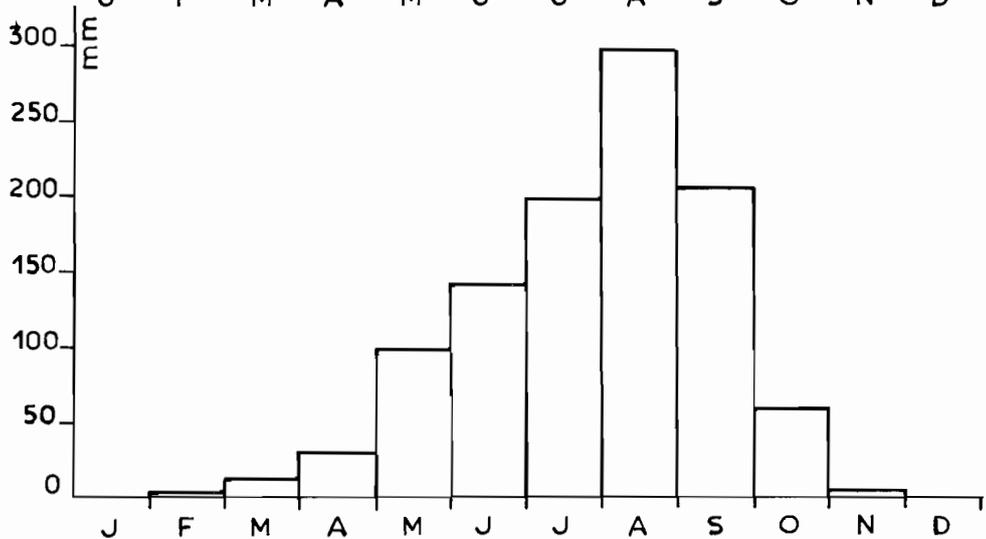
AGADÉS



GAO



NIAMEY



KANDI

La hauteur maximale des précipitations se situe pour chaque station en Août et croît du Nord au Sud.

La durée de la saison des pluies augmente également du Nord au Sud : elle est de deux mois à AGADES et de six mois à KANDI.

Quelques pluies ont lieu durant la saison sèche mais elles ne sont notables que dans le Sud du bassin (climat tropical) ; leur influence est très faible sur le régime hydrologique des affluents du NIGER et nulle sur le NIGER lui-même.

3°) - Précipitations journalières

Dans la plus grande partie du bassin du NIGER Moyen, c'est-à-dire dans toute la zone de pluviométrie annuelle inférieure à 1000 mm, les précipitations sont des tornades de courte durée dont le hyétogramme est sensiblement toujours le même et comporte :

- Une période préliminaire de quelques minutes avec une intensité moyenne (10 à 30 mm/h).
- Un corps de 10 à 30 minutes où l'intensité est généralement supérieure à 60 mm/h.
- Une traîne variant entre 30 minutes et 2 heures avec une intensité inférieure à 10 mm/h.

Suivant la latitude, on peut rencontrer, dans une période de 24 heures, deux ou plusieurs tornades se succédant à quelques heures d'intervalle.

En climat tropical, les précipitations peuvent être parfois du type "pluies de mousson" de faible intensité (20 à 30 mm/h), durant plusieurs heures.

Le nombre de jours de pluie, variant avec la hauteur annuelle, croît du Nord au Sud.

La plus grande partie des pluies est de faible hauteur, ainsi que le montre le tableau des fréquences annuelles à quelques stations du bassin :

Stations	MOYENNE ANNUELLE des jours de pluie					
	>100 mm	>80 mm	>60 mm	>40 mm	>20 mm	<20 mm
IFEROUANE	0	0	0	0,05	0,6	13,3
AGADES	0	0	0,06	0,22	2,1	21,6
GAO	0,03	0,06	0,35	0,83	4,0	25,7
DORI	0	0,04	0,4	2,32	10,0	34,2
FADA N'GOURMA	0,19	0,48	1,05	4,24	16,3	50,7

4°) - Précipitations exceptionnelles

Le lecteur pourra se reporter à l'"Etude Générale des Averses Exceptionnelles en Afrique Occidentale" que nous avons déjà mentionnée et dont nous extrairons quelques données importantes.

Les averses de fréquence biennale, c'est-à-dire dont la hauteur n'est atteinte ou dépassée qu'une année sur deux, tendent à croître du Nord vers le Sud, comme la pluviométrie annuelle. Il en est de même pour les averses décennales, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Stations	Averse biennale	Averse décennale
TESSALIT	28 mm	47 mm
IFEROUANE	20,5 mm	30,5 mm
AGADES	36,5 mm	58,5 mm
GAO	46 mm	73,5 mm
NIAMEY	64 mm	91,5 mm
GAYA	79 mm	116,5 mm

Nous citerons également quelques valeurs de pluies exceptionnelles relevées en diverses stations :

AGADES	=	65,6 mm	(observations sur 32 ans)
GAO	=	118,6 mm	(observations sur 36 ans)
NIAMEY-VILLE	=	173 mm	(observations sur 10 ans)
MALANVILLE	=	187 mm	(observations sur 10 ans)

Dans l'ensemble ces valeurs dépassent largement celles des pluies décennales, mais il n'est guère possible de leur assigner une période moyenne de retour : celle-ci est peut-être de 30, 50 ou même 100 ans.

5°) - Irrégularité interannuelle

Si on classe les hauteurs de précipitations annuelles d'une station donnée par ordre décroissant, on peut caractériser l'irrégularité interannuelle par le rapport du premier au dernier décile. Pour des durées d'observations variant entre 34 et 40 ans, ce rapport admet les valeurs suivantes :

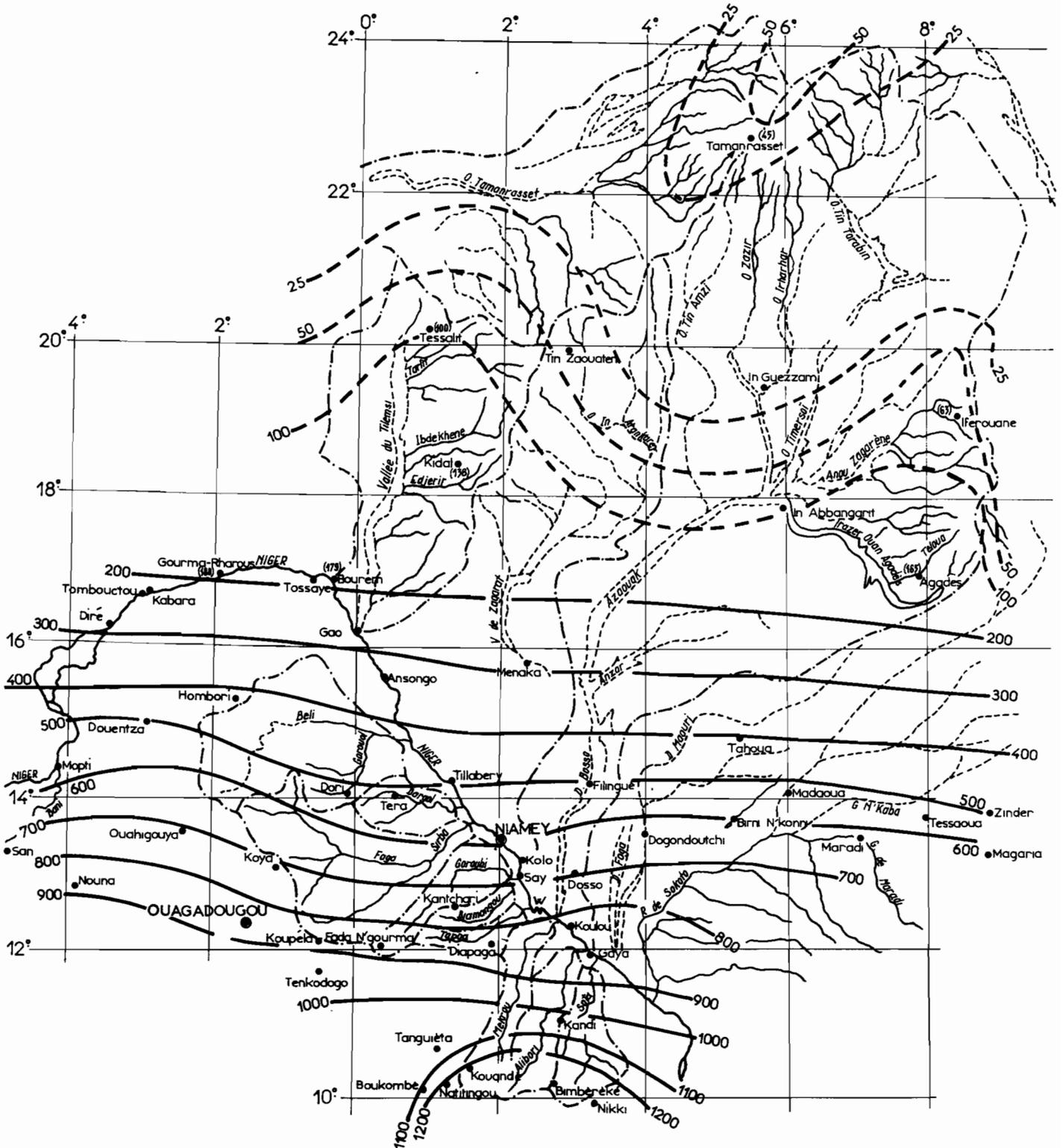
AGADES	=	2,26	-	DOGONDOUTCHI	=	1,99
GAO	=	2,53	-	SAY	=	1,76
DORI	=	1,96	-	FADA N'GOURMA	=	1,59
NIAMEY-Ville	=	1,82	-	KANDI	=	1,62
			-	BIMBEREKE	=	1,53

D'une manière générale, le coefficient d'irrégularité décroît du Nord vers le Sud. Il est grosso modo :

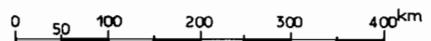
- supérieur à 2 en climat subdésertique
- compris entre 2 et 1,8 en climat sahélien
- compris entre 1,8 et 1,5 en climat tropical.

BASSIN DU NIGER MOYEN

ISOHYÈTES INTERANNUELLES



D'après "Etude Générale des Averses Exceptionnelles en Afrique Occidentale" de Y. BRUNET-MORET



C H A P I T R E VIII

HYDROMETRIE

A - EQUIPEMENT et MESURES HYDROMETRIQUES -

Les différentes stations hydrométriques installées sur le cours du NIGER Moyen (entre TOSSAYE et la frontière du NIGERIA) ainsi que sur ses affluents actifs de rive droite sont représentées sur la carte XIX et figurent sur le tableau II ci-après.

Outre les coordonnées géographiques de chaque station, on a porté dans ce tableau des indications succinctes sur l'installation des échelles limnimétriques, la continuité des observations et la valeur des étalonnages. Les superficies des bassins versants des affluents actifs ont été indiquées, mais non celles correspondant aux stations du NIGER lui-même, car elles n'ont pas de signification étant donné l'extension des zones inondées de la Cuvette Lacustre et surtout des bassins fossiles de la rive gauche du fleuve.

Pour tout détail complémentaire sur l'historique des stations et la description de leur installation on pourra se reporter à la Monographie originale publiée de 1958 à 1962. On y trouvera la liste complète des jaugeages effectués jusque vers 1960. On pourra également consulter divers rapports établis après 1960 par l'ORSTOM à la demande du Ministère de l'Economie Rurale de la République du NIGER :

- "Rapport complet des observations et mesures de débits réalisées avant 1961"
- "Observations et mesures hydrologiques sur le NIGER Moyen et ses affluents - Résultats de la Campagne 1961"
- Idem - Résultats de la Campagne 1962"
- Idem - " " " 1963"
- Idem - " " " 1964"
- Idem - " " " 1965"
- "Annuaire Hydrologique du NIGER - Année 1966"

T A B L E A U I I

Réseau hydrométrique du NIGER Moyen et affluents

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (sur le territoire du MALI)	1 - <u>TOSSAYE</u>	16° 58' N 0° 34' W	-Echelle actuelle installée en 1954 -Altitude provisoire du zéro = 250,25 m (IGN 58) -Relevés utilisables de Juillet 1948 à juin 1960 -Anciens relevés inutilisables en 1904-05, 1909-10 et 1936-37	- 18 jaugeages entre 230 et 2 300 m ³ /s - Etalonnage stable (lit rocheux), assez satisfaisant sauf en très basses eaux, mais non univoque
	2 - BOUREM	16° 57' N 0° 21' W	-Echelle actuelle installée en 1951 - Relevés incomplets jusqu'en décembre 1960 -Altitude du zéro = 249,43m	- Aucun jaugeage - Etalonnage approximatif possible par corrélation avec TOSSAYE
	3 - GAO	16° 16' N 0° 03' W	-Echelle installée en 1948 et remplacée en septembre 1950, avec décalage du zéro de 22 cm vers le haut - Relevés jusqu'en décembre 1960. -Altitude du zéro = 245,05 m -Anciens relevés presque inutilisables de 1923 à 1932 et en 1946	- Néant (nature du lit peu propice à l'exécution de bons jaugeages)

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	4 - ANSONGO	15° 40' N 0° 30' E	-Echelle actuelle installée en Juillet 1949 - Relevés légèrement incomplets d'octobre 1949 à décembre 1958 - Altitude du zéro = 242,195m -Relevés anciens utilisables de 1923 à 1935	- 17 jaugeages entre 200 et 1 900 m ³ /s - Etalonnage assez satisfaisant, mais non tout à fait univoque
NIGER (sur le territoire de la République du NIGER).	5 - FIRGOUN	14° 51' N 0° 52' E km 2 350	-Relevés de Juillet 1954 à décembre 1955 (zéro à 222,21 m), puis de septembre 1956 à mai 1959 (zéro à 222,74 m) enfin de janvier 1961 à décembre 1963 (zéro à 222,62)	- Néant (nature du lit peu favorable pour l'exécution de jaugeages)
	6 - FEMALE	14° 33' N 1° 02' E	-Relevés de Juillet 1962 à décembre 1963	- Néant
	7 - TILLABERY	14° 12' N 1° 27' E km 2 421	-Relevés à peu près continus de mars 1953 à décembre 1966 (zéro à 195,67 au-dessous de 2,06 et à 195,80 au-dessus de 2,06) -Anciens relevés inutilisables de 1924 à 1931	- Néant

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	8 - DAKEINA	14° 10' N 1° 29' E km 2 435	-Relevés de novembre 1955 à avril 1956 (zéro à 192,98m) puis d'août 1956 à mai 1959 (zéro à 194,04 m)	- Néant
	9 - DEDIA	14° 07' N 1° 31' E	-Relevés intermittents de novembre 1955 à mai 1959 (zéro à 192,94 m)	- Néant
	10 - NIAMEY =====	13° 31' N 2° 05' E km 2 540	-Relevés à peu près continus de 1929 à 1936 (zéro à 176,37m), de 1941 à 1952 (zéro à 176,17) et enfin de 1952 à 1966 (zéro à 176,14) (I G N - 1957)	- Etalonnage définitif, stable et univoque - 28 jaugeages entre 25 et 2 100 m ³ /s
	11 - KOLLO (MOLLI)	13° 18' N 2° 19' E km 2 575	-Relevés incomplets de Juillet 1956 à mai 1959, puis en 1962 (zéro à 174,37 m)	- Néant
	12 - SAY	13° 06' N 2° 22' E km 2 598	-Relevés d'août à décembre 1953 (zéro à 171,71 m), puis relevés avec quelques lacunes de juillet 1954 à décembre 1966 (zéro à 171,53 m)	- Néant

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V	Observations limnimétriques	Etalonnage
NIGER (suite)	13 - W	12° 35' N 2° 37' E	- Relevés incomplets de Juillet 1961 à octobre 1963	- Néant
	14 - KOULOU	12° 13' N 3° 04' E	- Relevés incomplets et pratiquement inutilisables de 1943 à 1952 (zéro de l'échelle mal connu) - Relevés de Juillet 1961 à décembre 1962	- Néant
	15 - <u>MALAN-</u> <u>VILLE</u>	11° 53' N 3° 24' E km 2 830	- Relevés à peu près continus de juin 1952 à décembre 1966 (zéro à 155,13 m)	- 50 jaugeages entre 120 et 2 300 m ³ /s - Etalonnage non univoque en moyennes et hautes eaux
	16 - GAYA	11° 53' N 3° 27' E	- Echelle ancienne installée en 1915 - Relevés incomplets de 1915 à 1930, inutilisables, (zéro de l'échelle inconnu)	- Néant

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
GOROUOL	17 - BIDI (Haute-VOLTA)	14° 22' N 0° 19' W 720 km ²	-Relevés en 1964 et 1965 -Altitude du zéro = 265 m environ	- Néant
	18 - KORIZIENA (Haute-VOLTA)	14° 22' N 0° 02' W 2 500 km ²	-Relevés en 1955, 1957 et 1960 (intermittents), puis en 1964 et 1965 -Altitude du zéro = 250 m environ	- 17 jaugeages entre 0,6 et 23 m ³ /s - Etalonnage provisoire
	19 - <u>DOLBEL</u>	14° 37' N 0° 18' E 7 500 km ²	-Relevés complets de Juin 1961 à décembre 1966 (zéro de l'échelle non rattaché au nivellement général; altitude approximative = 240 m)	- 16 jaugeages entre 1 et 76 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant, sauf en très hautes eaux
	20 - <u>ALCONGUI</u>	14° 45' N 0° 36' E 44 850 km ²	-Relevés complets de mai 1957 à décembre 1966 (sauf année 1960) -Altitude du zéro approximativement égale à 227 m	- 16 jaugeages entre 0,25 et 70 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant
DEBERELINK (affluent GOROUOL)	21 - SAUGA (Haute-VOLTA)	14° 22' N 0° 08' W 1 040 km ²	-Relevés en 1964 et 1965	- 9 jaugeages entre 0,85 et 1,45 m ³ /s - Etalonnage apparemment stable, mais encore provisoire (extrapolation douteuse)

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V	Observations limnimétriques	Etalonnage
GOUDEBO (affluent GOROUOL)	22 - DIOBOU (Haute-VOLTA)	13° 59' N 0° 20' W 590 km ²	- Relevés en 1964 et 1965	- 9 jaugeages (débits inférieurs à 1,2 m ³ /s) -Etalonnage difficile et probablement instable
	23 - YAKOUTA (Haute-VOLTA)	14° 05' N 0° 08' W 1 640 km ²	- Relevés en 1963, 1964 et 1965	-46 jaugeages (entre 0 et 60 m ³ /s) -Etalonnage instable d'une année à l'autre
	24 - KALONGA (piste DORI-MARKOY) (Haute-VOLTA)	14° 10' N 0° 04' W 1 870 km ²	- Relevés de 1955 à 1960 (incomplets et douteux), puis en 1964 et 1965	-23 jaugeages entre 0,07 et 8,6 m ³ /s -Etalonnage variable chaque année et seulement assez sûr en basses eaux (extrapolation douteuse)
Marigot de GUEMNI (affluent GOUDEBO)	25 - GUEMNI (Haute-VOLTA)	14° 03' N 0° 22' W 390 km ²	- Relevés en 1964 et 1965	-18 jaugeages (débits inférieurs à 4,5 m ³ /s) -Etalonnage acceptable sauf en crue
FELLEOL (affluent GOROUOL)	26 - Piste DORI-MARKOY (Haute-Volta)	14° 12' N 0° 04' W 400 km ²	- Relevés en 1955, 1957, 1958 et 1959 (incomplets et peu sûrs) puis en 1964 et 1965	-11 jaugeages (débits inférieurs à 2,3 m ³ /s) -Etalonnage peu précis et instable

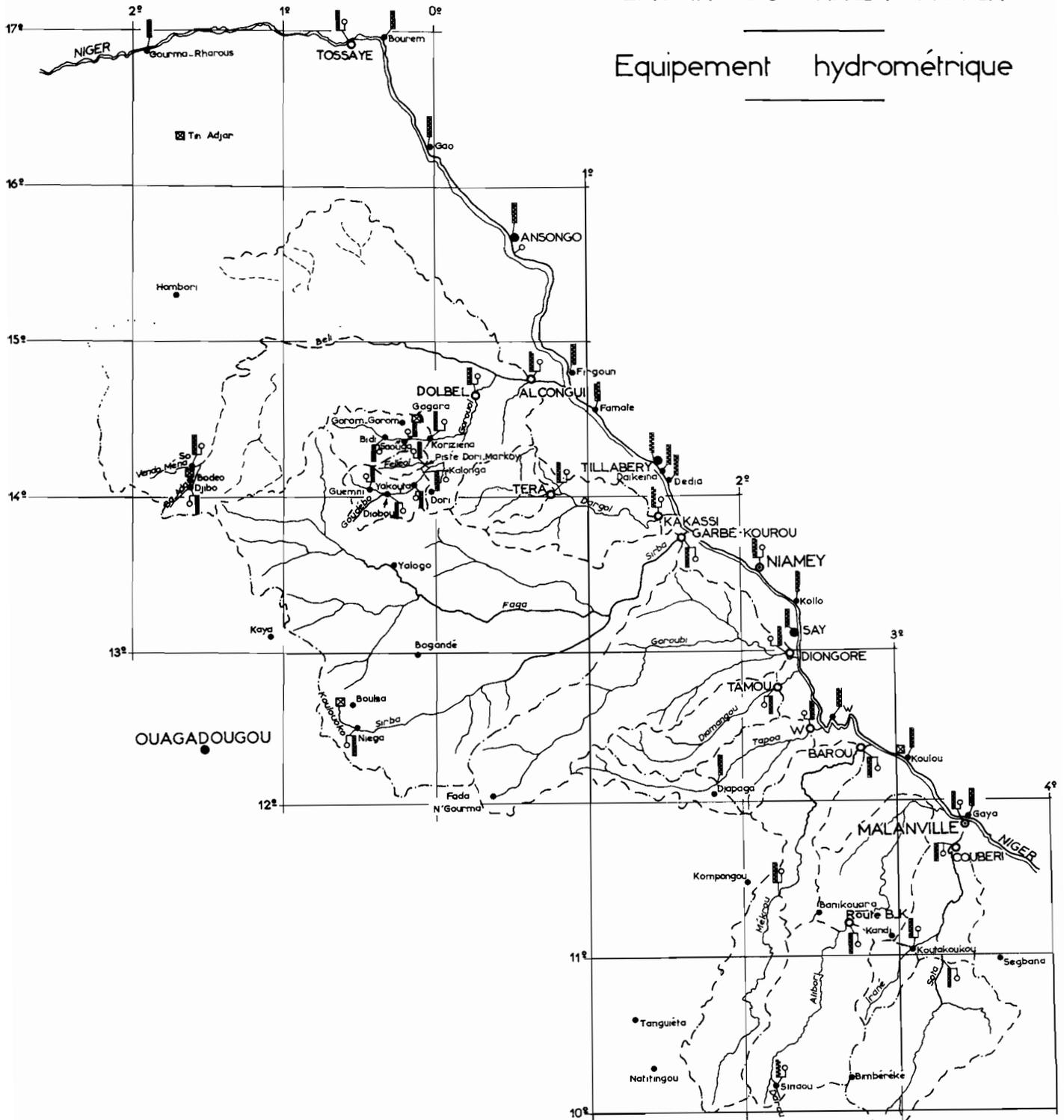
Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V	Observations limnimétriques	Etalonnage
VENDO-MENA (sous-affluent GOROUOL affluent BELI)	27 - SO (Haute-VOLTA)	14° 11' N 1° 39' W 990 km ²	- Relevés en 1963 et 1964 - Altitude du zéro = 282 m environ	- Ecoulement nul en 1963 - 4 jaugeages en 1964, entre 0,5 et 5,85 m ³ /s - Etalonnage provisoire
BA ADA (sous-affluent GOROUOL affluent BELI)	28 - entrée mare de DJIBO (Haute-VOLTA)	14° 05' N 1° 37' W 500 km ²	- Relevés en 1963 et 1964	- 17 jaugeages entre 0 et 3,15 m ³ /s - Etalonnage provisoire légèrement différent en 1963 et 1964
<u>DARGOL</u>	29 - <u>TERA</u>	14° 01' N 0° 45' E 2 570 km ²	- Relevés de 1957 à 1959 (incomplets), puis de 1961 à 1966 - Altitude du zéro = 235,93m	- 18 jaugeages entre 0,45 et 21 m ³ /s - Etalonnage acceptable sauf en très hautes eaux.
	30 - <u>KAKASSI</u>	13° 51' N 1° 28' E 6 940 km ²	- Relevés de 1957 à 1960, puis de 1962 à 1966 - Altitude du zéro 198 m environ	- 21 jaugeages entre 0,1 et 50 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant sauf en très hautes eaux.
<u>SIRBA</u>	31 - <u>GARBE-KOUROU</u>	13° 44' N 1° 37' E 38 750 km ²	- Relevés de 1956 à 1958, puis de 1962 à 1966 - Altitude du zéro = 195 m environ	- 28 jaugeages entre 0,2 et 250 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant, sauf pour les très hautes eaux.

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
KOULOOUKO (affluent SIRBA)	32 - NIEGHA (Haute-VOLTA)	12° 30' N 0° 30' W 1 010 km ²	- Relevés de 1960 à 1962 (cf Etude hydrologique des bassins expérimentaux de BOULSA - Haute VOLTA)	- 9 jaugeages entre 0,3 et 88 m ³ /s en 1962 - Etalonnage satisfaisant jusque vers 25 m ³ /s, acceptable jusqu'à 100 m ³ /s, douteux au-delà
<u>GOROUBI</u>	33 - <u>DIONGORE</u>	12° 57' N 2° 16' E 15 350 km ²	- Relevés incomplets et inutilisables de 1954 à 1956 - Relevés valables de 1962 à 1966 - Altitude du zéro = 186 m environ	- 19 jaugeages entre 0 et 73 m ³ /s - Etalonnage pas très précis et pas très stable en basses et moyennes eaux; utilisable cependant jusqu'à 3,40m (90 m ³ /s environ)
<u>DIAMANGO</u>	34 - <u>TAMOU</u>	12° 26' N 2° 11' E 4 030 km ²	- Relevés inutilisables en 1954 et 1955 - Relevés valables de 1962 à 1966 - Altitude du zéro = 206 m environ	- 12 jaugeages entre 0,17 et 40 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant, sauf pour les très hautes eaux
<u>TAPOA</u>	35 - DIAPAGA (mare)	12° 08' N 1° 46' E 2 085 km ²	- Relevés de 1956 - Altitude du zéro inconnue	- Néant
	36 - <u>Campement du W</u>	12° 28' N 2° 25' E 5 330 km ²	- Relevés de 1963 à 1966 - Altitude du zéro = 195 m environ	- 15 jaugeages entre 0,07 et 18 m ³ /s - Etalonnage assez satisfaisant, sauf en hautes eaux

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V	Observations limnimétriques	Etalonnage
<u>MEKROU</u>	37 - Route KOMPOUGOU- BANKOARA (DAHOMÉY)	11° 24' N 2° 12' E 5 665 km ²	- Relevés en 1958, 1959 et 1960	- 11 jaugeages entre 0,01 et 50 m ³ /s - Etalonnage provisoire
	38 - <u>BAROU</u> (DAHOMÉY)	12° 41' N 2° 45' E 10 500 km ²	- Relevés de 1961 à 1966 avec quelques lacunes - Altitude du zéro= 173 m environ	- 23 jaugeages entre 0 et 265 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant
<u>ALIBORI</u>	39 - Route <u>KANDI-BANKOARA</u> (DAHOMÉY)	11° 10' N 2° 41' E 8 150 km ²	- Relevés à peu près complets de 1952 à 1966 - Altitude du zéro=214,77 m (IGN)	- 23 jaugeages entre 0 et 520 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant malgré une certaine ins- tabilité du lit
DAROU (affluent Alibori)	40 - SINAOU (DAHOMÉY)	10° 10' N 2° 12' E 60 km ²	- Relevés de 1954 à 1960	- 30 jaugeages entre 0 et 17 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant
SOTA	41 - Route KANDI-SEG BANA (DAHOMÉY)	10° 59' N 3° 15' E 8 250 km ²	- Relevés de 1952 à 1960, puis en 1965	- 13 jaugeages entre 0,5 et 19 m ³ /s Etalonnage provisoire
	42 - <u>COUBERI</u> (DAHOMÉY)	11° 45' N 3° 20' E 13 400 km ²	- Relevés de 1953 à 1966 - Altitude du zéro = 170 m environ	- 15 jaugeages entre 1 et 340 m ³ /s - Etalonnage satisfaisant

Cours d'eau	Stations	Coordonnées distance kilométrique ou superficie B.V.	Observations limnimétriques	Etalonnage
IRANE (affluent SOTA)	43 - KOUTAKOU- KOU (Route KANDI- SEGBANA) (DAHOMÉY)	11° 04' N 3° 04' E 1 250 km ²	- Relevés de 1953 à 1960, puis en 1965	- 23 jaugeages - Etalonnage provisoire

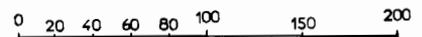
BASSIN DU NIGER MOYEN
 Equipement hydrométrique



LEGENDE

-  Echelle limnimétrique
-  Station de jaugeage
-  Bassin versant représentatif

ECHELLE



On peut enfin citer quelques rapports concernant le cours de divers affluents situés soit en Haute-VOLTA, soit au DAHOMEY :

- Etudes hydrologiques dans les régions du Nord DORI et de DJIBO -
Rapports intérimaires de la campagne 1963
- Idem campagne 1964
- Etudes hydrologiques dans la région du Nord DORI - Rapport définitif
- Etude hydrologique de bassins versants expérimentaux dans l'Est-VOLTA : Bassin de BOULSA - Campagne 1960
- Idem - Campagne 1961
- Idem - Campagne 1962
- Note hydrologique provisoire sur la MEKROU, la TAPOA et le GOROUBI.

On trouvera dans ces différents documents et spécialement dans l'Annuaire Hydrologique du NIGER de 1966 les courbes d'étalonnage qui ont été adoptées, définitivement ou provisoirement selon les cas, au début de 1967. Certaines ont été modifiées à plusieurs reprises au cours des années précédentes, soit parce qu'elles ont subi les contre-coups des remaniements du lit, soit plus souvent parce que la précision de leur tracé a pu être progressivement améliorée avec un nombre croissant de jaugeages. A titre d'exemple, on trouvera ci-après les courbes d'étalonnage de quelques stations principales (NIGER à NIAMEY et à MALANVILLE, GOROUOL à ALCONGUI, SIRBA à GARBE-KOUROU, MEKROU à BAROU, ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA).

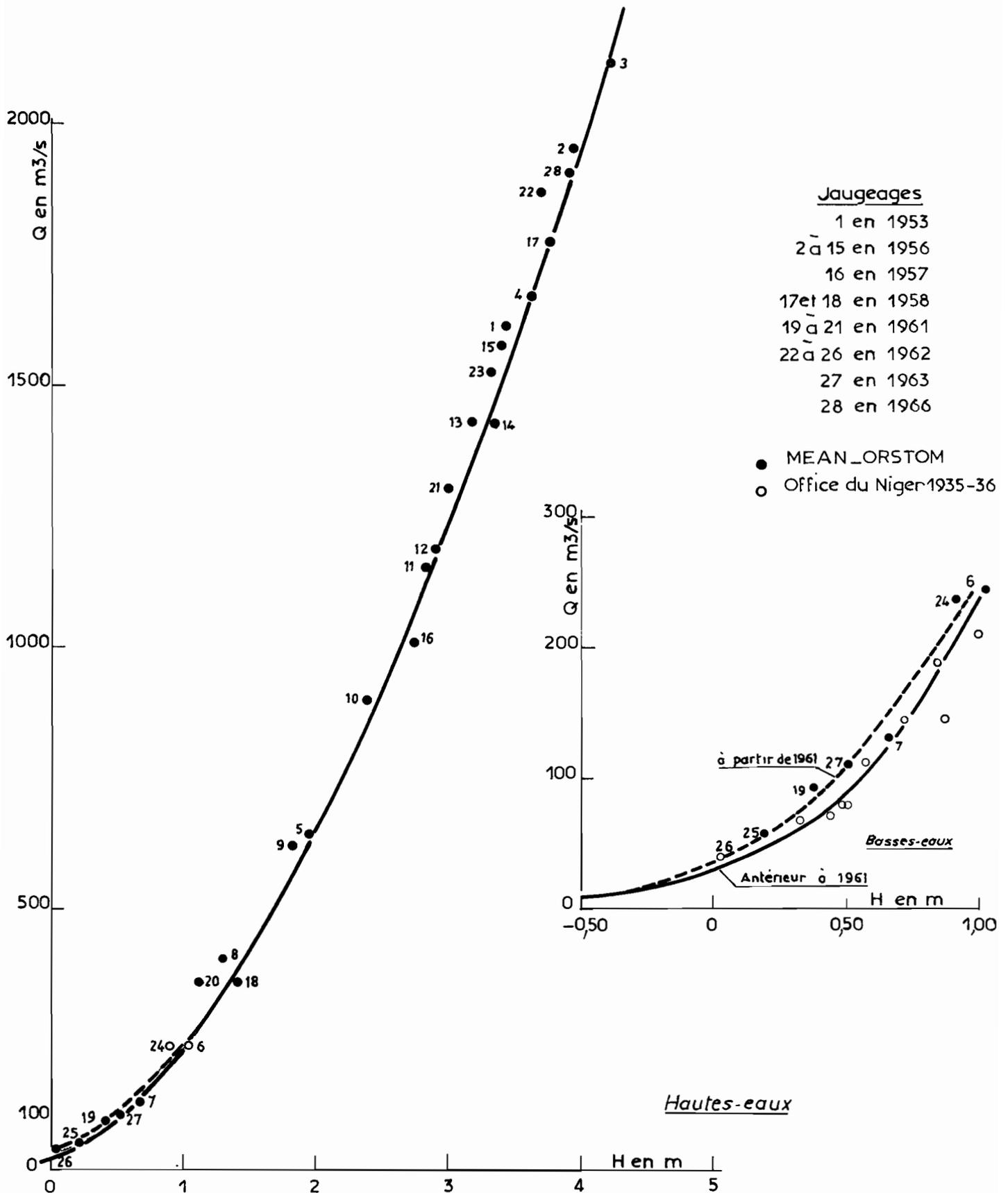
B - GENERALITES sur les DEBITS OBSERVES

Comme pour la première et la deuxième partie de cette Monographie, il n'a pas été possible de reproduire ici la totalité des débits journaliers observés aux différentes stations hydrométriques du NIGER Moyen et de ses affluents. On trouvera ci-après quelques graphiques illustrant les variations saisonnières de débits à différentes stations en année sèche et en année humide. En annexe on trouvera également une série de tableaux donnant des débits mensuels et annuels ainsi que les débits de crue, d'étiage et les débits caractéristiques (DCC, DC3, DC6, DC9 et DCE) pour les stations suivantes considérées comme stations principales :

- NIGER à TOSSAYE
- " à NIAMEY
- " à MALANVILLE
- GOROUOL à DOLBEL
- " à ALCONGUI
- DARGOL à TERA
- " à KAKASSI

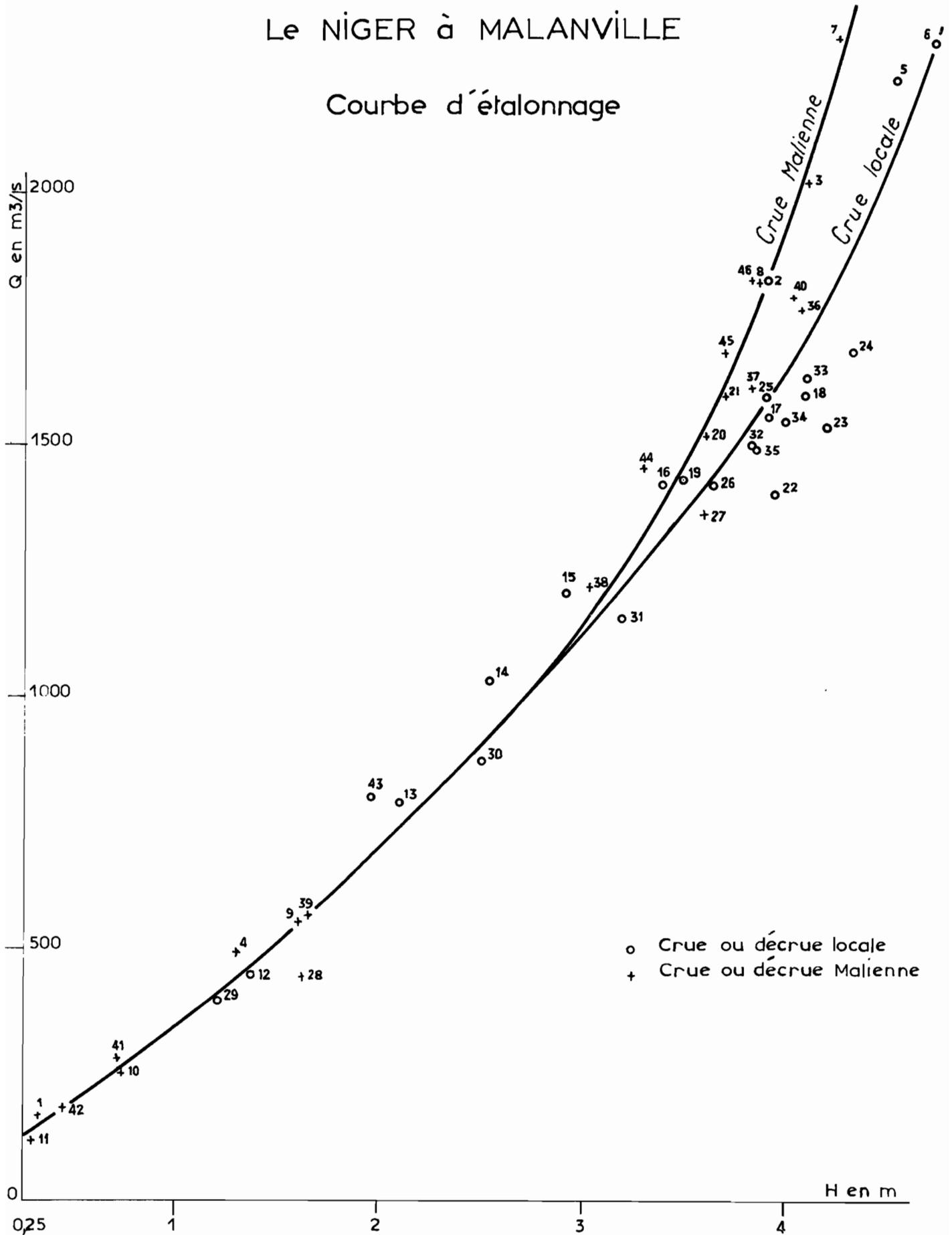
Le NIGER à NIAMEY

Courbes d'étalonnage



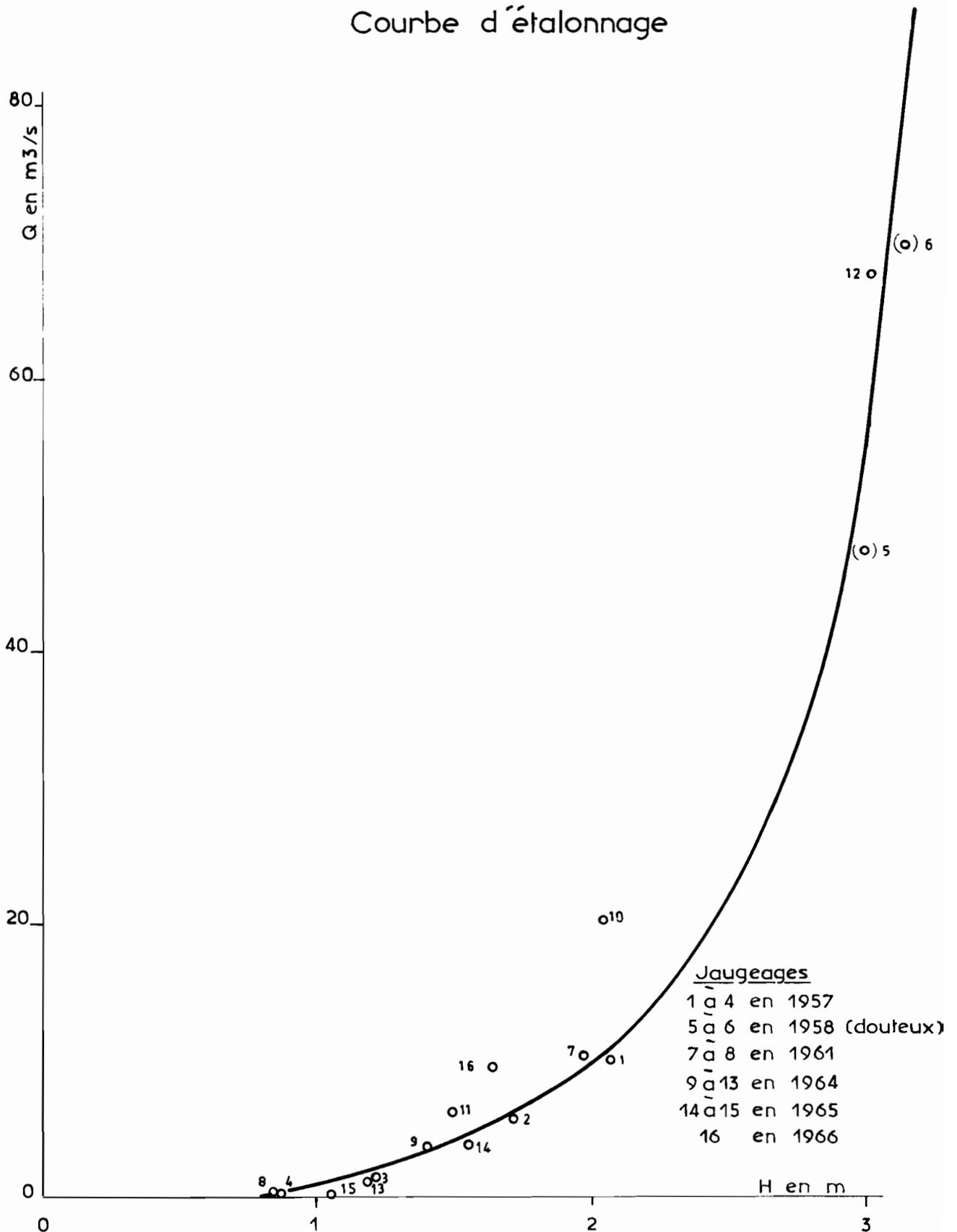
Le NIGER à MALANVILLE

Courbe d'étalonnage



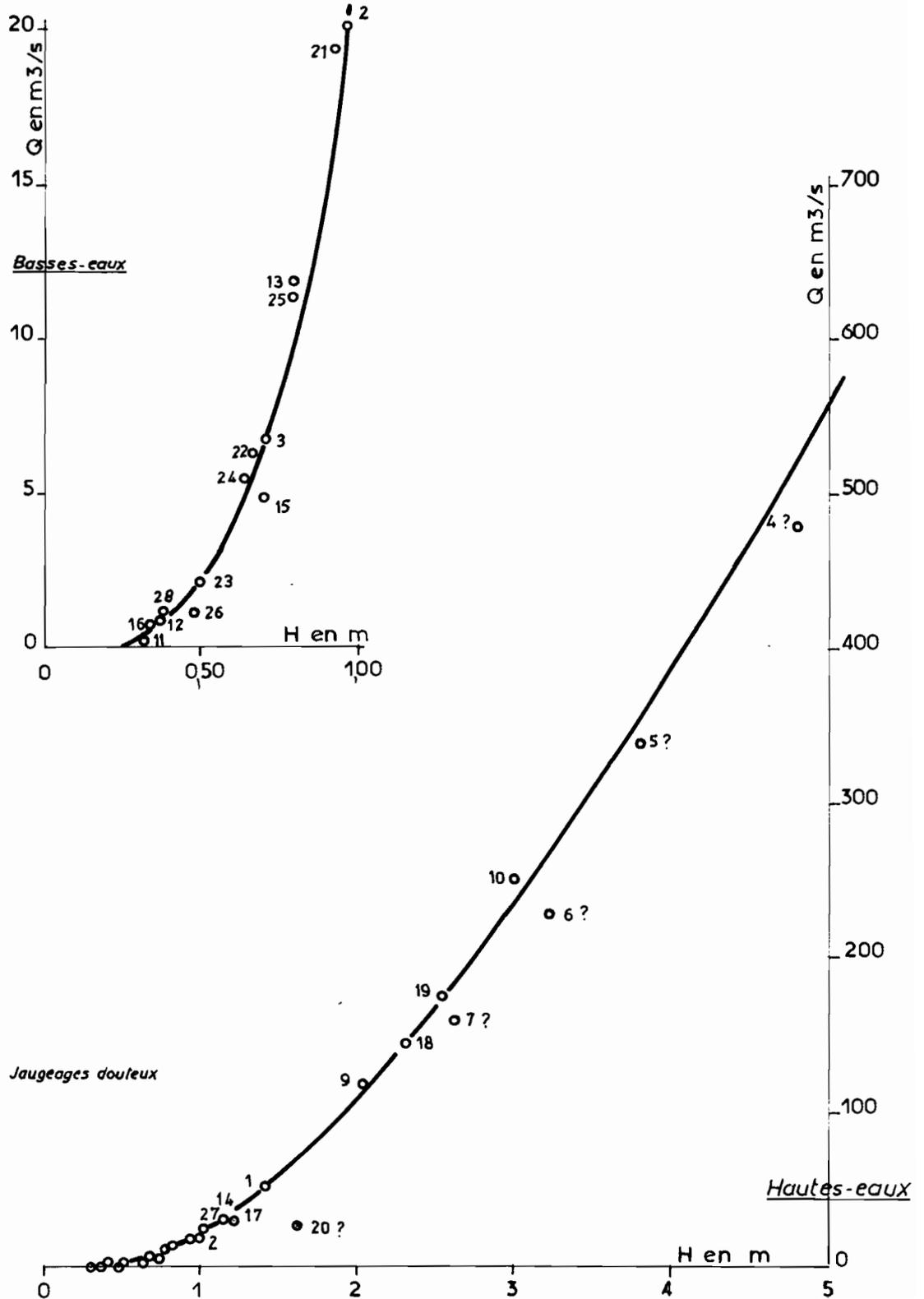
Le GOROUOL à ALCONGUI

Courbe d'étalonnage



La SIRBA à GARBE-KOUROU

Courbe d'étalonnage provisoire

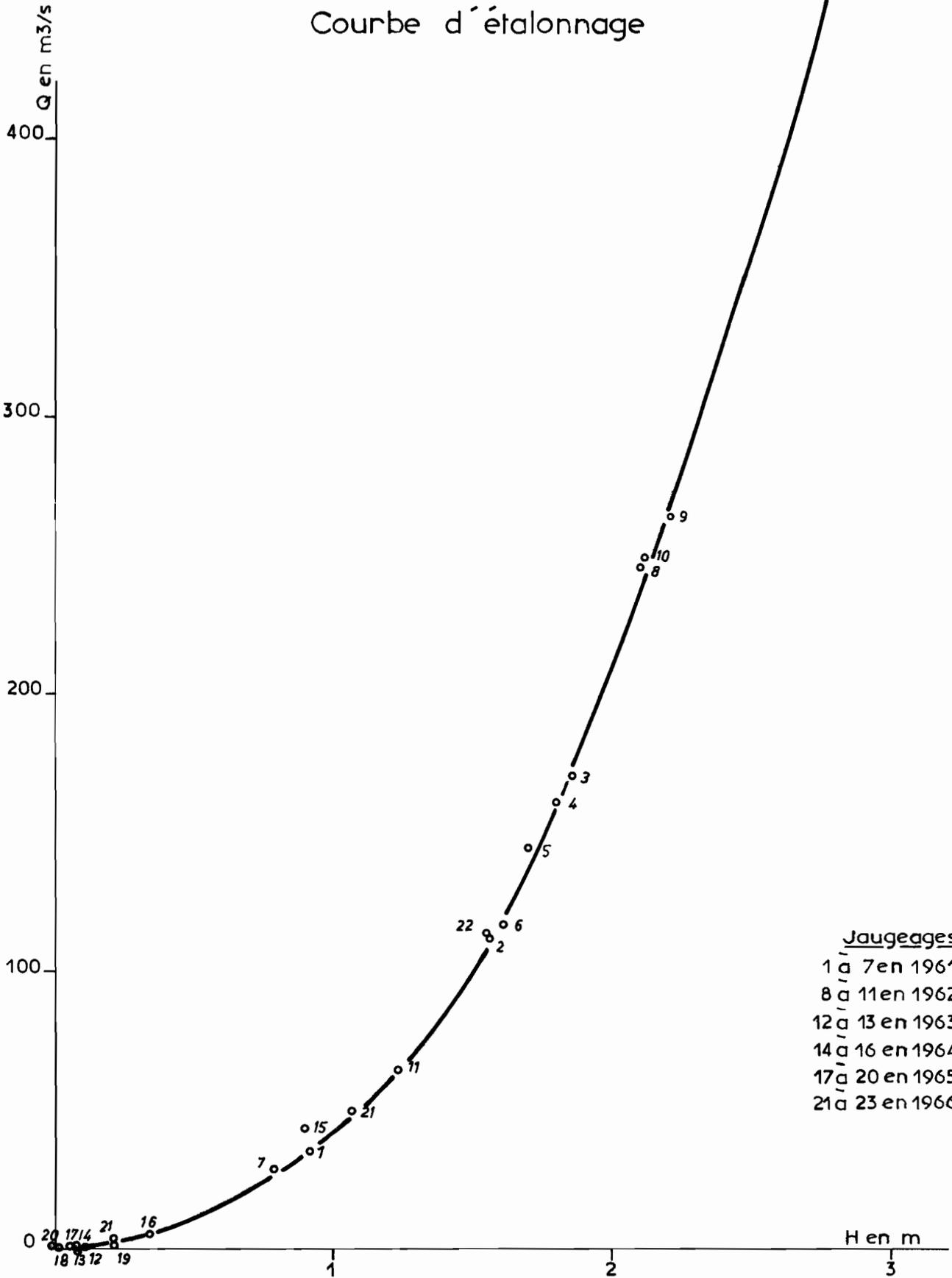


- Jaugeages
- 1 à 3 en 1956
 - 4 à 7 en 1958
 - 8 en 1960
 - 9 et 10 en 1962
 - 11 à 15 en 1963
 - 16 à 23 en 1964
 - 24 à 26 en 1965
 - 27 et 28 en 1966

Gr_106

MEKROU à BAROU

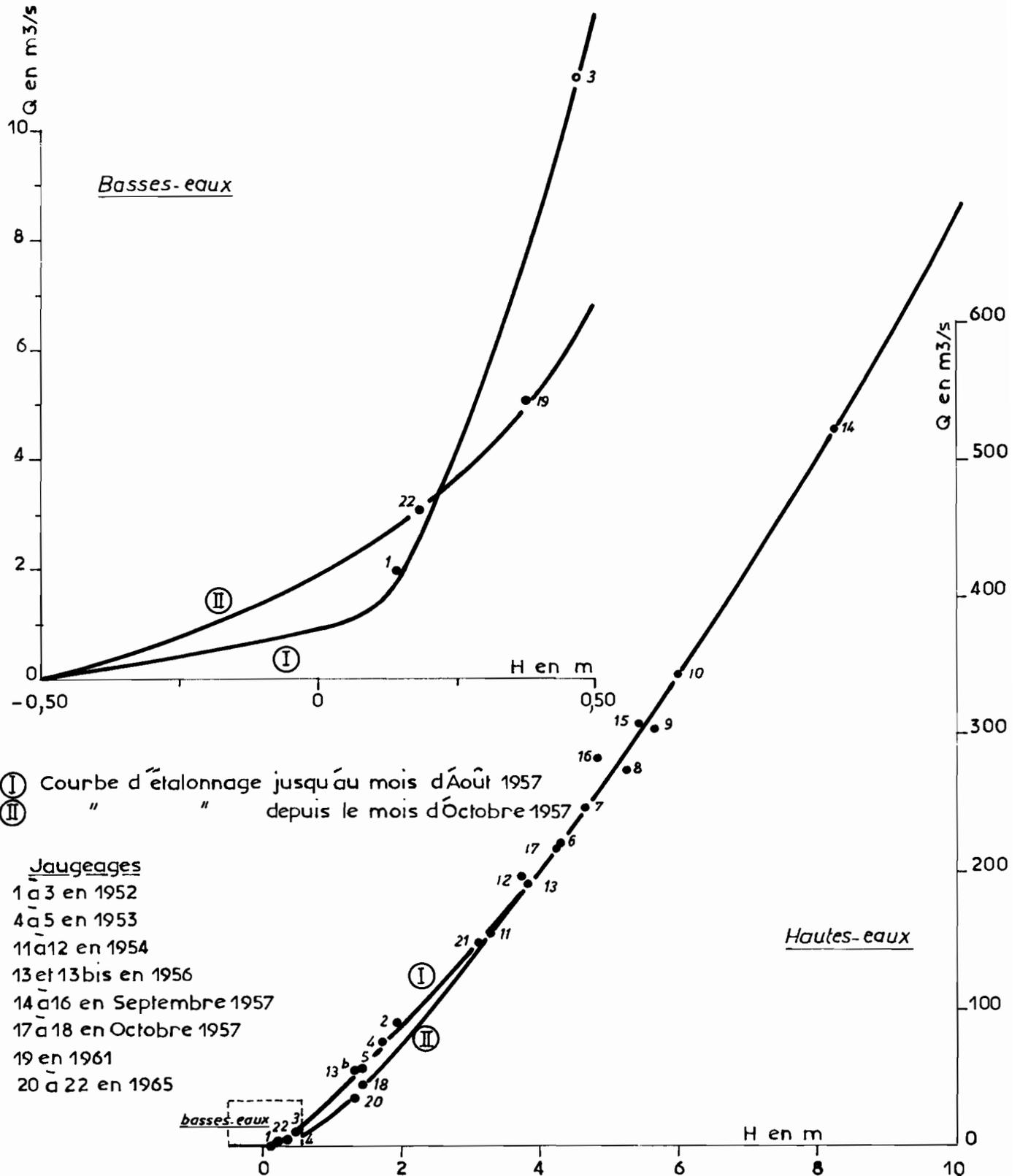
Courbe d'étalonnage



ALIBORI à la ROUTE KANDI_BANIKOARA

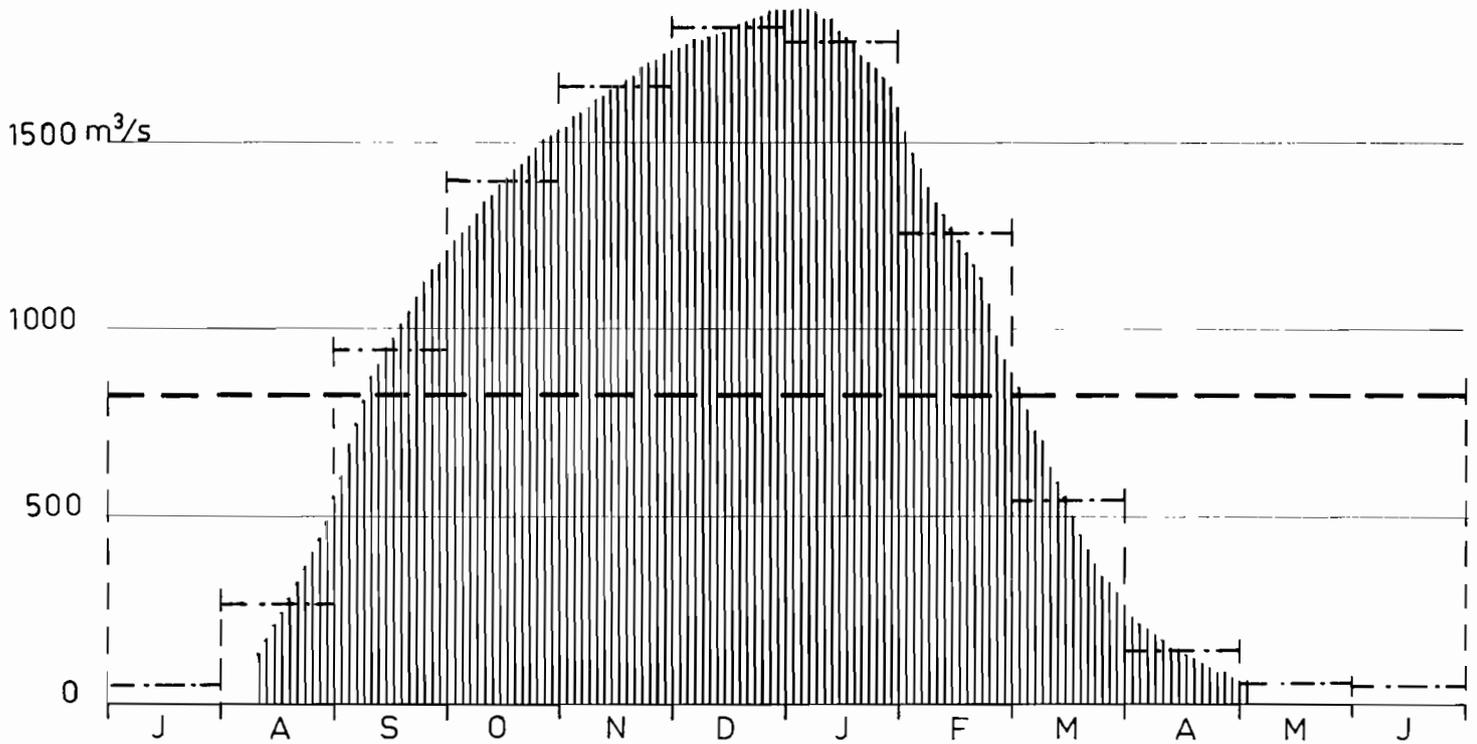
(Ancienne échelle)

Courbes d'étalonnage

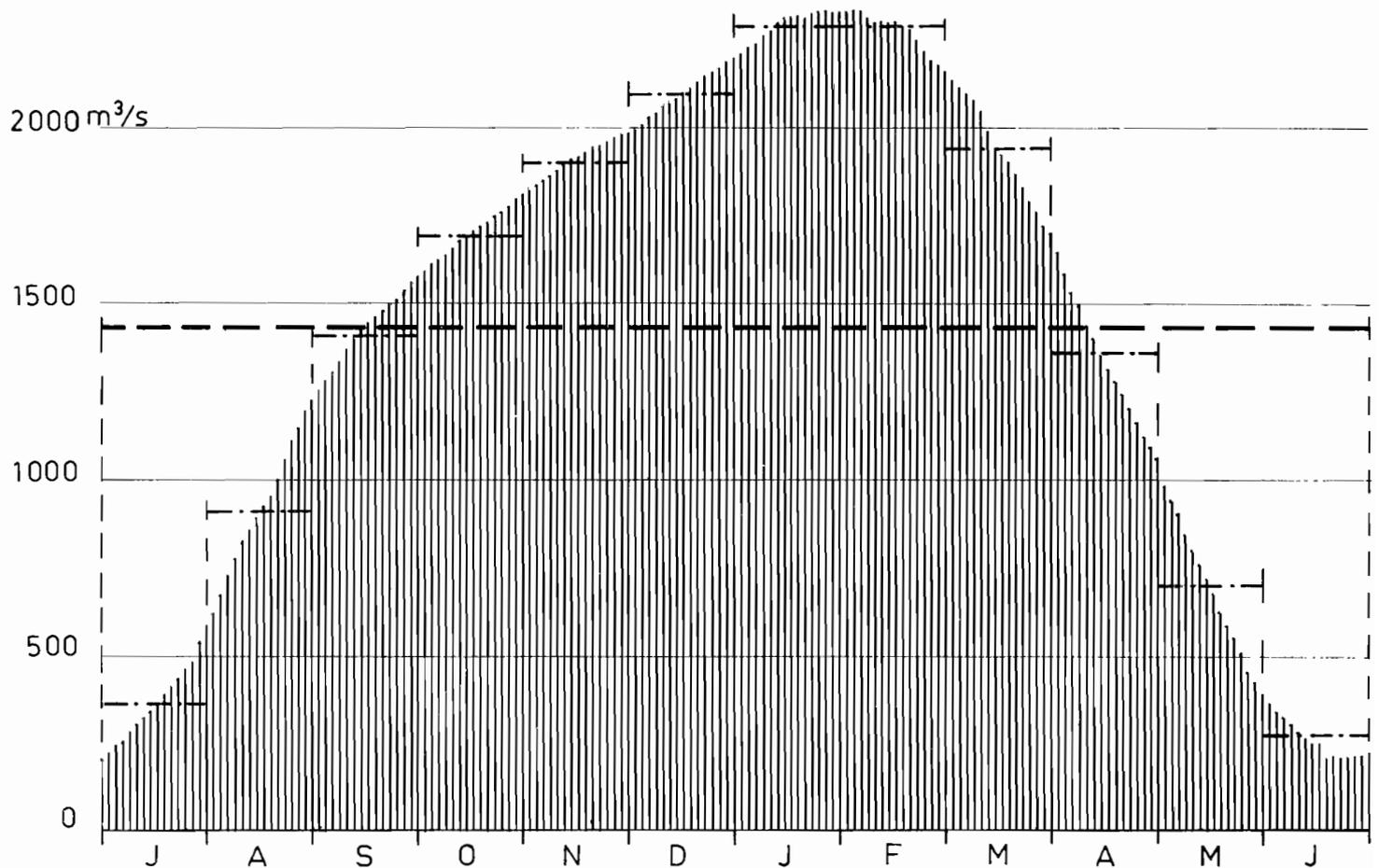


Le NIGER à TOSSAYE

en 1949-50 .année faible.

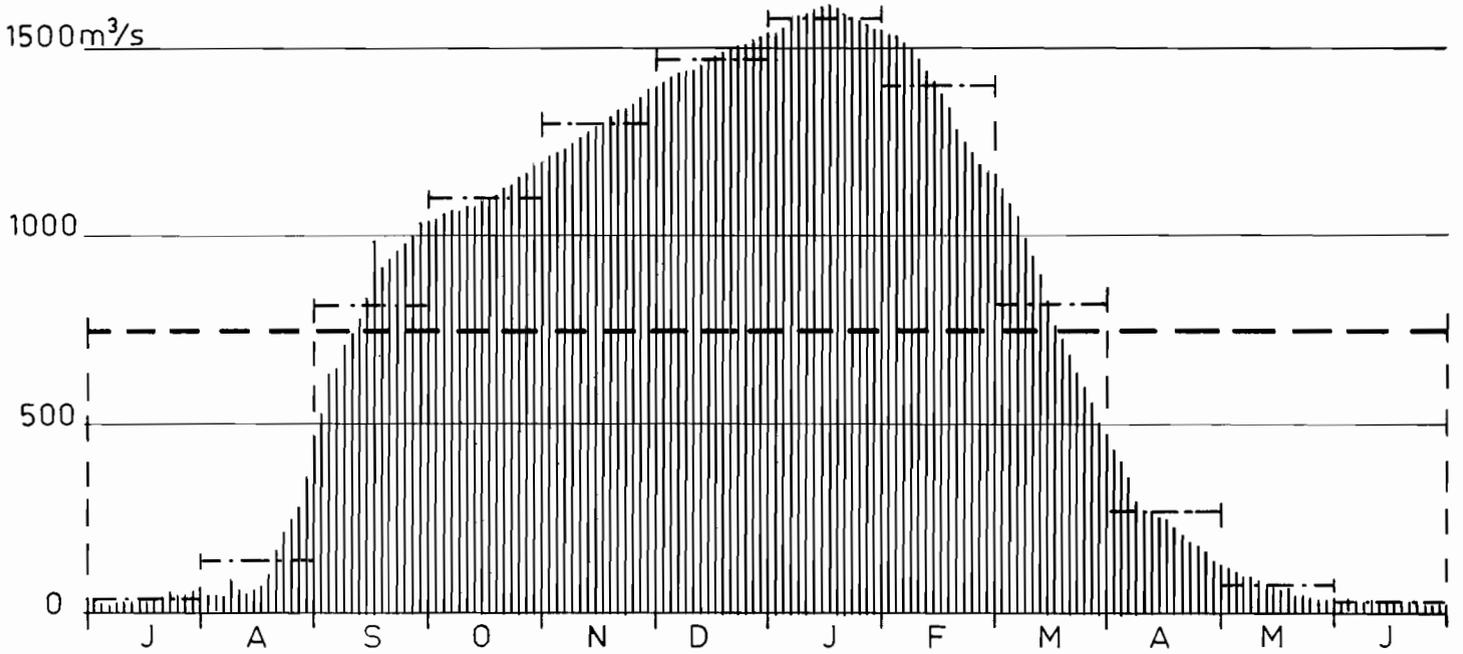


en 1954-55 .année forte.

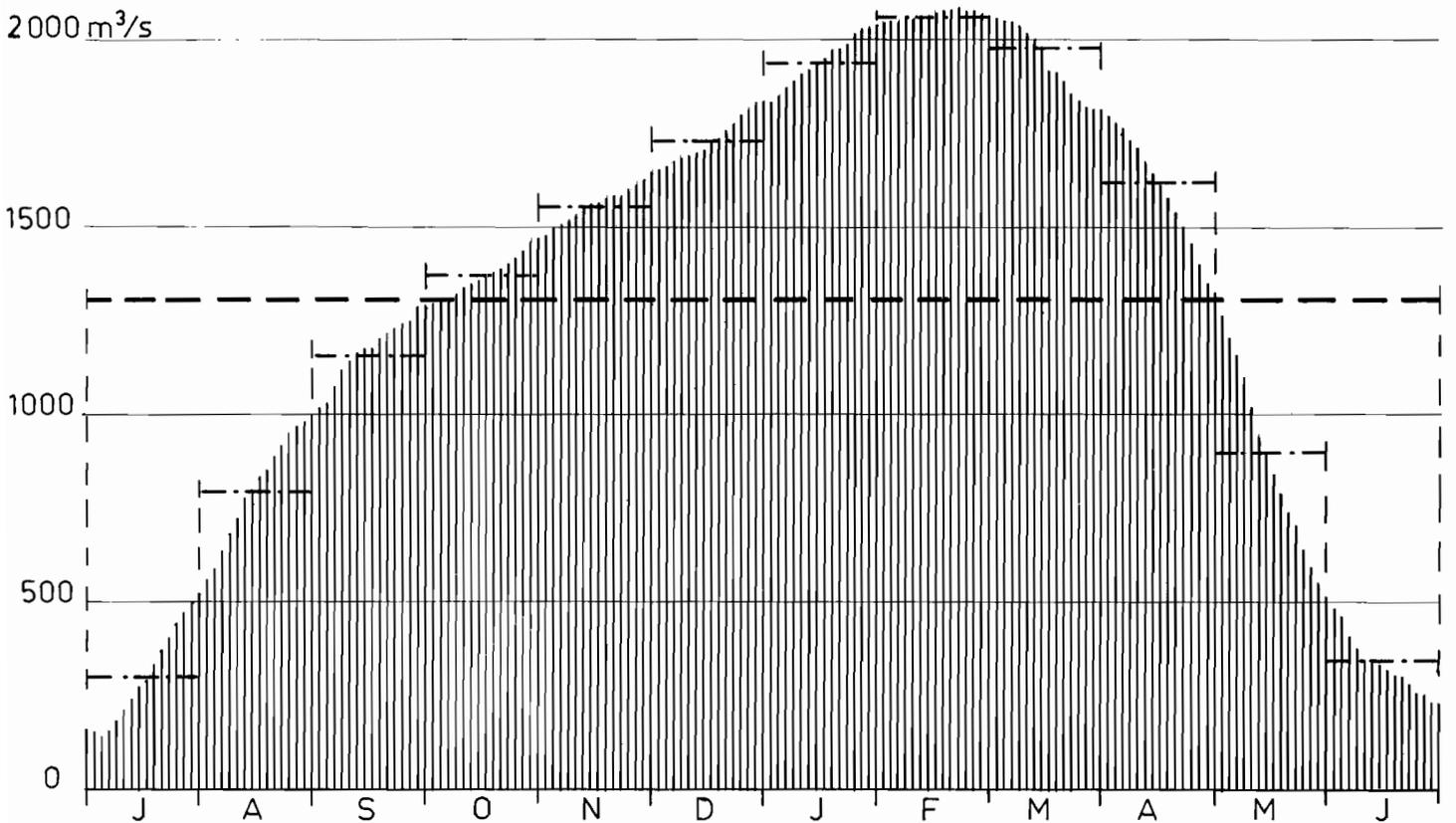


Le NIGER à NIAMEY

en 1949-50 _année faible_



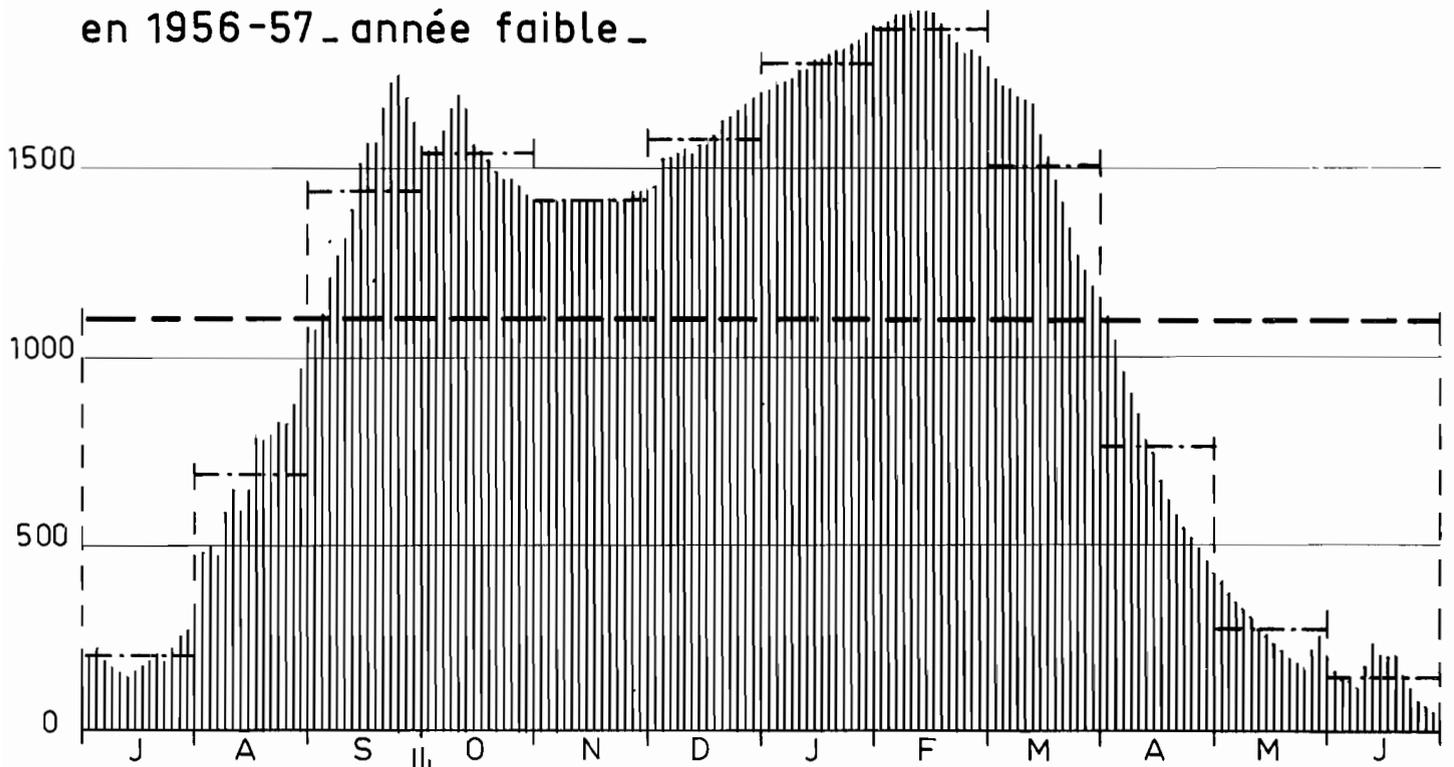
en 1954-55 _année forte_



Le NIGER à MALANVILLE

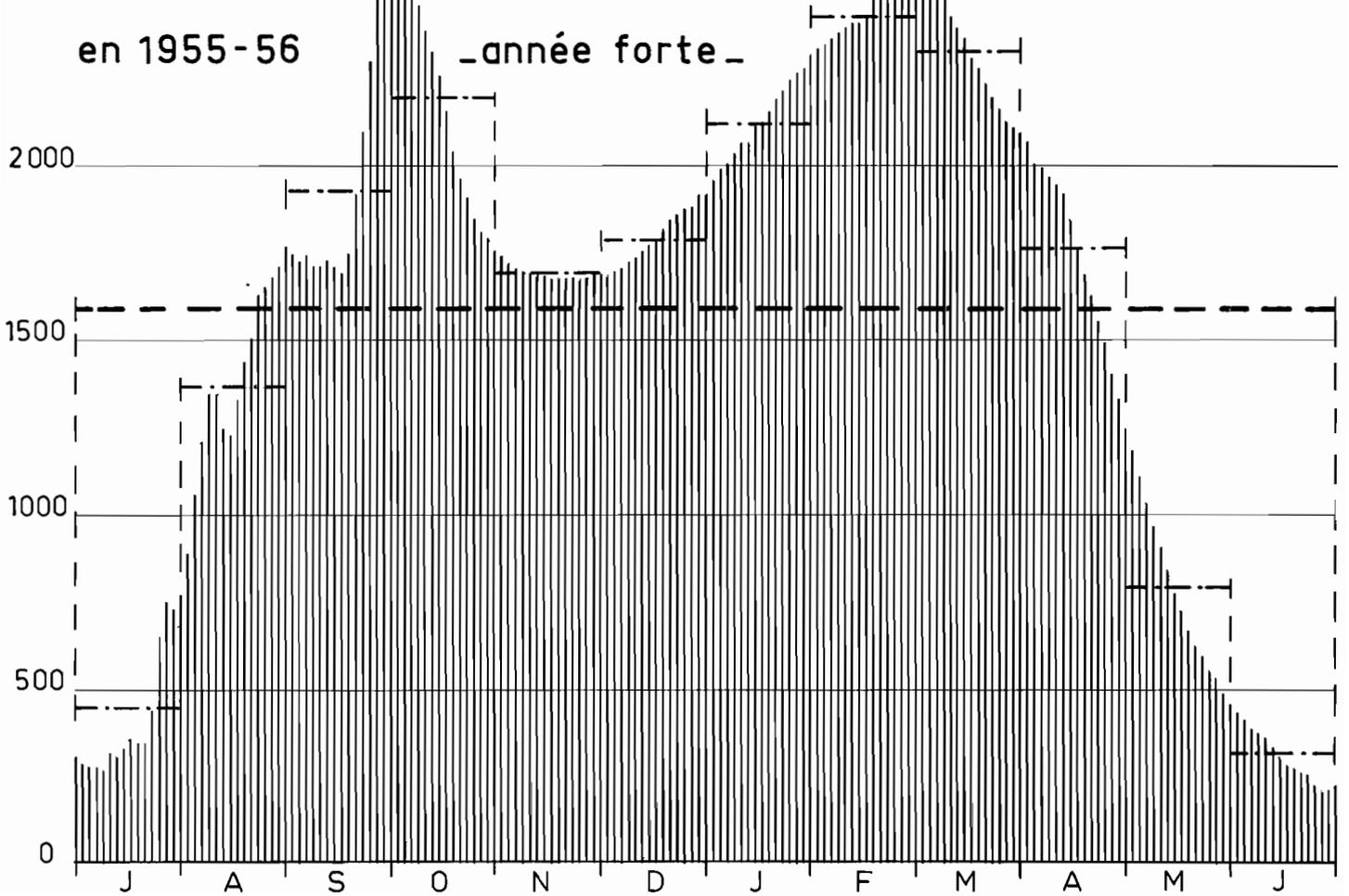
2000 m³/s

en 1956-57 _année faible_

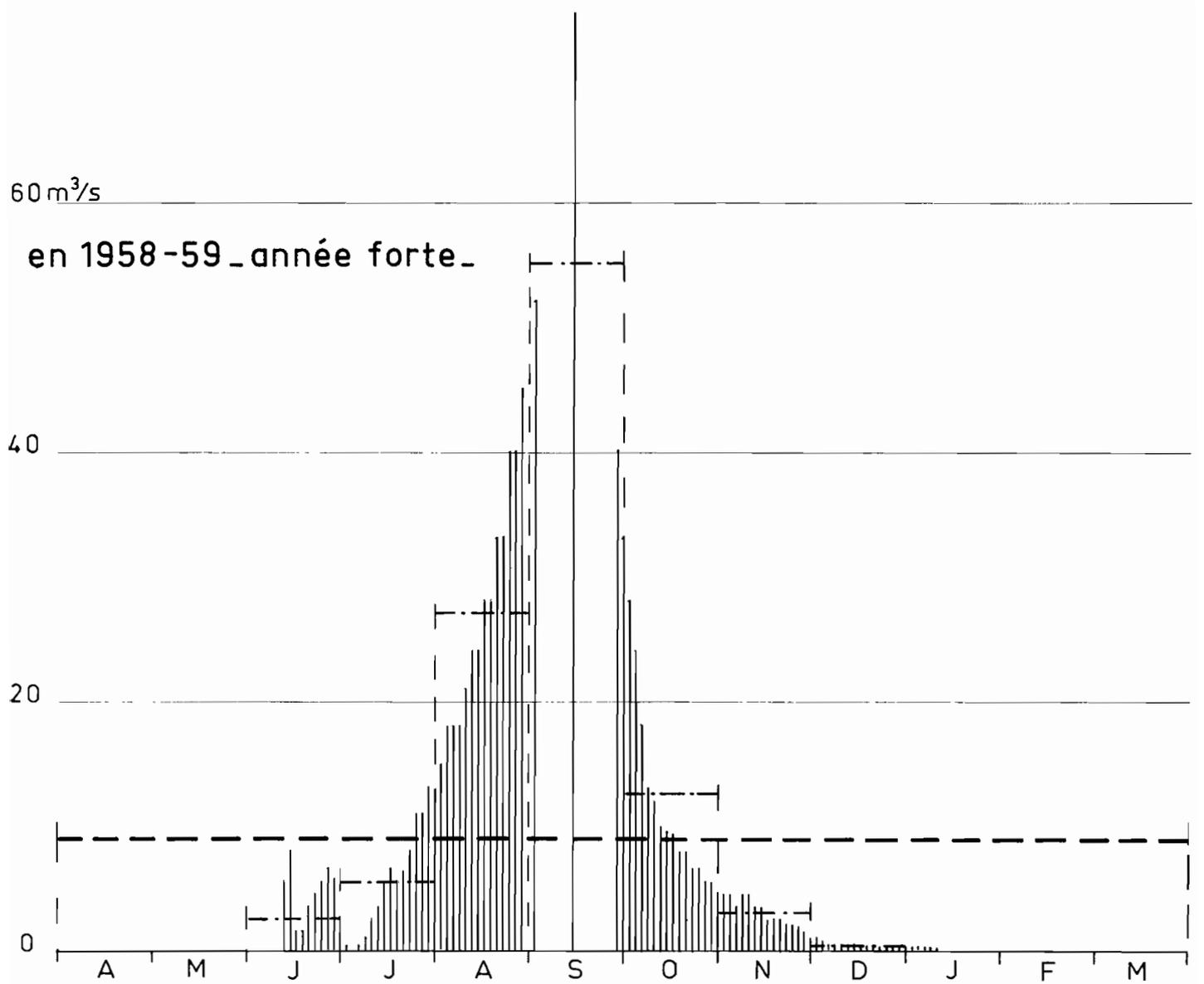
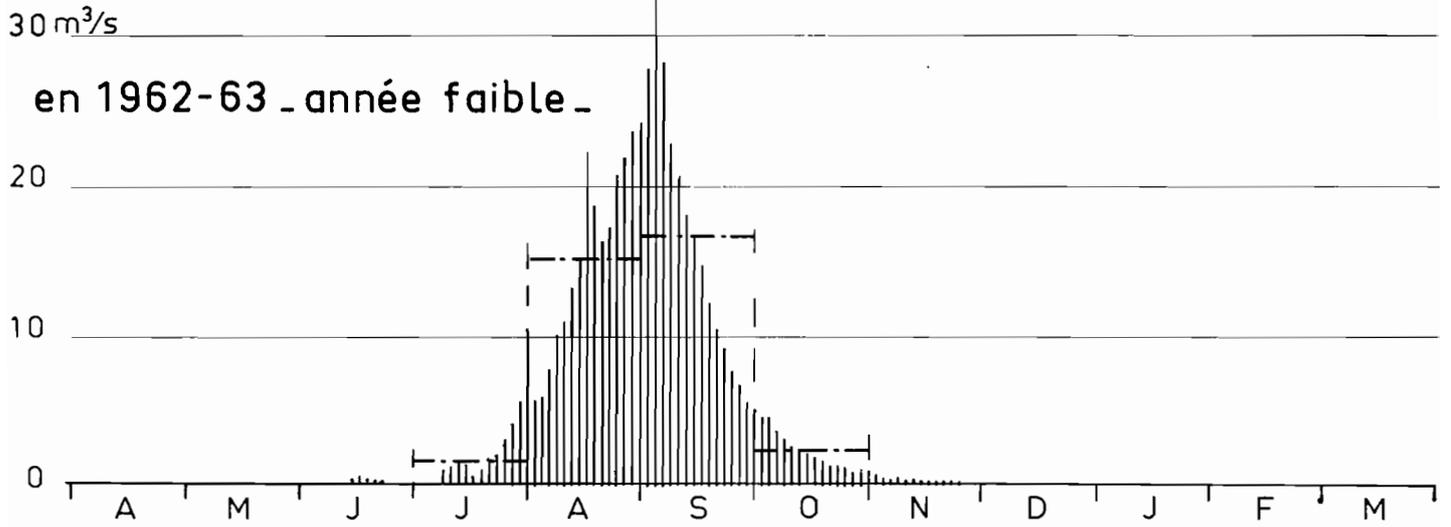


2500 m³/s

en 1955-56 _année forte_

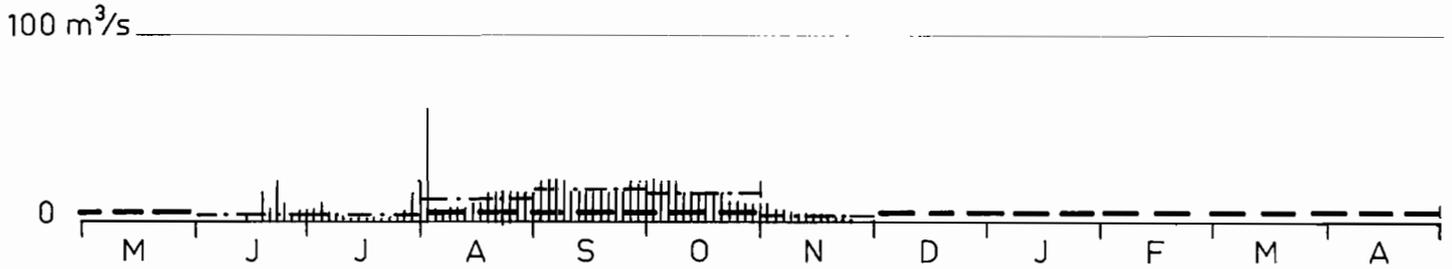


Le GOROUOL à ALCONGUI

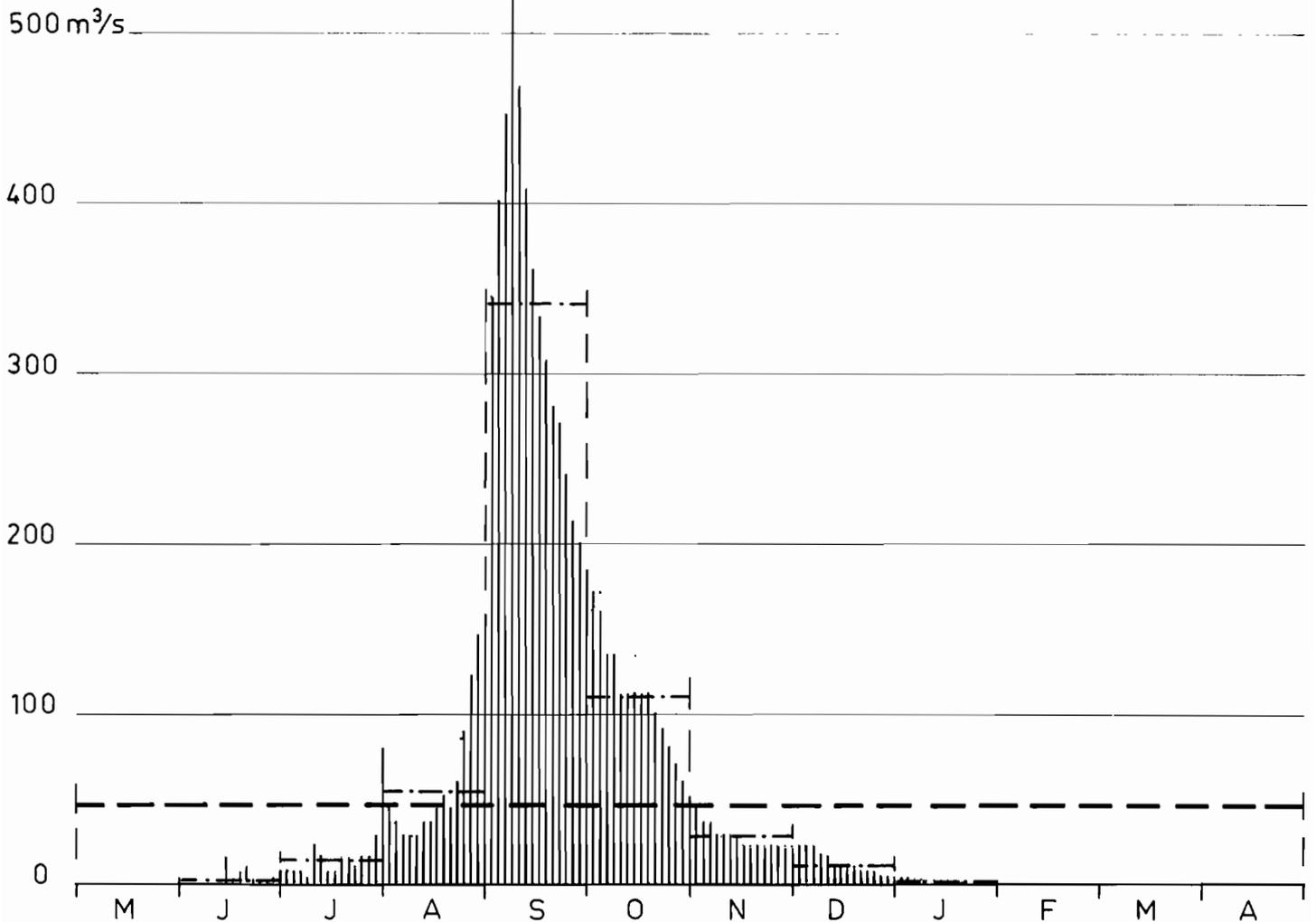


La SIRBA à GARBE-KOUROU

en 1957-58 _année faible_

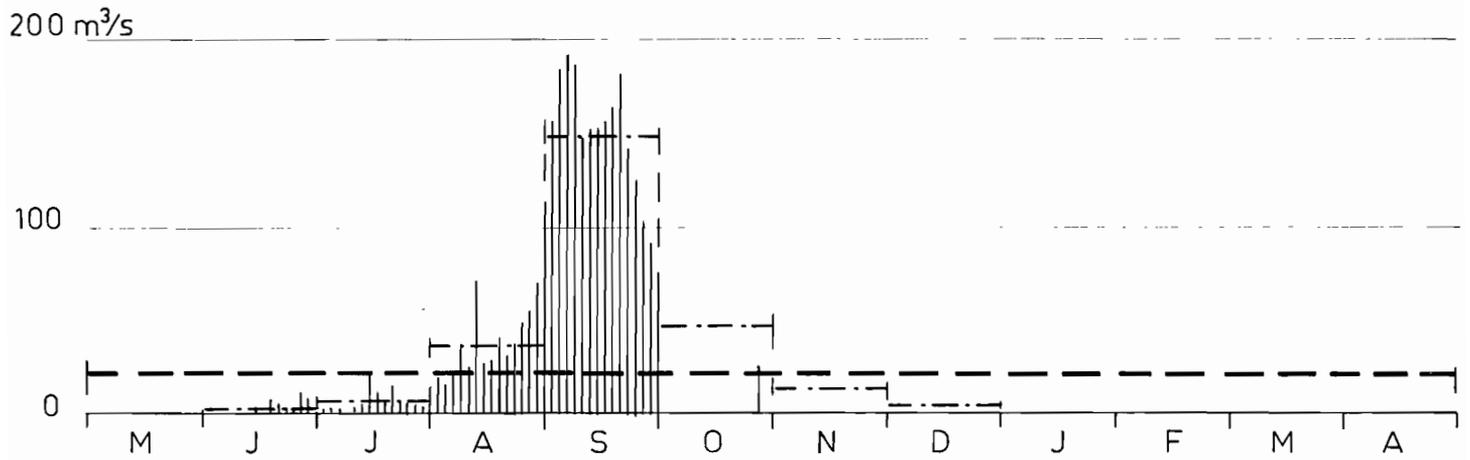


en 1958-59 _année forte_

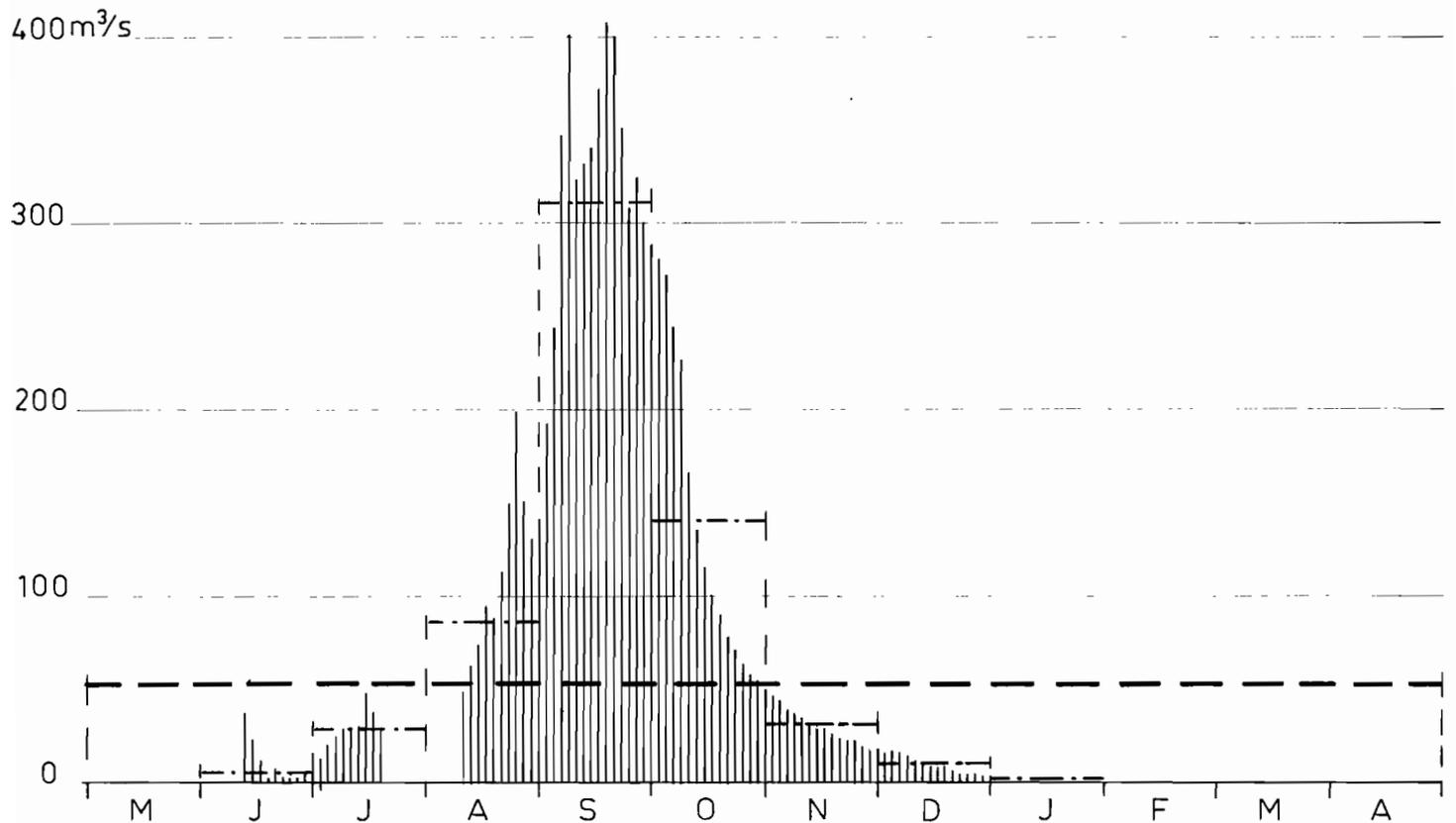


La MEKROU à BAROU

en 1965 - 66 _année faible_

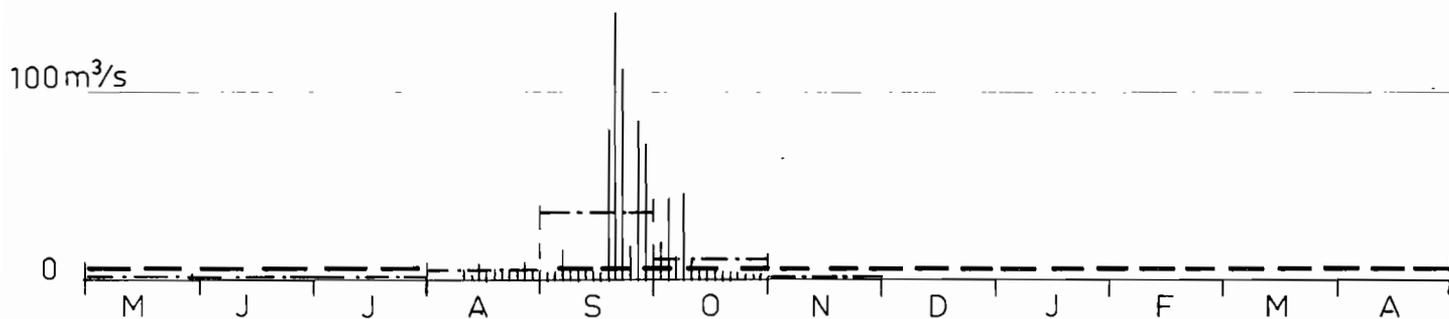


en 1962 - 63 _année forte_

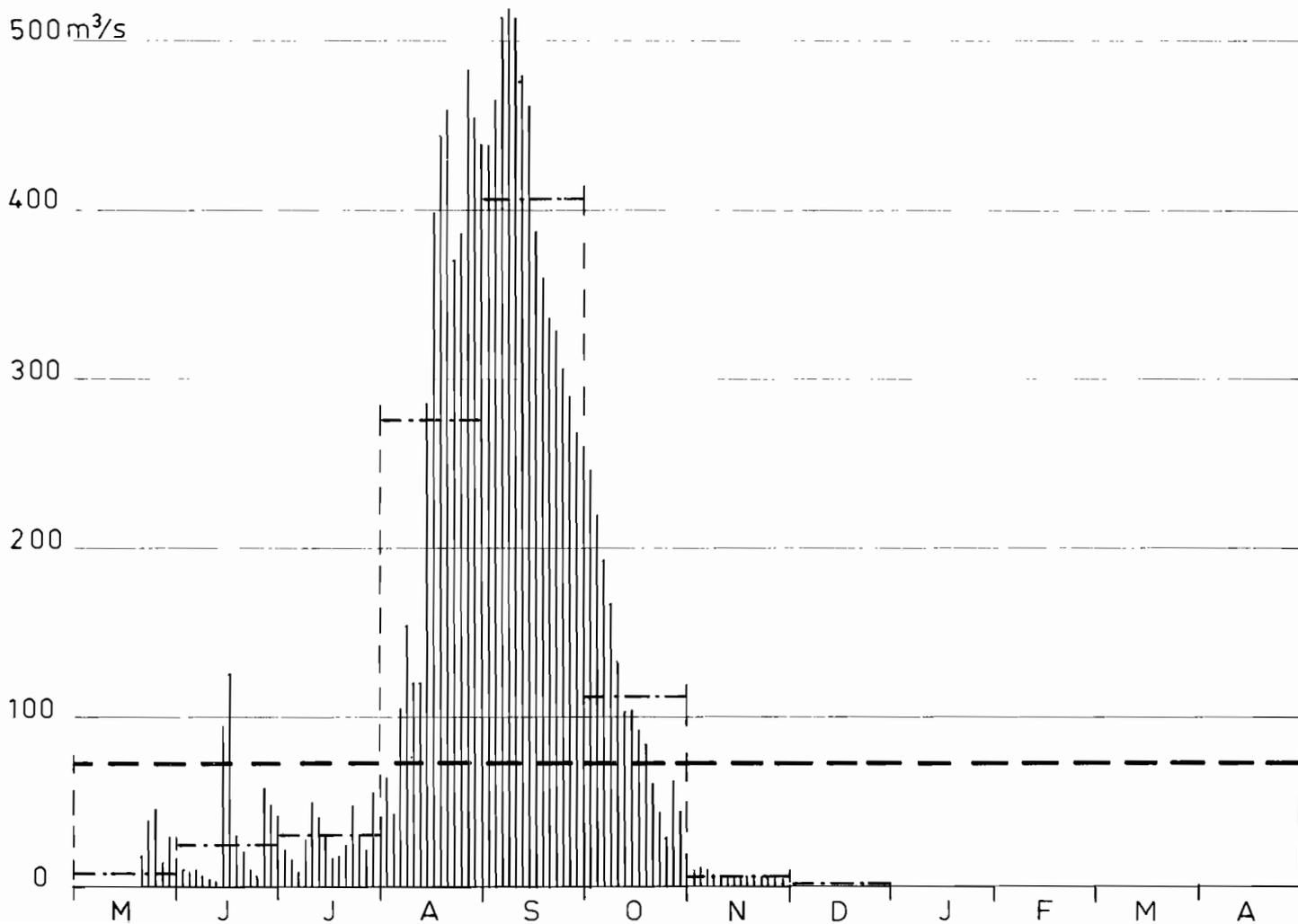


L'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

en 1958-59 _année faible_



en 1957-58 _année forte_



- SIRBA à GARBE-KOUROU
- GOROUBI à DIONGORE
- DIAMANGOU à TAMOU
- TAPOA au W
- MEKROU à BAROU
- ALIBORI à la Route KANDI-BANIKOARA
- SOTA à COUBERI

D'une façon générale, on peut dire que le régime du NIGER moyen se caractérise par une intumescence annuelle très ample et très régulière qui offre cette particularité remarquable d'avoir un maximum décalé de quatre ou cinq mois par rapport à la pointe du régime tropical de transition observée sur le cours supérieur du fleuve. Ce décalage considérable constitue, selon M. PARDE, "l'exemple le plus grandiose de l'influence que peuvent exercer les conditions d'écoulement dues au relief sur le régime des eaux courantes".

Sur cette intumescence annuelle se greffent progressivement vers l'aval des pointes de crues provoquées par les affluents issus de haute-VOLTA et surtout du DAHOMEY. Ces crues plus ou moins dentelées sont de régime sahélien ou tropical et se produisent essentiellement d'Août à Octobre.

A TOSSAYE, l'hydrogramme n'est pas très différent de celui de DIRE étudié dans la 2ème partie. La crue s'étale de Septembre à Mars ou Avril, avec un maximum en Janvier généralement compris entre 1 800 et 2 400 m³/s.

A NIAMEY, l'influence des affluents voltaïques n'est pas encore très nette et se traduit seulement par une montée des eaux à peu près identique à celle de TOSSAYE en Août et au début de Septembre, alors qu'ensuite l'hydrogramme de NIAMEY présente un laminage sensiblement plus marqué que celui de TOSSAYE. Le maximum annuel se produit en Janvier ou Février et reste généralement compris entre 1 500 et 2 100 m³/s.

A MALANVILLE, on peut distinguer nettement deux crues : celle des affluents locaux qui est assez dentelée et culmine en Septembre ou au début d'Octobre et la crue malienne qui atteint son maximum en pleine saison sèche, généralement dans le courant de Février. L'importance relative des deux crues varie d'une année à l'autre, mais elles restent du même ordre.

C - CORRELATION entre les RELEVES LIMNIMETRIQUES de diverses stations du NIGER MOYEN

Pour combler certaines lacunes dans les périodes de relevés, on a été amené à étudier les corrélations existantes entre les hauteurs d'eau observées à différentes stations du NIGER Moyen, à savoir : TOSSAYE, GAO, ANSONGO, NIAMEY et SAY. En aval de SAY, les apports des affluents de rive droite deviennent trop importants pour que des corrélations significatives puissent être établies pendant plusieurs mois de l'année.

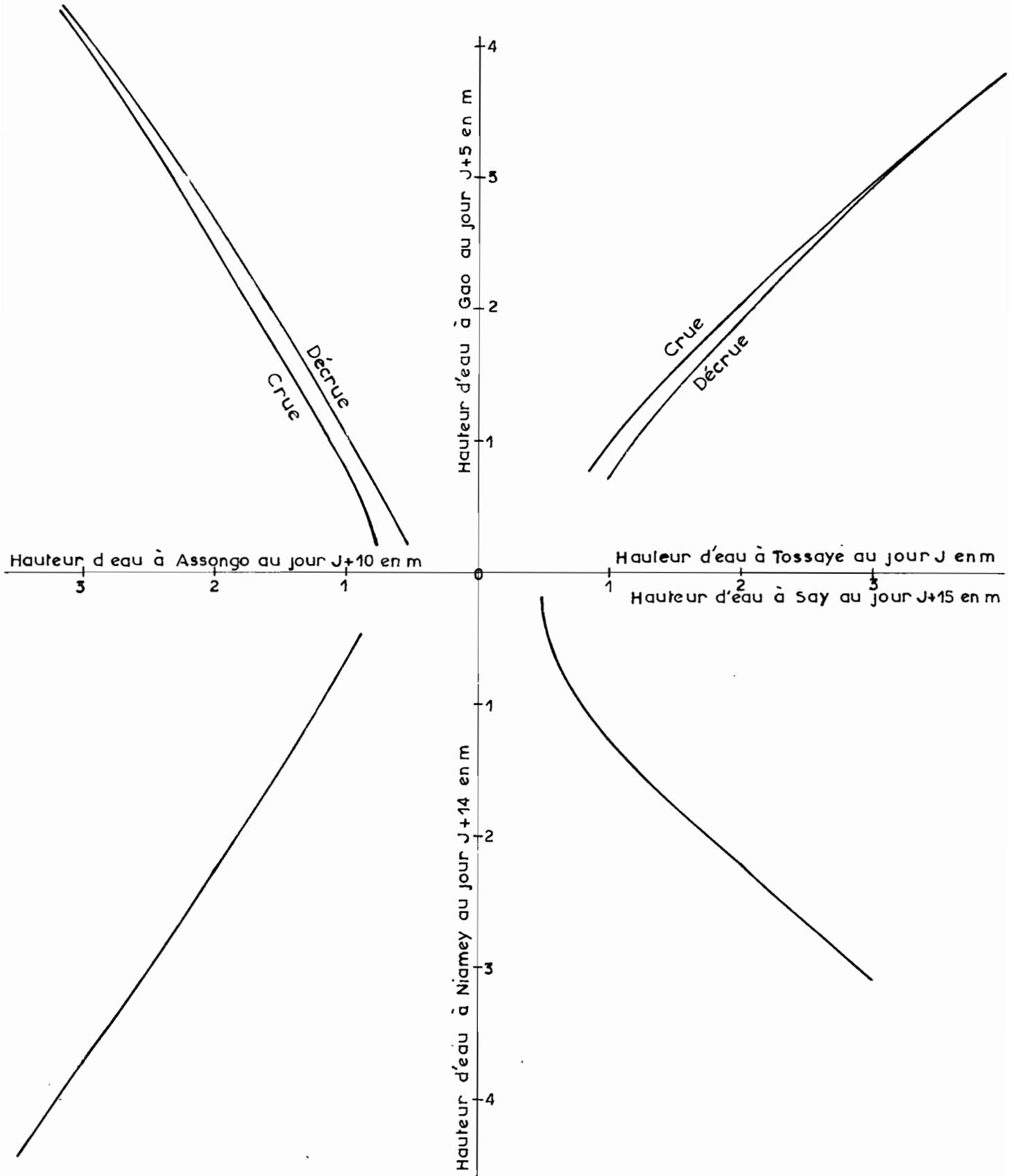
Le graphique n° 115 montre les courbes de corrélation qui ont pu être tracées avec la meilleure approximation en tenant compte d'un certain temps de propagation entre les diverses stations. Les corrélations entre les hauteurs d'eau de TOSSAYE et GAO, d'une part, de GAO et d'ANSONGO d'autre part, sont un peu différentes selon que l'on considère la période de montée ou de baisse des eaux. Au contraire, les corrélations ANSONGO-NIAMEY et NIAMEY-SAY sont pratiquement univoque.

Les décalages de quelques jours pris en considération pour améliorer les corrélations donnent une valeur approximative des temps de propagation de l'onde de crue sur le NIGER Moyen :

Station	Distance (Km)	Durée de propagation (jours)	Vitesse de propagation (km/jour)
TOSSAYE	110	5	22
GAO	102	5	20
ANSONGO	350	4	87
NIAMEY	62	1	62
SAY			

Les vitesses de propagation ainsi déterminées sont assez grossières, car en fait elles dépendent, dans une certaine mesure, du niveau des eaux. On remarque toutefois un très net accroissement de la vitesse de propagation en aval d'ANSONGO, accroissement qui est certainement lié à celui de la pente, laquelle admet une valeur moyenne d'environ 4 cm/km entre TOSSAYE et ANSONGO puis de 15 cm/km entre ANSONGO et SAY.

CORRÉLATION ENTRE LES RELEVÉS LIMNIMÉTRIQUES DE DIVERSES STATIONS DU NIGER MOYEN



CHAPITRE IX

Le REGIME du NIGER à TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY

A - GENERALITES

Rappelons qu'entre DIRE (dernière station du NIGER étudiée dans la 2ème Partie, au chapitre XI) et TOSSAYE le fleuve subit encore quelques pertes puisqu'il alimente plusieurs lacs, dont le principal est le FAGUIBINE. De TOSSAYE à ANSONGO et jusqu'au confluent du GOROUOI près de FIRGOUN, le fleuve ne reçoit pratiquement aucun apport. Son régime résulte donc directement de la vidange de la Cuvette Lacustre. En aval de FIRGOUN, les apports du GOROUOL, du DARGOL et de la SIRBA ne sont pas assez importants pour modifier très sensiblement le régime du NIGER à NIAMEY. Leur influence se traduit essentiellement par un certain renforcement des débits en Septembre et Octobre ; lors d'un étiage particulièrement sévère en Juin ou Juillet il arrive également que l'on relève à NIAMEY des petites pointes de crues provenant de ces affluents voltaïques. Il existe néanmoins une parenté étroite entre le régime du fleuve aux trois stations de TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY ; c'est pourquoi nous les étudions dans le même chapitre. La station de MALANVILLE dont le régime est nettement influencé par les affluents dahoméens sera par contre étudiée dans un chapitre particulier.

B - DEBITS MENSUELS (cf tableaux I, II, et III a/ en annexe)

Aux trois stations le plus fort débit mensuel se situe en Janvier ou en Février, avec prédominance du mois de Janvier à TOSSAYE et du mois de Février à NIAMEY. Le maximum est toujours assez aplati et s'étale sur plusieurs jours ; il a tendance à être précoce lorsque la crue est faible et au contraire tardif si la crue est forte.

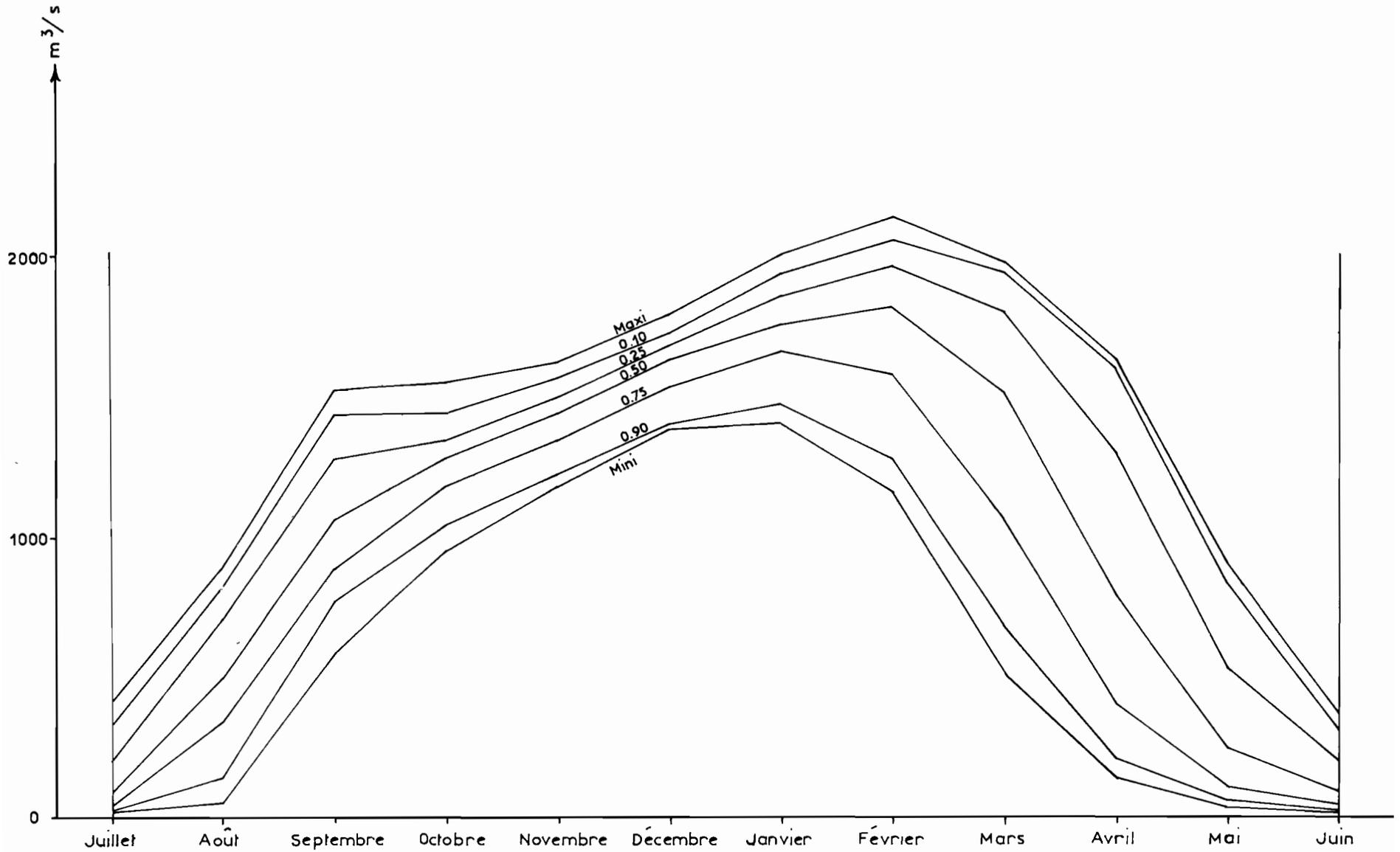
La décrue est toujours un peu plus rapide que la montée des eaux, surtout en année abondante. Avril et Mai sont ainsi nettement inférieurs à Novembre et Octobre.

Le graphique n° 116 indique la valeur des débits moyens mensuels de NIAMEY selon leur fréquence de dépassement. On remarque, comme on l'avait déjà vu pour DIRE, que la dispersion des débits mensuels est très marquée à la décrue surtout en Mars, Avril et Mai. Elle est, par contre, plus réduite à la montée des eaux, surtout en Novembre et Décembre. En Août et Septembre l'influence des crues voltaïques se traduit par une dispersion plus élevée qu'à DIRE

Gr. 116

Le NIGER à Niamey

Débits moyens mensuels selon leur fréquence de dépassement



On a essayé d'établir des corrélations entre les débits mensuels de NIAMEY et ceux de DIRE, en tenant compte d'un décalage d'un mois entre les deux stations. Il apparaît que les courbes de corrélation tracées graphiquement sont le plus souvent assimilables à une droite mais varient sensiblement d'un mois à l'autre (voir graphique 117).

Entre les débits de Mai à DIRE et de Juin à NIAMEY la corrélation est très lâche. La précision médiocre avec laquelle on connaît les débits d'étiage de DIRE en est sans doute l'une des raisons principales.

La corrélation Juin-Juillet est meilleure. Les débits sont généralement plus élevés à NIAMEY qu'à DIRE, car les apports des affluents voltaïques commencent à n'être plus tout à fait négligeables

En Juillet le début de la montée des eaux à DIRE se conjugue avec les premières crues locales importantes qui se font sentir en Août à NIAMEY. Cette double influence se traduit par une corrélation non linéaire et assez lâche surtout pour les débits dépassant 400 m³/s à NIAMEY. Les débits de cette dernière station sont toujours supérieurs à ceux de DIRE.

La corrélation Août-Septembre est encore plus lâche, car c'est en Septembre que les apports voltaïques atteignent leur maximum à NIAMEY.

Pour Septembre-Octobre la corrélation est à peine moins lâche. Les débits de DIRE sont supérieurs à ceux de NIAMEY.

La corrélation Octobre-Novembre devient nettement meilleure, l'influence des crues locales étant pratiquement éliminée. Il en est de même pour les corrélations de Novembre-Décembre et Décembre-Janvier qui peuvent être assimilées à la même droite que la précédente.

- La corrélation Janvier-Février marque une transition, car elle correspond au début de la décrue (sauf en année abondante). La gamme de variation des débits moyens augmente sensiblement, mais la corrélation reste satisfaisante. Les débits de DIRE sont encore supérieurs à ceux de NIAMEY, mais l'écart, qui était de l'ordre de 4 à 500 m³/s les mois précédents, tend à diminuer sensiblement surtout en année déficitaire.

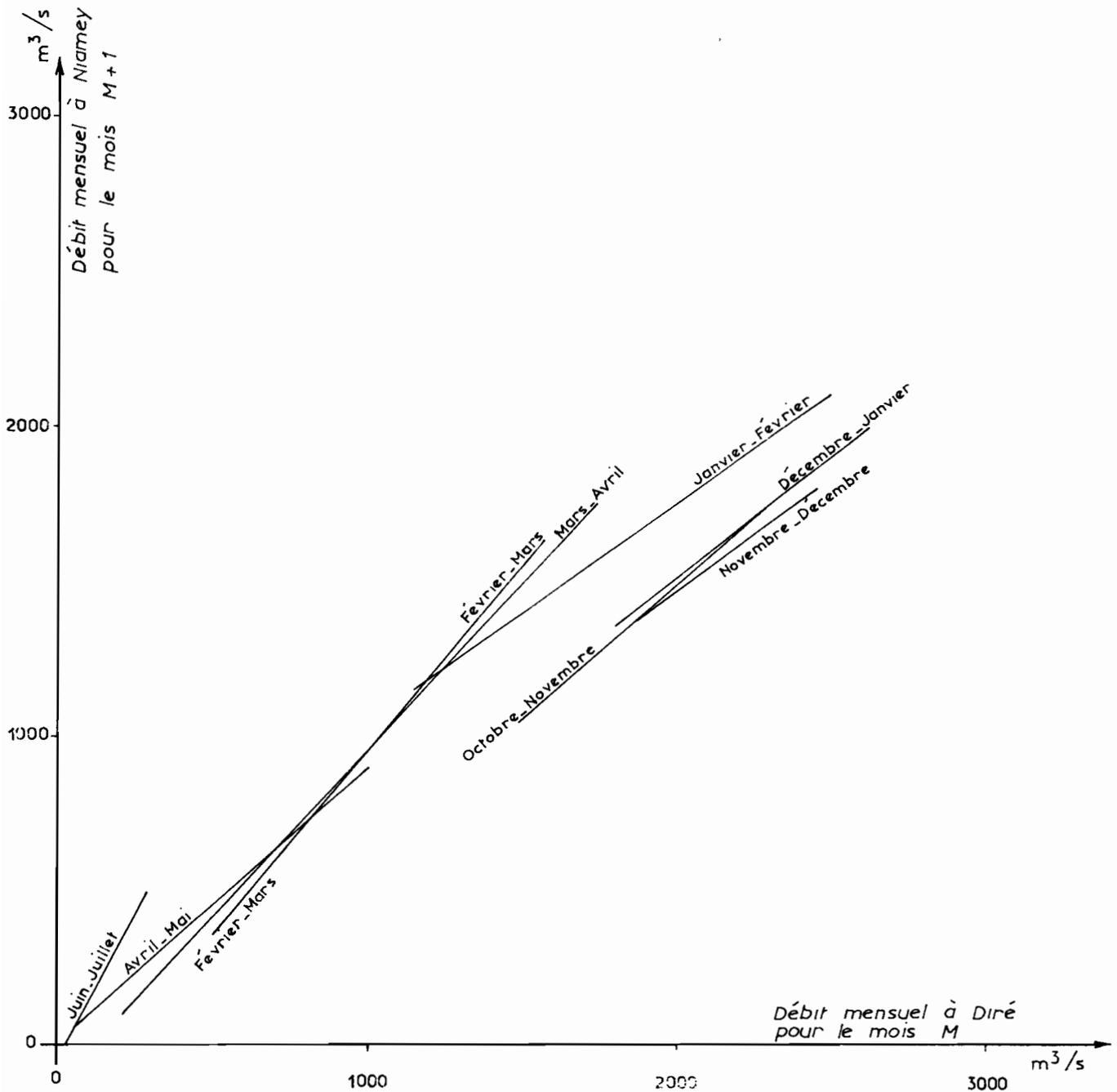
- Les corrélations de Février-Mars, Mars-Avril et Avril-Mai sont plus ou moins assimilables à des droites presque superposées. Les débits de DIRE sont généralement égaux ou légèrement supérieurs à ceux de NIAMEY. Si les écarts de débits restent assez faibles en valeur absolue, ils deviennent toutefois assez élevés en valeur relative au fur et à mesure que l'on approche de l'étiage absolu.

En résumé, la corrélation entre les débits moyens mensuels de DIRE et de NIAMEY est excellente pour les hautes eaux et le début de la décrue (Octobre-Novembre à Mars-Avril), elle est moins bonne en étiage (d'Avril-Mai à Juin-Juillet) et devient très lâche en début de crue (Juillet-Août à Septembre-Octobre).

C - MODULES

On a porté l'ensemble des modules relevés à TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY dans le tableau III et l'on a rappelé également les modules de DIRE. Le graphique 118 montre que l'on peut établir dans des conditions satisfaisantes des corrélations linéaires entre les modules de DIRE (M_D) d'une part et ceux de TOSSAYE (M_{TO}), ANSONGO (M_A) et NIAMEY (M_N) d'autre part. Ces corrélations peuvent s'exprimer par les relations suivantes :

CORRELATION entre les DEBITS MENSUELS
de DIRE et NIAMEY
(compte tenu d'un décalage d'un mois)



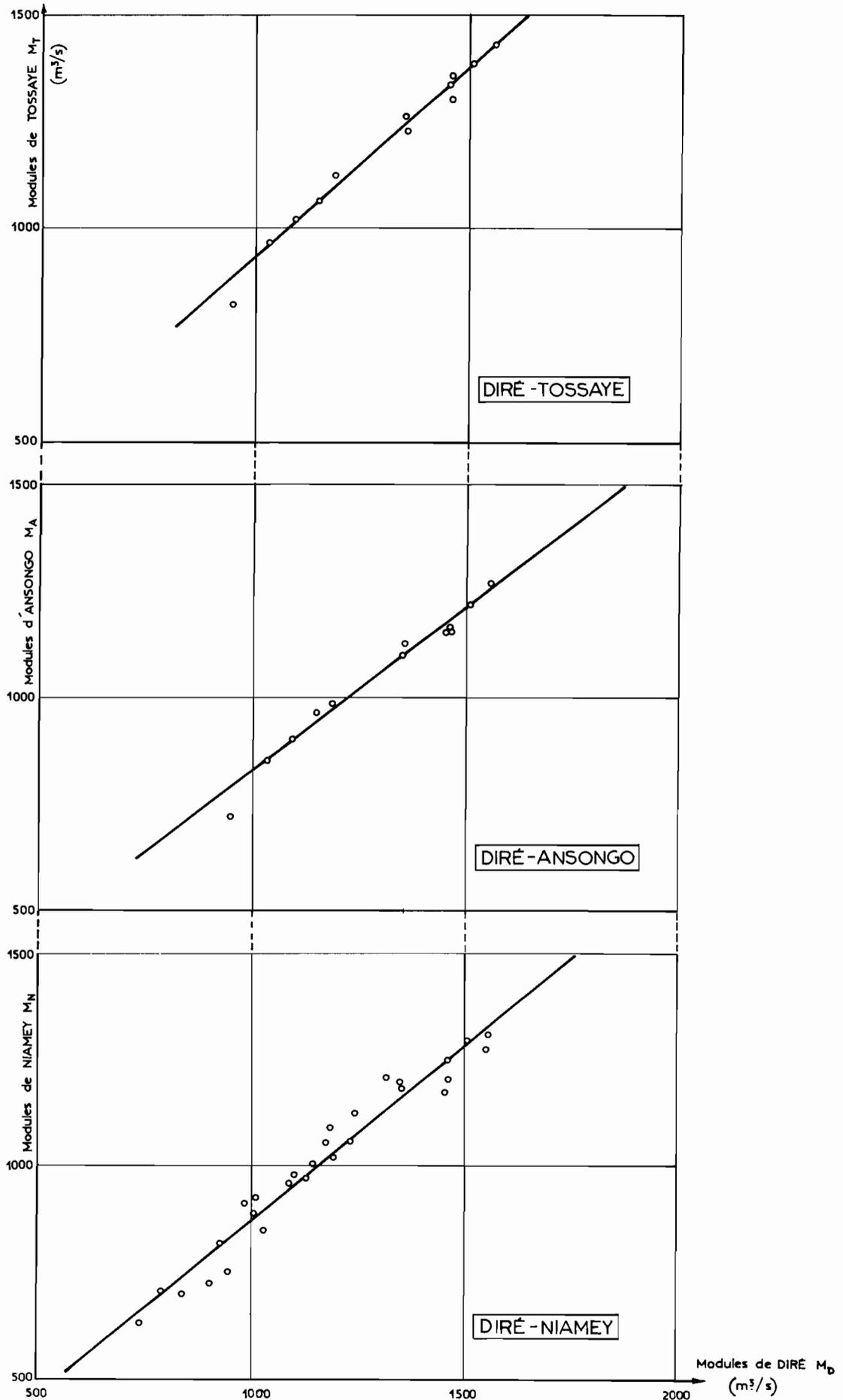
NOTA: Les corrélations Mai-Juin, Juin-Juillet, Août-Septembre et Septembre-Octobre n'ont pas été représentées parce que trop lâches.

TABLEAU III

MODULES aux DIFFERENTES STATIONS du BIEF DIRE-NIAMEY (m3/s).

Année	LIRE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
1924-25	1 448			
1925-26	1 527			
1926-27	1 127			
1927-28	1 414			
1928-29	1 435			
1929-30	1 554			1 277
1930-31	1 323			1 209
1931-32	1 180			1 056
1932-33	1 248			-
1933-34	1 239		957	(1 058)
1934-35	990			914
1935-36	1 105			980
1936-37	1 297			-
1937-38	956			-
1938-39	1 085			-
1939-40	1 042			-
1940-41	860			-
1941-42	909			723
1942-43	794			701
1943-44	(929)			815
1944-45	744			630
1945-46	1 009			889
1946-47	1 137			975
1947-48	842			697
1948-49	(1 035)	(967)	(854)	848
1949-50	950	(820)	(720)	749
1950-51	1 190	(1 126)	(392)	1 085
1951-52	1 460	(1 137)	1 150	1 176
1952-53	1 356	(1 261)	1 100	1 199
1953-54	1 466	(1 353)	1 159	1 249
1954-55	1 559	1 429	1 267	(1 308)
1955-56	1 510	1 384	1 217	1 296
1956-57	1 095	1 018	898	960
1957-58	1 475	1 300	1 156	1 206
1958-59	1 361	1 226	(1 125)	1 185
1959-60	1 160	1 062	960	1 010
1960-61	1 196	-	-	1 024
1961-62	(1 011)	-	-	930
1962-63	(1 244)	-	-	1 128
1963-64	-	-	-	942
1964-65	-	-	-	1 188
1965-66	-	-	-	1 085

CORRELATION entre les modules de DIRE, TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY



$$M_{TO} = 0,885 M_D + 50$$

$$M_A = 0,77 M_D + 50$$

$$M_N = 0,82 M_D + 50$$

La précision des corrélations est presque toujours supérieure à 5 %. Les plus gros écarts constatés ne dépassent pas 8 %. Le calcul des coefficients de corrélation donne des valeurs élevées comprises entre 0,965 et 0,985.

Les modules tendent à décroître de DIRE jusqu'à ANSONGO, puis augmentent de nouveau à NIAMEY par suite des apports des affluents voltaïques.

L'étude statistique des modules de NIAMEY, analogue à celle qui a été faite pour l'étude du NIGER à DIRE, est condensée dans le tableau IV et le graphique 119. Ce graphique montre que la courbe de fréquence expérimentale peut-être assimilée à une droite de GAUSS jusque vers 1 250 m³/s.

Au - delà , elle tend à s' infléchir vers l'horizontale, car l'effet du laminage de la Cuvette Lacustre continue à se faire sentir à NIAMEY et semble imposer aux modules les plus rares un plafond situé vers 1400 m³/s.

Le graphique 119 permet de déterminer les valeurs approximatives des modules médian, décennal sec et décennal humide. Elles sont en bon accord avec celles que l'on peut déduire des valeurs correspondantes de DIRE en utilisant la corrélation entre M_N et M_D établie plus haut. En faisant également appel aux deux autres corrélations du graphique 118, on peut déterminer l'ensemble des valeurs suivantes :

	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
- Module médian (F=50%)	1 095 m ³ /s	960 m ³ /s	1 020 m ³ /s
- Module décennal sec (F=90%)	805 m ³ /s	705 m ³ /s	740 m ³ /s
- Module décennal humide (F=10%)	1 380 m ³ /s	1 205 m ³ /s	1 280 m ³ /s
- Coefficient d'irrégularité interannuelle	1,71	1,71	1,73

TABLEAU IV

Le NIGER à NIAMEY

Etude statistique des modules
(1929/30 à 1965/66, sauf 1932/33 et 1936/37 à 1940/41)

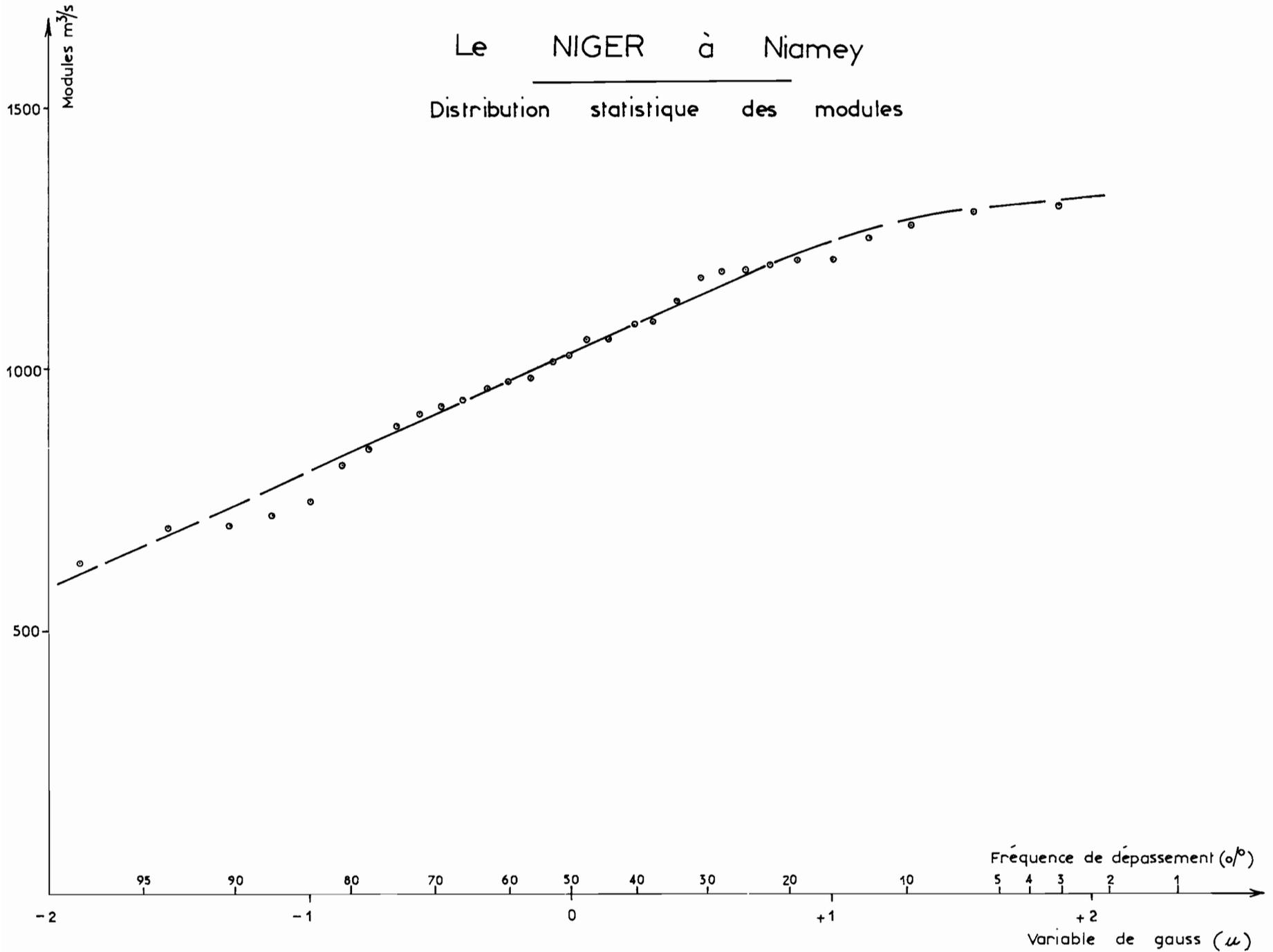
Classement		Fréquence de dépassement	Module	Variable de GAUSS
n	n'	F	(m ³ /s)	u
31	1	0,97	630	-1,88
30	2	0,94	697	-1,55
29	3	0,905	701	-1,31
28	4	0,875	723	-1,15
27	5	0,845	749	-1,01
26	6	0,81	815	-0,88
25	7	0,78	848	-0,77
24	8	0,75	889	-0,67
23	9	0,72	914	-0,58
22	10	0,69	930	-0,50
21	11	0,66	942	-0,41
20	12	0,625	960	-0,32
19	13	0,595	975	-0,24
18	14	0,56	980	-0,15
17	15	0,53	1 010	-0,07
16	16	0,50	1 024	0,00
15	17	0,47	1 056	+0,07
14	18	0,44	1 058	0,15
13	19	0,405	1 085	0,24
12	20	0,375	1 085	0,32
11	21	0,34	1 128	0,41
10	22	0,31	1 176	0,50
9	23	0,28	1 185	0,58
8	24	0,25	1 188	0,67
7	25	0,22	1 199	0,77
6	26	0,19	1 206	0,88
5	27	0,155	1 209	1,01
4	28	0,125	1 249	1,15
3	29	0,095	1 277	1,31
2	30	0,06	1 296	1,55
1	31	0,03	1 308	1,88

$$F = \frac{n}{N+1} = \frac{n}{32}$$

Gr.119

Le NIGER à Niamey

Distribution statistique des modules



Si l'on se souvient que le module médian de DIRE a été évalué à 1180 m³/s, on voit qu'entre DIRE et TOSSAYE il se perd 85 m³/s, tandis qu'entre TOSSAYE et ANSONGO c'est un débit de 135 m³/s qui disparaît en année médiane. Ce prélèvement qui serait dû à l'évaporation et éventuellement à des infiltrations paraît trop élevé. Il est probable que le module d'ANSONGO est quelque peu sous-estimé, ce que semble confirmer le fait que celui de NIAMEY lui est supérieur de 60 m³/s. Cet écart de 60 m³/s ne s'explique en effet pas très bien par les apports voltaïques (de l'ordre de 40 m³/s) et les pertes par évaporation du bief ANSONGO-NIAMEY (de l'ordre de 20 m³/s). Il est vraisemblable que les étalonnages de NIAMEY et surtout d'ANSONGO ne sont pas très précis. Par souci de simplification, on a admis pour chacune de ces deux stations une courbe d'étalonnage univoque alors qu'en fait pour une même hauteur d'eau on constate de légers écarts de débit entre la crue et la décrue.

D - CRUES

Le tableau V récapitule les valeurs et les dates des débits maximaux annuels à DIRE et aux trois stations de TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY.

On notera tout d'abord (graphique 120) qu'il existe une assez bonne corrélation linéaire entre les maximums annuels de DIRE et de NIAMEY, basée sur une trentaine d'années d'observations communes. La dispersion n'excède pas 150 m³/s et admet une valeur moyenne d'environ 35 m³/s. On a donc pu utiliser cette corrélation pour reconstituer approximativement les maximums non observés à NIAMEY entre 1925 et 1940. (1)

Bien que les périodes communes d'observations soient beaucoup plus courtes, il est également possible d'établir des corrélations linéaires entre les maximums de DIRE et de TOSSAYE ou de TOSSAYE et de NIAMEY.

Le tableau V et la figure 121 montrent l'évolution du débit maximal annuel entre DIRE et NIAMEY. On note une diminution très sensible du maximum entre DIRE et ANSONGO. Le laminage de la crue paraît même plus actif dans le bief TOSSAYE- ANSONGO que dans le bief DIRE-TOSSAYE. Par contre, entre ANSONGO et NIAMEY le maximum se renforce généralement ou tout au moins reste étale en année de faible abondance. Il y a là une anomalie puisque à la saison du maximum les apports des affluents voltaïques sont nuls. On a déjà eu l'occasion de signaler que l'étalonnage d'ANSONGO n'était pas parfait, mais son imprécision est certainement inférieure à 10 % et ne permet pas d'expliquer seule cette anomalie. Il est probable qu'avec l'accroissement

(1) Il apparaît cependant que depuis 1963 cette corrélation se soit détériorée, les maximums de NIAMEY se plaçant sensiblement au-dessus de la courbe. Ce fait serait dû à une modification des conditions d'écoulement dans la Cuvette Lacustre qui réduirait le laminage des crues.

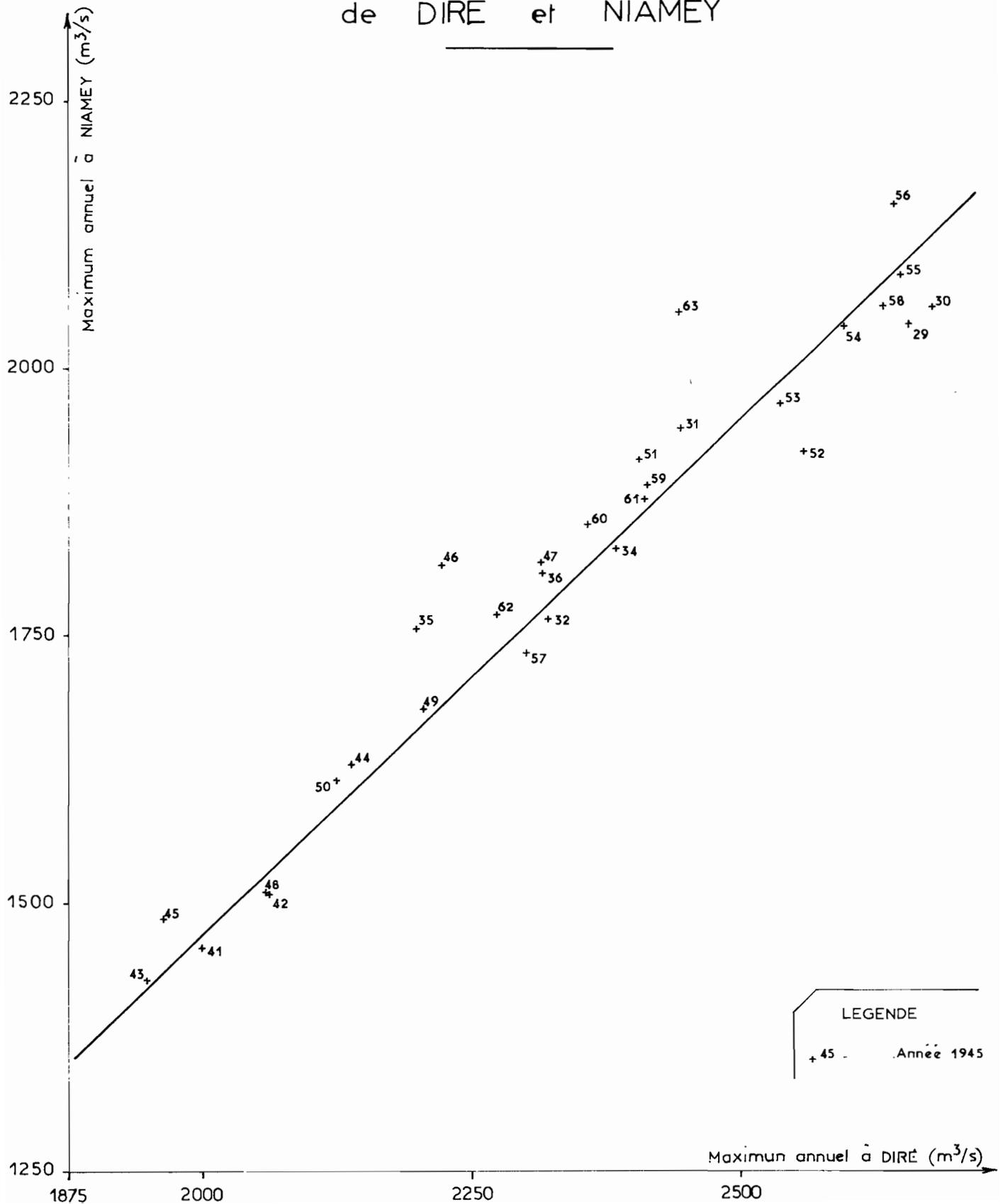
TABLEAU V

VALEURS (en m³/s) et DATES des DEBITS MAXIMAUX ANNUELS

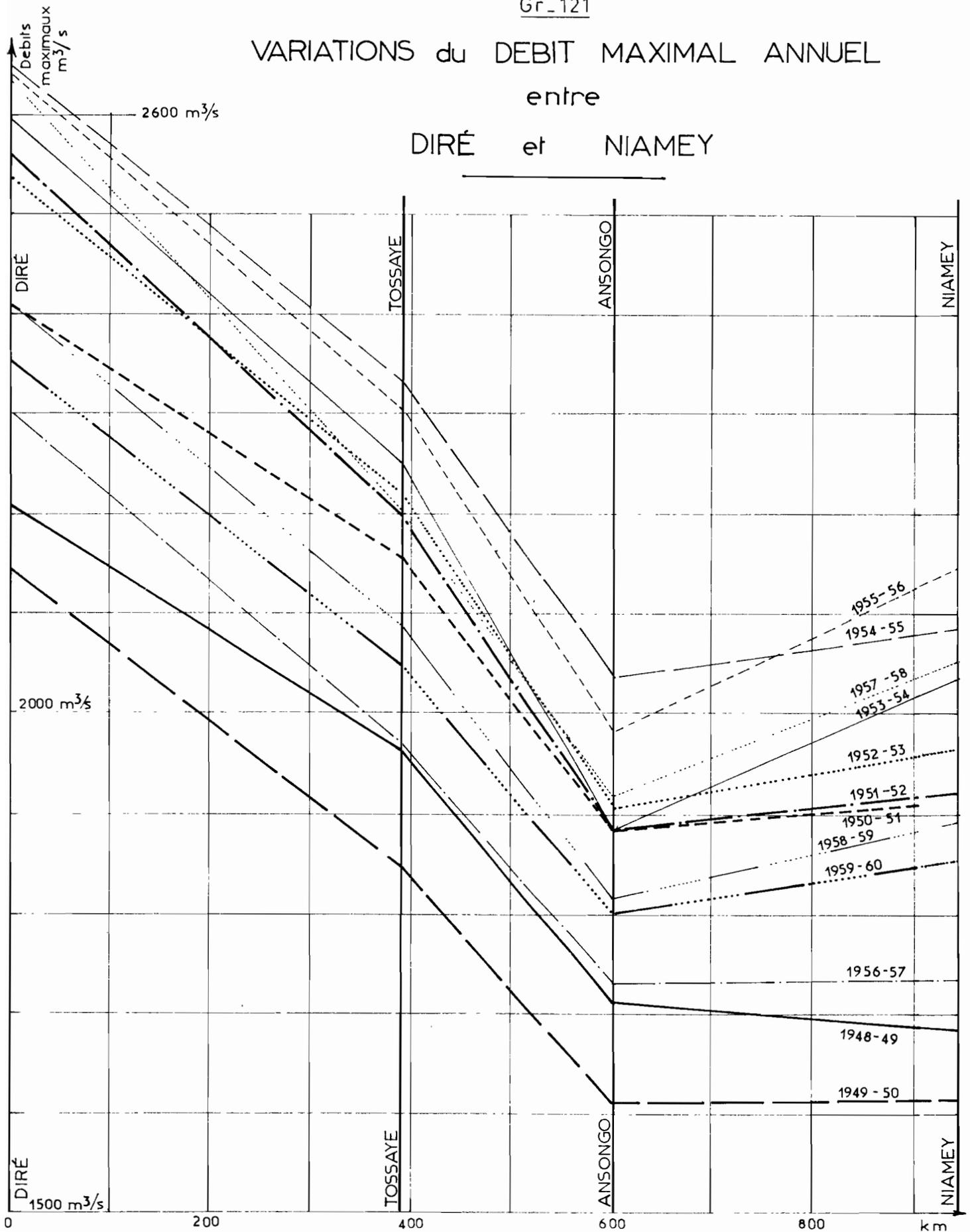
du NIGER à DIRE, TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY.

	DIRE		TOSSAYE		ANSONGO		NIAMEY	
1924-25	2625	30/31/12					(2 050)	
1925-26	2675	3/21/1					(2 090)	
1926-27	2280	19/12					(1 750)	
1927-28	2565	29/12-2/1					(2 000)	
1928-29	2655	21-27/12					2 040	25-27/2
1929-30	2675	3-7/1					2 055	1/3
1930-31	2445	18-22/12					1 945	6-9 /2
1931-32	2320	12-14/12					1 765	9-12/2
1932-33	2385	29/12-13/1					(1 840)	
1933-34	2385	15-22/12			1 700	4/2	1 835	6-8 /2
1934-35	2200	20-26/12			1 755	4/2	1 760	10-13/2
1935-36	2315	23-28/12					1 810	10-16/2
1936-37	2440	25/12-4/1					(1 880)	
1937-38	2155	14-26/12					(1 620)	
1938-39	2335	23-31/12					(1 790)	
1939-40	2215	26/12-5/1					(1 680)	
1940-41	2000	17-21/12					1 460	20-27/1
1941-42	2060	4-23/12					1 510	19/1
1942-43	1945	26/12-10/1					1 430	5/1
1943-44	2140	6-15/12					1 630	13-26/1
1944-45	1965	6/12					1 490	5-7 /1
1945-46	2225	20-28/12					1 820	19-20/1
1946-47	2315	23-27/12					1 820	16/2
1947-48	2060	10-14/12					1 510	21-26/1
1948-49	2205	10-22/12	1 965	10/1	1 710	20/1	1 685	15-17/1
1949-50	2145	8-13/12	1 845	27/12-6/1	1 610	6-16/1	1 615	17-10/1
1950-51	2405	25/12-1/1	2 155	22/1-3/2	1 885	1-13/2	1 915	14/2
1951-52	2555	14-23/1	2 195	12-25/2	1 685	17-22/2	1 925	27/2-1/3
1952-53	2535	2-10/1	2 220	22-28/1	1 905	28-29/1	1 970	14-18/2
1953-54	2595	26-28/12	2 250	24/1-5/2	1 835	2-10/2	2 040	10/2
1954-55	2645	5-0/1	2 330	24/1-8/2	2 035	9-12/2	2 090	22-23/2
1955-56	2640	7-14/1	2 305	16/1-8/2	1 930	27/1-15/2	2 150	14-24/2
1956-57	2300	19-28/12	1 970	19-22/1	1 735	20-31/1	1 735	1-2 /2
1957-58	2630	11-19/1	2 205	2-6 /2	1 915	27/1-11/2	2 055	26-28/2
1958-59	2410	5-12/1	2 090	2/2	1 815	24-27/2	1 895	17-20/2
1959-60	2355	23/12-1/1	2 050	12-13/1	1 800	10/1-4/2	1 055	20/1-3/2
1960-61	2410	18-21/2					1 880	27/1-5/2
1961-62	2270	4-0/12					1 775	21-26/1
1962-63	2440	25-27/12					2 055	13-18/2
1963-64							1 855	3-11/2
1964-65							2 070	11-20/2
1965-66							1 945	25/1-8/2

CORRELATION entre les DEBITS MAXIMAUX ANNUELS
de DIRE et NIAMEY



VARIATIONS du DEBIT MAXIMAL ANNUEL entre DIRÉ et NIAMEY



de la pente et le rétrécissement du lit majeur l'hydrogramme de la crue annuelle devient légèrement plus aigu en aval d'ANSONGO. Cet effet serait dû à un accroissement notable de la vitesse de propagation des variations élémentaires de débit ΔQ lorsque le débit Q augmente lui-même. On sait que cette vitesse de propagation u peut se calculer par la formule :

$$u = \frac{1}{L} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta H}$$

L est la largeur moyenne du lit,
 $\Delta Q/\Delta H$ correspond pratiquement à la pente de la courbe d'étalonnage.

Il est évident que si, à partir d'une certaine hauteur d'eau, la largeur du lit majeur n'augmente presque plus, alors que la pente $\Delta Q/\Delta H$ croît rapidement, la vitesse u augmente elle-même avec le débit ce qui tend à raidir l'hydrogramme de la crue annuelle dans sa partie haute.

L'étude statistique des crues de NIAMEY (tableau VI et graphique 122) fait apparaître une distribution analogue à celle de DIRE sauf pour les fréquences de dépassement élevées. Sur un graphique en coordonnées gaussiennes, la courbe de distribution peut être assimilée à une droite entre les fréquences 75 et 35 %. Entre 35 et 25 %, la courbe se redresse vers le haut, comme on l'avait observé à DIRE, puis se rabat vers une droite de faible pente qui s'explique par le laminage des crues dans la Cuvette Lacustre. Son extrapolation est quelque peu incertaine (1). On peut néanmoins retenir les valeurs suivantes pour les crues de NIAMEY :

- Crue médiane	(F = 50%)	:	1 350 m ³ /s
- Crue décennale	(F = 10%)	:	2 075 m ³ /s
- Crue centenaire	(F = 1 %)	:	2 200 m ³ /s
- Crue millénaire	(F = 0,1%)	:	2 350 m ³ /s

Par interpolation entre les stations de DIRE et de NIAMEY et avec l'aide du graphique 121 on peut admettre pour TOSSAYE les valeurs approximatives suivantes :

- Crue médiane	:	2 075 m ³ /s
- Crue décennale	:	2 325 m ³ /s
- Crue centenaire	:	2 375 m ³ /s

(1) Juste avant que cette Monographie soit mise à l'impression, une crue de 2330 m³/s a été observée à NIAMEY entre le 9 et le 12 Février 1968. Le débit est resté supérieur à 2300 m³/s pendant 20 jours. Il s'agit certainement d'une crue de fréquence rare. La ville historique de SAY a, en effet, été inondée sous 10 à 20 cm d'eau et de très anciennes constructions en banco ont été détruites.

TABLEAU VI

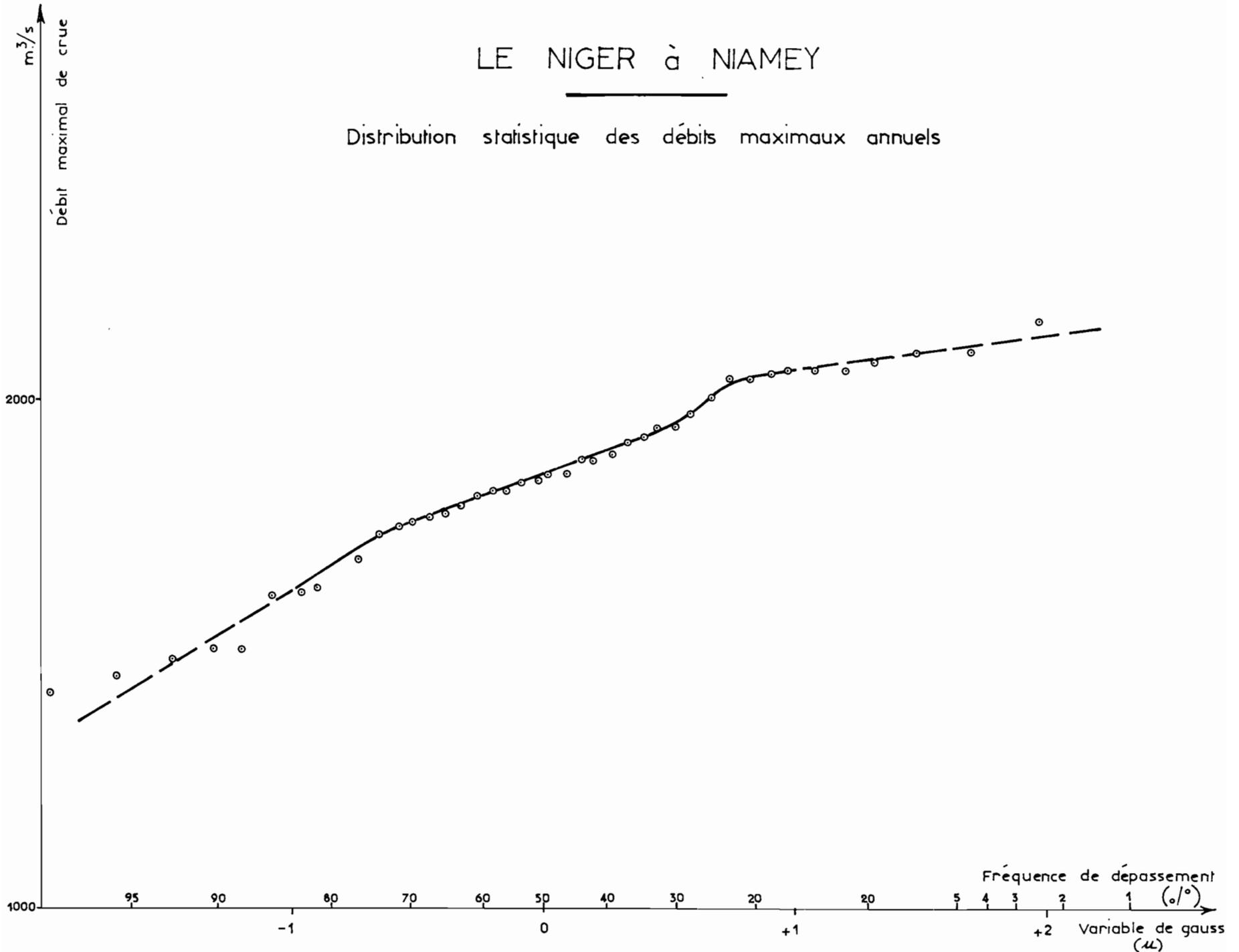
Le NIGER à NIAMEY

Etude statistique des crues

Classement		Fréquence de dépassement	Crue	Variable de GAUSS
n	n'	F	(m ³ /s)	u
42	1	0,975	1 430	-1,96
41	2	0,955	1 460	-1,70
40	3	0,93	1 490	-1,48
39	4	0,905	1 510	-1,31
38	5	0,885	1 510	-1,20
37	6	0,86	1 615	-1,08
36	7	0,835	1 620	-0,97
35	8	0,815	1 630	-0,90
34	9	0,79	1 680	-0,81
33	10	0,765	1 685	-0,74
32	11	0,745	1 735	-0,66
31	12	0,72	1 750	-0,58
30	13	0,70	1 760	-0,52
29	14	0,675	1 765	-0,45
28	15	0,65	1 775	-0,39
27	16	0,63	1 790	-0,33
26	17	0,605	1 810	-0,27
25	18	0,58	1 820	-0,20
24	19	0,56	1 820	-0,15
23	20	0,535	1 835	-0,09
22	21	0,51	1 840	-0,02
21	22	0,49	1 855	+0,02
20	23	0,465	1 855	0,09
19	24	0,44	1 880	0,15
18	25	0,42	1 880	0,20
17	26	0,395	1 895	0,27
16	27	0,37	1 915	0,33
15	28	0,35	1 925	0,39
14	29	0,325	1 945	0,45
13	30	0,30	1 945	0,52
12	31	0,28	1 970	0,58
11	32	0,255	2 000	0,66
10	33	0,23	2 040	0,74
9	34	0,21	2 040	0,81
8	35	0,185	2 050	0,90
7	36	0,165	2 055	0,97
6	37	0,14	2 055	1,08
5	38	0,115	2 055	1,20
4	39	0,095	2 070	1,31
3	40	0,07	2 090	1,48
2	41	0,045	2 090	1,70
1	42	0,025	2 150	1,96

LE NIGER à NIAMEY

Distribution statistique des débits maximaux annuels



Par interpolation entre les stations de DIRE et NIAMEY et avec l'aide du graphique 121 on peut admettre pour TOSSAYE les valeurs approximatives suivantes :

- Crue médiane	=	2 075	m ³ /s
- Crue décennale	=	2 325	m ³ /s
- Crue centenaire	=	2 375	m ³ /s

E - ETIAGES

La décroissance des débits sur le NIGER Moyen résulte essentiellement de la vidange de la Cuvette Lacustre et ne correspond pas à un tarissement classique. On verra cependant qu'il est possible de traduire convenablement cette décroissance par une loi analytique de forme exponentielle.

Les courbes annuelles de décrue de TOSSAYE sont pratiquement superposables au-dessous de 500 m³/s , par simple translation parallèle à l'axe des temps. On peut ainsi tracer une courbe moyenne de décrue qui est assimilable à une droite sur un graphique semi-logarithmique (débits en échelle logarithmique, temps en échelle linéaire). Le coefficient de décrue \propto , analogue au coefficient de tarissement classique, est égal à 0,036 et la courbe moyenne de décrue a pour équation :

$$Q = Q_0 \cdot e^{-0,036 (t - t_0)}$$

Q et Q₀ étant respectivement les débits aux temps t et t₀ (exprimés en jours).

L'analyse des courbes de décrue d'ANSONGO peut être conduite de la même façon. On aboutit à un coefficient de décrue de 0,040, qui est très voisin de celui de TOSSAYE et comme lui nettement supérieur aux coefficients de tarissement du NIGER supérieur et de ses affluents qui sont de l'ordre de 0,02.

Si l'on trace sur un même graphique semi-logarithmique l'ensemble des courbes de décrue relevées à NIAMEY, on peut distinguer deux familles de courbes. La première, qui correspond aux années d'étiage abondant, présente de nombreuses irrégularités et admet un coefficient moyen de décrue voisin de 0,035. La seconde famille de courbes se rapporte aux étiages moyens et faibles. Les courbes de décroissance en coordonnées semi-logarithmiques sont généralement assimilables à deux droites, dont le raccordement se situe le plus souvent en Juin. Le coefficient de décrue est d'abord voisin de 0,042 puis tombe aux environs de 0,019.

TABLEAU VII

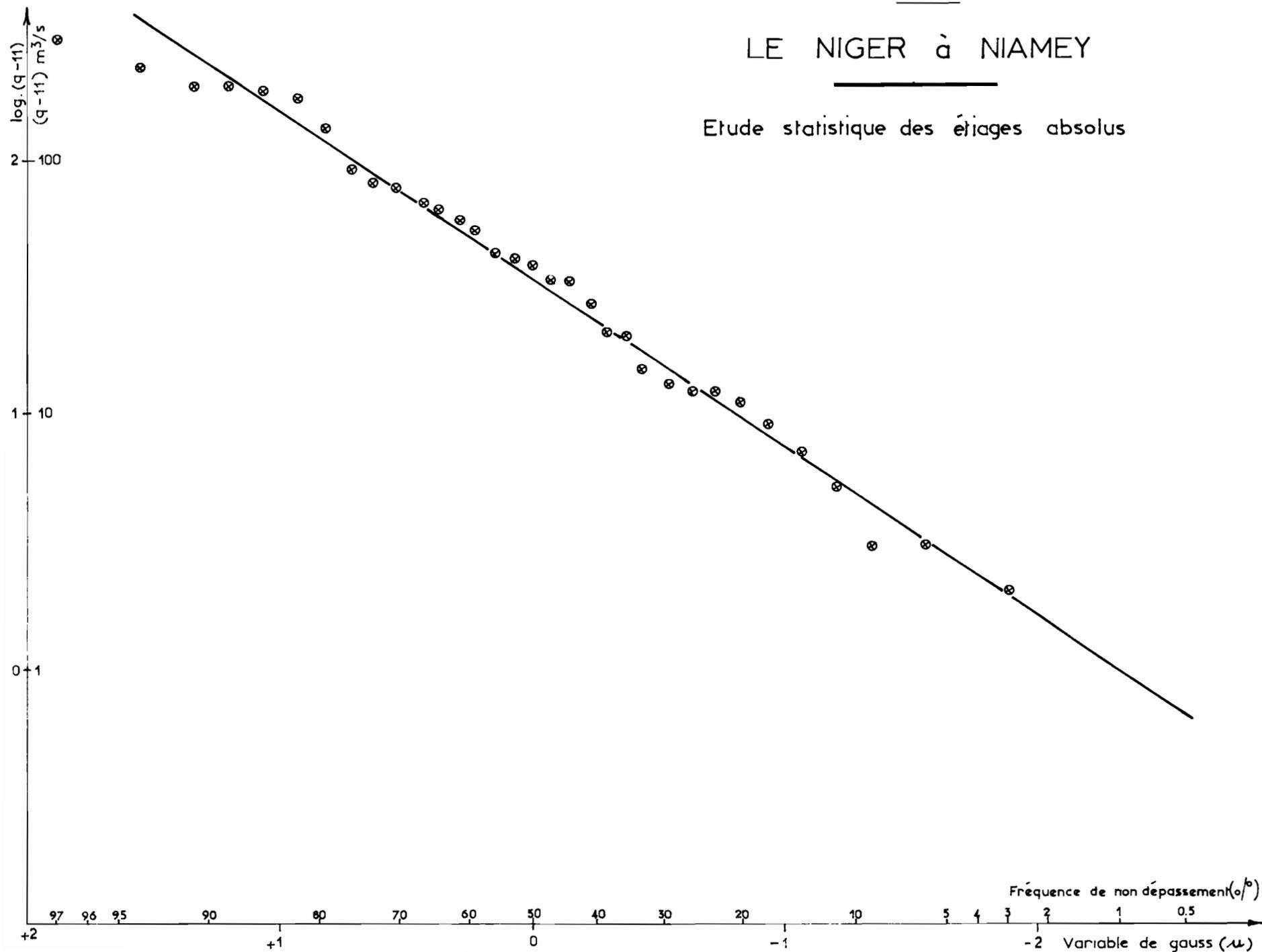
NIGER à NIAMEY
Etude statistique des étiages absolus

Classement		Fréquence de non dépassement	Etiage absolu	Variable de GAUSS
n	n'	F'	(m3/sec)	u
33	1	0,03	13	+1,88
32	2	0,06	14	1,55
31	3	0,09	14	1,34
30	4	0,115	16	1,20
29	5	0,145	18	1,06
28	6	0,175	20	0,93
27	7	0,205	22	0,82
26	8	0,235	23	0,72
25	9	0,265	23	0,63
24	10	0,295	24	0,54
23	11	0,325	26	0,43
22	12	0,355	31	0,37
21	13	0,385	32	0,29
20	14	0,41	38	0,23
19	15	0,44	44	0,15
18	16	0,47	45	+0,07
17	17	0,50	49	0,00
16	18	0,53	52	-0,07
15	19	0,56	54	-0,15
14	20	0,59	63	-0,23
13	21	0,615	69	-0,29
12	22	0,645	74	-0,37
11	23	0,675	78	-0,43
10	24	0,705	88	-0,54
9	25	0,735	93	-0,63
8	26	0,765	103	-0,72
7	27	0,795	146	-0,82
6	28	0,825	185	-0,93
5	29	0,855	197	-1,06
4	30	0,885	204	-1,20
3	31	0,91	207	-1,34
2	32	0,94	242	-1,55
1	33	0,97	305	-1,88

$$F' = \frac{n'}{N+1} = \frac{n'}{34}$$

LE NIGER à NIAMEY

Etude statistique des étiages absolus



C'est à la station de NIAMEY que l'on possède la plus longue série d'observations sur les étiages absolus. Le tableau VII et le graphique 123 résument l'étude statistique qui a été faite à leur sujet et montrent qu'une droite de Gibrat-Gauss peut être convenablement ajustée aux fréquences observées. La loi de distribution des étiages absolus peut s'exprimer par les relations :

$$u = 1,5 \log (q - 11) - 2,3$$

$$F (q) = \frac{1}{\sqrt{2} \pi} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du$$

On en déduit facilement que l'étiage absolu du NIGER à NIAMEY est d'environ 16 m³/s en année décennale sèche et de 12 m³/s en année centenaire sèche.

Si l'on compare les plus faibles débits observés chaque année à DIRE, TOSSAYE et NIAMEY, on constate d'abord un relèvement appréciable de l'étiage absolu entre DIRE et TOSSAYE, relèvement qui est suffisamment marqué pour être significatif malgré l'imprécision des débits de basses eaux de DIRE. Les pertes par évaporation dans le bief DIRE - TOSSAYE sont donc, vers le mois de Juin, largement compensées par les apports de vidange des dernières zones de débordement de la Cuvette Lacustre. Par contre, on note une légère diminution des étiages absolus entre TOSSAYE et NIAMEY, ce qui montre que les pertes par évaporation (et peut-être par infiltration) sont supérieures aux maigres apports des affluents voltaïques à l'époque des plus basses eaux du NIGER Moyen ; celle-ci se situe généralement en Juin à TOSSAYE et en Juillet à NIAMEY.

CHAPITRE X

Le REGIME des AFFLUENTS VOLTAIQUES

A - GENERALITES

Mis à part quelques ruisseaux insignifiants, les seuls affluents qui se jettent dans le NIGER Moyen en amont de NIAMEY sont au nombre de trois et proviennent du territoire de la HAUTE-VOLTA. Ce sont :

- Le GOROUOL (bassin versant de 45 000 km²).
- Le DARGOL (bassin versant de 7 000 km²).
- La SIRBA (bassin versant de 38 750 km²).

Leur réseau hydrographique est souvent très dégradé et les apports qui parviennent au NIGER ne sont pas du tout à la mesure des bassins drainés. Les régimes de ces trois cours d'eau varient du Nord au Sud ; si le DARGOL et surtout le GOROUOL peuvent être considérés comme des bassins purement sahéliens, la SIRBA subit déjà l'influence tropicale.

Cette influence tropicale s'accroît progressivement sur quelques autres affluents voltaïques qui rejoignent le NIGER en aval de NIAMEY, à savoir :

- Le GOROUBI (bassin versant de 15 500 km²)
- Le DIAMANGOU (bassin versant de 4 500 km²)
- La TAPOA (bassin versant de 5 500 km²).

Ces trois bassins ont des formes allongées et comportent des zones marécageuses plus ou moins importantes qui tendent à augmenter les pertes par évaporation, surtout dans le cas de la TAPOA.

Les données d'observations que l'on possède sur les affluents voltaïques sont encore insuffisantes pour permettre une étude précise de leur régime hydrologique. Nous nous bornerons à esquisser les grandes lignes du régime aux huit stations les mieux connues.

B - DEBITS MENSUELS

(cf. tableaux V a/ à XII a/, en annexe).

A toutes les stations hydrométriques des affluents voltaïques, sauf à celle du DARGOL à TERA, le plus fort débit mensuel se situe en Septembre, comme le montre le tableau VIII où sont portés les coefficients moyens de débits mensuels (rapport des débits moyens mensuels au module moyen). Les débits d'Août et même parfois de Juillet sont supérieurs à ceux d'Octobre sur le GOROUOL et le DARGOL, tandis qu'Octobre l'emporte souvent sur les autres affluents dont les bassins plus méridionaux ont une saison des pluies moins brève. De toute façon, que ce soit en Août et Septembre ou en Septembre et Octobre, à la plupart des stations, les trois quarts au moins des apports annuels s'écoulent en deux mois. De Décembre à Mai, l'écoulement est toujours nul ou insignifiant.

C - MODULES

Les valeurs moyennes des modules connus sont rappelées dans le tableau IX. Ces moyennes n'ont qu'une valeur indicative, surtout pour les stations où l'on a seulement quatre ou cinq années d'observations.

Les modules moyens ont des valeurs très modestes, le plus élevé étant celui de la SIRBA (27 m³/s) et le plus faible celui de la TAPOA (1m³/s). Si on totalise les modules moyens des affluents voltaïques, on obtient un débit de 50 m³/s qui ne représente pas plus de 5% du module médian du NIGER à NIAMEY. On voit donc que les affluents voltaïques ne peuvent pas avoir une influence très sensible sur le régime du NIGER. (Cette influence a déjà été étudiée indirectement au paragraphe B du Chapitre précédent).

Dans le tableau IX on a également porté les modules spécifiques moyens, qui ont des valeurs très faibles, comprises entre 0,13 et 1,4 l/s.km², comme il est normal pour des régimes sahéliens plus ou moins purs. La dégradation hydrographique des bassins se traduit par une diminution rapide des modules spécifiques avec les superficies théoriquement drainées. Ainsi, sur le GOROUOL, on a 1,15 l/s.km² à DOLBEL (bassin de 7 500 km²) et seulement 0,13 l/s.km² à ALCONGUI (bassin de 45 000 km² environ). Le module absolu diminue entre les deux stations bien que le

TABLEAU VIII

AFFLUENTS VOLTAÏQUES

COEFFICIENTS MOYENS de DEBITS MENSUELS

Station	Durée d'observation (année)	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
GOROUOL à DOLBEL (B.V : 7 500 km ²)	6	0,03	0,73	2,04	3,21	<u>5,64</u>	0,34	0,01	0	0	0	0	0
GOROUOL à ALCONGUI (B.V : 44 850 km ²)	9	0,02	0,27	0,91	3,18	<u>6,21</u>	1,13	0,19	0,05	0	0	0	0
DARGOL à TERA (B.V : 2 570 km ²)	7	0,01	0,60	1,55	<u>5,36</u>	3,92	0,46	0,03	0	0	0	0	0
DARGOL à KAKASSI (B.V : 6 940 km ²)	8	0	0,20	1,11	4,71	<u>5,63</u>	0,30	0,02	0	0	0	0	0
SIRBA à GARBE-KOUROU (B.V : 38 750 km ²)	8	0	0,11	0,48	1,58	<u>6,15</u>	3,07	0,50	0,09	0,01	0	0	0
GOROUBI à DIONGORE (B.V : 15 350 km ²)	5	0	0,35	0,69	1,26	<u>5,70</u>	3,43	0,55	0,01	0	0	0	0
DIAMANGOUE à TAMOU (B.V : 4 030 km ²)	4	0	0,23	0,60	3,67	<u>6,75</u>	0,78	0,02	0	0	0	0	0
TAPOA au W (B.V : 5 330 km ²)	4	0,07	0,13	0,96	2,73	<u>4,46</u>	3,21	0,37	0,15	0,06	0,01	0	0

TABLEAUX IX

AFFLUENTS VOLTAÏQUES

MODULES MOYENS

Station	Superficie B.V. (km ²)	Nombre d'années d'observation	Module absolu moyen (m ³ /s)	Module spécifique moyen (l/s.km ²)	Coefficient de variation	Lame d'eau annuelle moyen- ne (mm/an)
GOROUOL à DOLBEL	7 500	6	8,8	1,15	0,3	36
GOROUOL à ALCONGUI	44 850	9	5,8	0,13	0,4	4
DARGOL à TERA	2 570	7	3,6	1,4	0,75	44
DARGOL à KAKASSI	6 940	8	5,15	0,74	0,7	23
SIRBA à GARBE-KOUROU	38 750	8	27,2	0,70	0,65	22
GOROUBI à DIONGORE	15 350	5	7,75	0,50	0,65	16
DIAMANGOUE à TAMOU	4 030	4	3,6	0,90	1,2	28
TAPOA au W	5 330	4	1,0	0,19	1,15	6

GOROUOL soit rejoint par le BELI, mais ce cours d'eau, qui prend théoriquement naissance dans la région de DJIBO, n'est en fait aux plus hautes eaux qu'une succession de biefs discontinus. Quoiqu'avec moins d'ampleur, la diminution des débits spécifiques de l'amont vers l'aval s'observe sur le DARGOL entre TERA (1,4 l/s.km² pour 2 570 km²) et KAKASSI (0,74 l/s.km² pour 6 940 km²).

La SIRBA a un débit spécifique assez honorable (0,70 l/s.km²) eu égard à la superficie de son bassin (38 750 km²). Par contre, le GOROUBI, le DIAMANGOUE et la TAPOA ont des débits spécifiques relativement faibles, et même très faibles en ce qui concerne la TAPOA, compte tenu de la surface de leur bassin versant et de leur situation plus méridionale. Comme on l'a déjà indiqué, ces bassins présentent des zones marécageuses qui tendent à augmenter le déficit d'écoulement.

Dans la dernière colonne du tableau IX figurent les coefficients de variation des modules, c'est-à-dire le rapport de leur écart-type à leur valeur moyenne. Soulignons tout de suite le caractère grossièrement approximatif de ces coefficients de variation calculés sur des échantillons très restreints. Ils donnent néanmoins une idée de l'irrégularité des modules. Rappelons que les valeurs obtenues dans la Première Partie (tableau XXIX) pour les bassins du NIGER Supérieur et du BANI étaient comprises entre 0,1 et 0,325. On voit que pour les affluents voltaïques, ces valeurs sont, dans l'ensemble, largement dépassées. Le GOROUOL apparaît comme l'affluent le moins irrégulier, tandis que la TAPOA et le DIAMANGOUE seraient les plus fantasques. Mais répétons encore que sur ces deux rivières on a seulement quatre années d'observation ; il suffit que l'année 1964-1965 ait été assez exceptionnellement abondante et que sa période de retour soit nettement supérieure à 4 ans pour que les coefficients de variation calculés soient largement faussés.

Dans le cas d'une distribution gaussienne admettant une moyenne \bar{x} positive le fait que le coefficient de variation soit supérieur à 0,77 implique que le dernier décile ait une valeur négative. Il est donc difficile de supposer que les modules des affluents voltaïques obéissent à des lois de distribution rigoureusement gaussiennes. Cependant, la question se pose de savoir si ces modules peuvent devenir nuls avec une fréquence non négligeable. En fait, à aucune des huit stations, on n'a encore jamais vu le lit resté complètement à sec pendant une année entière, mais l'éventualité que le module tombe à une valeur très faible, de quelques centaines,

ou même de quelques dizaines de litres/seconde, ne doit pas être écartée et même n'est sans doute pas très exceptionnelle sur certains affluents. Dans une "Note hydrologique provisoire sur la MEKROU, la TAPOA et le GOROUBI" de février 1967, M. ROCHE a admis en première approximation que le module du GOROUBI devenait quasi-nul une fois tous les dix ans en moyenne et celui de la TAPOA une fois tous les trois ans. Il faudra attendre plusieurs années pour rajuster convenablement ces ordres de grandeur.

Les modules des années abondantes sont également assez difficiles à évaluer, bien qu'on puisse admettre avec plus de vraisemblance qu'ils obéissent à une loi gaussique. On est ainsi conduit à attribuer grossièrement aux modules décennaux humides (M_{10}) la valeur suivante :

$$M_{10} = \bar{M} (1 + 1,3 C_v)$$

(\bar{M} est le module moyen, C_v le coefficient de variation) qui correspond à une distribution gaussique. On trouve que le rapport M_{10}/\bar{M} serait, suivant les cas, compris entre 1,4 et 2,6 ; le module décennal M_{10} serait en général assez voisin du plus fort module observé, tout au moins aux stations où l'on a huit ou neuf années d'observations.

Les modules spécifiques moyens qui figurent dans le tableau IX peuvent être aisément transformés en lames d'eau annuelles que l'on fait intervenir dans l'étude classique des bilans d'écoulement. Cette étude n'offrirait pas un très grand intérêt pour les bassins voltaïques car, dans leur cas, le déficit d'écoulement absorbe la majeure partie, sinon la quasi-totalité des précipitations annuelles. Les lames d'eau écoulées ne constituent qu'un terme résiduel : leurs valeurs moyennes varient d'environ 5 mm/an (GOROUOL à ALCONGUI et TAPOA) à 45 mm/an (DARGOL à TERA), tandis que les pluviométries moyennes croissent de 450 mm/an pour le GOROUOL à 850 mm/an pour la TAPOA. Pour ces affluents de tendance sahélienne, on ne peut pas espérer obtenir des corrélations bien satisfaisantes entre les lames d'eau (ou les modules) et les pluviométries annuelles.

D - CRUES

Le tableau X récapitule les dates extrêmes, puis les plus forts et les plus faibles débits des crues annuelles observées à chaque station et enfin les débits spécifiques correspondants.

On remarque que la plupart des crues se produisent en Août et Septembre, mais qu'elles peuvent parfois survenir en Juillet ou à la fin de Juin ou encore au début d'Octobre. Les crues tendent à être un peu plus tardives lorsque la surface du bassin augmente, comme le montre la comparaison des données du GOROUOL et du DARGOL.

AFFLUENTS VOLTAÏQUES

CRUES ANNUELLES

Station	Superficie B.V. (km ²)	Nombre d'années d'observation	Dates extrêmes des crues annuelles observées		Débits de crue annuel maximal et minimal (m ³ /s)		Débits spécifiques de crue maximal et minimal (l/s.km ²)	
GOROUOL à DOLBEL	7 500	6	3 Août	10 Sept.	118	72	15,7	9,6
GOROUOL à ALONGUI	44 850	9	8 Août	22 Sept.	104	26	2,3	0,6
DARGOL à TERA	2 570	8	26 Juin	6 Sept.	(136)	7	53	2,7
DARGOL à KAKASSI	6 940	8	18 Août	15 Sept.	140	21	20	3,0
SIRBA à GARBE-KOUROU	38 750	8	2 Août	3 Oct.	525	46	13,5	1,2
GOROUBI à DIONGORE	15 350	5	2 Juil.	10 Oct.	150	18	9,8	1,2
DIAMANGOU à TAMOU	4 030	5	19 Août	21 Sept.	85	15	21	3,7
TAPOA au W	5 330	4	12 Juil.	29 Sept.	24	2,85	4,5	0,5

Les plus fortes crues observées aux différentes stations s'échelonnent entre 24 et 525 m³/s, la première valeur se rapportant à la TAPOA et la seconde à la SIRBA. Les plus faibles crues sont comprises entre 2,85 et 72 m³/s ; la première valeur est encore relative à la TAPOA, tandis que la seconde a été observée sur le GOROUOL à DOLBEL, qui montre là aussi une certaine pondération, l'écart entre ses crues extrêmes étant relativement peu élevé.

Si l'on considère maintenant les débits spécifiques, c'est le DARGOL à TERA qui se classe en tête pour les plus fortes crues annuelles observées, avec 53 l/s.km². Le DIAMANGOUE et le DARGOL à KAKASSI viennent ensuite avec environ 20 l/s.km². Le GOROUOL à ALCONGUI arrive au dernier rang avec un débit spécifique de 2,3 l/s.km² seulement qui s'explique par la dégradation hydrographique poussée des régions traversées par le BELI.

Pour les plus faibles crues observées, c'est le GOROUOL à DOLBEL qui vient en tête avec 9,6 l/s.km² et le GOROUOL à ALCONGUI qui arrive en dernier lieu, accompagné de la TAPOA, avec environ 0,5 l/s.km².

Les échantillons des crues connues sont trop restreints pour que l'on puisse en faire une étude statistique convenable. On peut estimer en première approximation que pour les stations où l'on dispose de huit ou neuf années de relevés, la crue décennale est voisine du plus fort débit observé. Ceci paraît également valable pour la station de DOLBEL dont les crues ne sont pas indépendantes de celles d'ALCONGUI. Quant au GOROUBI et à la TAPOA, si l'on se réfère à la note provisoire de M. ROCHE déjà citée au paragraphe C, leur crue décennale serait aussi très voisine du plus fort débit observé (M. ROCHE a utilisé des régressions hydropluviométriques qui restent encore assez incertaines, comme il ne manque pas de le souligner lui-même).

E - ETIAGES

Tous les affluents voltaïques ont un étiage rigoureusement nul qui dure plusieurs mois de l'année. A l'achèvement de la saison des pluies, c'est-à-dire vers la fin de Septembre, on observe une période de tarissement qui se prolonge au moins jusqu'au 10 Octobre et le plus souvent jusqu'en Novembre ou Décembre, exceptionnellement jusqu'en Février ou au début de Mars. Le débit devient alors nul et le lit reste complètement à sec jusqu'en Mai ou Juin, parfois jusqu'en Juillet ou même jusqu'à la mi-Août.

Le tableau XI récapitule les dates extrêmes du début et de la fin de la période annuelle sans écoulement. On notera que le début de l'étiage nul tend à être un peu plus tardif sur les grands bassins que sur les petits, comme le montre particulièrement la comparaison des dates relatives au DARGOL et au GOROUOL. D'autres facteurs interviennent dans la durée du tarissement, au premier rang desquels on doit mettre l'extension des zones inondées en fin de saison des pluies. Ce facteur est très vraisemblablement responsable de l'assèchement très tardif du lit de la TAPOA.

La fin de la période sans écoulement n'est pas toujours très nette. On a observé parfois en Mai aux stations du GOROUOL un écoulement temporaire n'excédant pas trois semaines suivi d'un nouvel assèchement du lit. Dans le tableau XI, on a considéré comme fin de la période sans écoulement la date de la reprise définitive d'un écoulement continu pendant la saison des pluies. Cette date semble en général un peu plus tardive pour les grands bassins, mais elle obéit à des règles moins nettes que celle du début de l'étiage nul.

TABLEAU XI

ETIAGE des AFFLUENTS VOLTAÏQUES

Station	Superficie B.V. (km ²)	Période sans écoulement			
		Début		Fin	
		Dates extrêmes		Dates extrêmes	
GOROUOL à DOLBEL	7 500	20 Octobre	23 Novembre	2 Juin	9 Juin
GOROUOL à ALCONGUI	44 850	1 Décembre	5 Février	7 Mai	5 Juillet
DARGOL à TERA	2 570	10 Octobre	20 Novembre	(Mai)	15 Juillet
DARGOL à KAKASSI	6 940	29 Octobre	Fin Novembre	10 Juin	Mi-Août
SIRBA à GARBE-KOUROU	38 750	25 Novembre	29 Janvier	29 Mai	24 Juin
GOROUBI à DIONGORE	15 350	Mi-Novembre	17 Décembre	Fin Mai	Début Juin
DIAMANGOUE à TAMOU	4 030	19 Octobre	23 Novembre	4 Juin	26 Juin
TAPOA au W	5 330	Fin Décembre	Début Mars	9 Mai	10 Juillet

C H A P I T R E X I

LE REGIME DES AFFLUENTS DAHOMEYENS

A - GENERALITES

Avant de pénétrer sur le territoire du NIGERIA, le lit du NIGER constitue sur 130 km la frontière entre la République du NIGER et le DAHOMEY.

Sur cette partie de son cours le fleuve ne reçoit en rive gauche aucun affluent, si ce n'est quelques "marigots" dont les apports sont très intermittents et ne dépassent pas en crue quelques mètres-cubes/secondes *. Par contre, sur sa rive droite il reçoit trois affluents assez importants qui coulent entièrement sur le territoire du DAHOMEY. Ce sont :

- la MEKROU (bassin versant de 10 500 km²)
- l'ALIBORI (bassin versant de 13 700 km²)
- et la SOTA (bassin versant de 13 500 km²)

Ces rivières ont un régime de type tropical assez pur et, contrairement aux affluents voltaïques, leurs apports sont assez importants pour modifier de façon sensible le régime du NIGER, comme on le verra au chapitre suivant. Leurs bassins sont orientés dans une direction générale SSW - NNE et sont soumis à une pluviométrie qui décroît de l'amont vers l'aval entre 1 300 et 850 mm environ. Le relief est dans l'ensemble peu accentué sauf sur le bassin supérieur de la SOTA et surtout celui de la MEKROU qui longe le flanc oriental de la chaîne de l'ATACORA. La végétation est dans l'ensemble constituée par de la savane boisée.

* Le ruissellement du marigot de BANIGOROU et du dallol YOLDE a été suivi par l'ORSTOM en 1960 et 1961 dans le cadre de l'étude de l'aménagement hydro-agricole de la cuvette du KOULOU (cf rapports ORSTOM "Etude hydrologique des tributaires de la Cuvette de KOULOU").

Il existe une station hydrométrique sur chacune des trois rivières. Celle de la MEKROU a été installée en 1961 seulement, ce qui donne une période d'observations encore très courte ; celles de l'ALIBORI et de la SOTA sont en service depuis 1952 ou 1953 et permettent de dégager des caractéristiques un peu plus sûres.

B - DEBITS MENSUELS (cf. tableaux XIII a/ à XV a/, en annexe)

Les coefficients moyens de débits mensuels portés dans le tableau XII ci-après montrent que Septembre est le mois le plus abondant sur les trois rivières. Les hautes eaux sont brèves, puisque les trois mois d'Août, Septembre et Octobre se partagent de 80 à 90 % de l'écoulement annuel. Si l'on ajoute Juillet et Novembre, on obtient un total de 97 % pour la MEKROU et l'ALIBORI. La SOTA a un régime un peu moins irrégulier et se caractérise par le fait que, contrairement à tous les autres affluents du NIGER moyen, son débit ne s'annule jamais totalement. La MEKROU et, sauf exception, l'ALIBORI s'assèchent, eux, régulièrement tous les ans de Janvier-Février à Mai-Juin.

C - MODULES

Les modules moyens des affluents dahoméens, qui ont été rappelés dans le tableau XIII, sont de l'ordre de 30 à 40 m³/s et totalisent un débit d'environ 115 m³/s, au lieu de 50 m³/s pour l'ensemble des affluents voltaïques. Encore doit-on noter que la station de l'ALIBORI ne contrôle que 60 % de la superficie du bassin total ; les 40 % restants sont, il est vrai, moins arrosés et n'apportent vraisemblablement pas plus de 5 m³/s au NIGER.

Les modules spécifiques, qui figurent également dans le tableau XIII, sont compris entre 3 et 5 l/s.km², valeurs que l'on peut considérer comme normales pour des régimes de type tropical pur et qui dépassent très largement celles des affluents voltaïques. Le module spécifique moyen de l'ALIBORI est plus élevé que celui de la MEKROU et de la SOTA : cela tient essentiellement au fait que la station hydrométrique ne contrôle pas la totalité du bassin.

Les coefficients de variation sont compris entre 0,4 et 0,5, valeurs encore élevées mais sensiblement plus faibles que celles des affluents voltaïques. Pour l'ALIBORI et la SOTA, ces coefficients calculés sur une quinzaine d'années ont des valeurs assez sûres et permettent de déterminer approximativement les modules en années décentes sèche et humide, en supposant une loi de distribution normale. On obtient les résultats suivants :

TABLEAU XII

AFFLUENTS DAHOMEYENS

Coefficients moyens de débits mensuels

Stations	Durée d'observa- tions (années)	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.
MEKROU à BAROU (B.V. : 10 500 km ²)	5	0	0,12	0,54	1,96	<u>5,65</u>	2,85	0,67	0,17	0,04	0	0	0
ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA (B.V. : 8 150 km ²)	15	0,12	0,16	0,70	3,15	<u>5,77</u>	1,89	0,13	0,03	0,01	0	0	0
SOTA à COUBERI (B.V. : 13 400 km ²)	13	0,15	0,28	0,56	2,26	<u>4,90</u>	2,61	0,54	0,20	0,16	0,14	0,13	0,12

TABLEAU XIII

AFFLUENTS DAHOMEYENSModules moyens

STATION	Superficie B.V. (km ²)	Nombre d'années d'observa- tion	Module absolu moyen (m ³ /s)	Module spécifique moyen (l/s.km ²)	Coefficient de variation	Lame d'eau annuelle moyenne (mm/an)
MEKROU à BAROU	10 500	5	32,5	3,1	0,4	100
ALIBORI à la route KANDI--BANIKOARA	8 150	15	39,7	4,9	0,5	155
SOTA à COUBERI	13 400	13	41,4	3,1	0,5	100

	ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA	SOTA à COUBERI
- Module médian	39,5 m ³ /s	41,5 m ³ /s
- Ecart-type des modules	20 "	21,5 "
- Module décennal sec	13,5 "	13,5 "
- Module décennal humide	65 "	70 "

On notera que le module décennal humide ainsi calculé a été dépassé trois fois sur l'ALIBORI et deux fois sur la SOTA pendant la période d'observations, ce qui laisse supposer que les valeurs obtenues sont un peu sous-estimées. Par contre, le module de 1958-59 a été aux deux stations nettement inférieur au module décennal sec donné ci-dessus ; mais cette année a été d'une sécheresse assez exceptionnelle et il est vraisemblable que sa période moyenne de retour est supérieure à dix ans.

En ce qui concerne la MEKROU, M. ROCHE, dans une note provisoire déjà citée au chapitre précédent, a essayé d'établir des régressions hydropluviométriques et d'en déduire la loi de distribution des modules. Il a constaté qu'il existait une corrélation linéaire apparemment satisfaisante entre les modules de la MEKROU et les valeurs d'un indice pluviométrique annuel. (Nous disons "apparemment", car cette corrélation n'est basée que sur cinq points). L'indice pluviométrique, moyenne pondérée des précipitations annuelles, de KANDI, NATTINGOU et BIMBEREKE peut être calculé sur 45 ans (de 1922 à 1966 inclus) et obéit assez bien à une loi de distribution gaussique. On en déduit la valeur moyenne des modules de la MEKROU et on en conclut que ces modules suivent également une loi de GAUSS. En admettant prudemment un coefficient de variation de 0,5 (au lieu de 0,4, valeur donnée par le calcul), on parvient aux résultats suivants :

- Module médian de la MEKROU = 32,5 m³/s
- Module décennal sec = 12 "
- Module décennal humide = 53 "

Les lames d'eau écoulées, qui figurent dans la dernière colonne du tableau XIII, permettent d'établir le bilan d'écoulement en année moyenne, compte tenu des précipitations que reçoit chacun des bassins :

Bassin versant	Pluviométrie en année moyenne (mm/an)	Lame d'eau écoulée (mm/an)	Déficit d'écoulement moyen (mm/an)
MEKROU à BAROU	1 050	100	950
ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA	1 180	155	1 025
SOTA à COUBERI	1 120	100	1 020

Le déficit d'écoulement varie assez sensiblement d'une année à l'autre et tend à augmenter avec la pluviométrie comme le montrent les exemples donnés ci-après qui se rapportent à une année très sèche et à une année très humide :

Bassin Versant	Année	Pluio- métrie (mm/an)	Lame d'eau écoulée (mm/an)	Déficit d'écoulement (mm/an)
ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA	1955	1 460	275	1 185
	1958	870	25	845
SOTA à COUBERI	1957	1 450	175	1 275
	1958	900	30	870

La relation entre la pluviométrie et le déficit ou la lame d'eau écoulée n'est pas très serrée. Ainsi, sur le bassin de la SOTA, avec une même pluviométrie de 1 385 mm observée en 1953 et en 1955, le calcul donne respectivement pour ces deux années un déficit de 1 260 et 1 180 mm et une lame d'eau de 125 à 205 mm. La répartition des précipitations, qui peuvent être bien groupées ou au contraire largement étalées sur plusieurs mois, joue un rôle non négligeable dans le bilan d'écoulement annuel.

D - CRUES

On remarque sur le tableau XIV que les crues annuelles se produisent presque toujours en Septembre, sinon au plus tôt dans la deuxième quinzaine d'Août et au plus tard dans la première décade d'Octobre.

Les plus fortes crues observées aux trois stations sont comprises entre 405 et 685 m³/s. Les débits spécifiques correspondants sont pour la MEKROU et la SOTA voisins de 35 ou 40 l/s.km², valeurs plutôt faibles pour des rivières de régime tropical. Les débits spécifiques de crue de l'ALIBORI peuvent au contraire, être assez forts et approcher de 85 l/s.km². La station hydrométrique ne contrôlant que la moitié supérieure du bassin, l'amortissement des crues y est moins sensible qu'aux deux autres stations.

Dans sa "Note hydrologique provisoire sur la MEKROU, la TAPOA et le GOROUBI", M. ROCHE a essayé d'utiliser une double corrélation entre le débit de crue annuelle et deux indices pluviométriques. Le premier, destiné à caractériser l'humidification préalable du sol, est constitué par une moyenne pondérée des précipitations totales tombées de Janvier à Août aux stations de NATTITINGOU, KANDI et BIMBEREKE. Le second est une moyenne pondérée des précipitations tombées aux trois mêmes stations pendant le mois de Septembre ; il tend à caractériser la hauteur des pluies dont le ruissellement a été la cause directe de la crue annuelle. M. ROCHE obtient une double corrélation qui apparaît excellente (malheureusement établie avec cinq points seulement) et qui lui permet de calculer les maximums annuels sur une période de 45 ans. La courbe de distribution statistique, qui peut être tracée sur un graphique gaussolinéaire est assez régulière tout en présentant une nette concavité vers le haut. Il ressort de cette courbe que la crue décennale est voisine de 370 m³/s, tandis que la crue centenaire serait de l'ordre de 550 m³/s.

Le tableau XV et le graphique 124 résument l'étude statistique des crues annuelles de l'ALIBORI et de la SOTA dont les échantillons sont moins restreints que celui de la MEKROU. La distribution des crues de l'ALIBORI apparaît assez régulière et peut s'ajuster convenablement à une droite de GAUSS, sauf peut-être pour les fréquences rares. Les crues de la SOTA ont une distribution plus tortueuse dont on ne s'explique pas clairement la raison. Les crues décennales, assez sûres, sont respectivement voisines de 600 et 450 m³/s, tandis que les crues centenaires seraient comprises entre 775 et 900 m³/s pour l'ALIBORI et entre 650 et 750 m³/s pour la SOTA.

TABLEAU XIV

AFFLUENTS DAHOMEYENS

Crues annuelles

Station	Superficie B.V. (km ²)	Nombre d'années d'observ	Dates extrêmes des crues annuel- les observées		Débit de crues annuelle maximal et minimal (m ³ /s)		Débit spécifique de crue maximal et minimal (l/s.km ²)	
MEKROU à BAROU	10 500	6	Début Sept.	28 Sept.	405	190	38,6	18,1
ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA	8 150	15	19 Août	26 Sept.	685	145	84,0	17,8
SOTA à COUBERI	13 400	14	4 Sept.	9 Oct.	480	45	35,8	3,4

TABLEAU XV

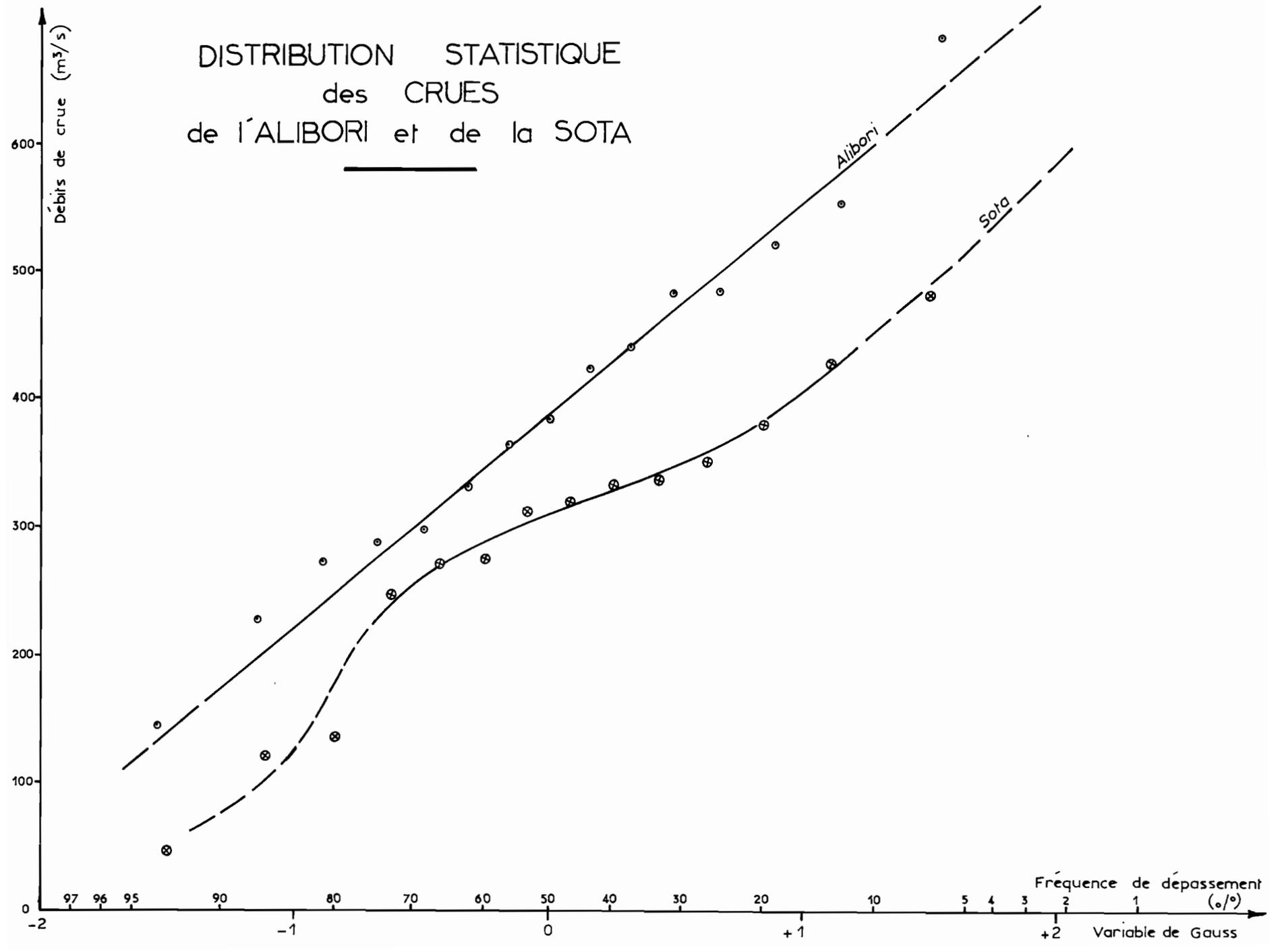
AFFLUENTS DAHOMEYENSEtude statistique des crues

Rang de classement n	ALIBORI			SOTA		
	Crues annuelles (m ³ /s)	Fréquences de dépassement (F)	Variable de GAUSS μ	Crues annuelles (m ³ /s)	Fréquences de dépassement (F)	Variable de GAUSS u
1	685	6,2	+ 1,54	481	6,7	+ 1,50
2	553	12,5	+ 1,15	428	13,3	+ 1,11
3	521	18,7	+ 0,89	381	20	+ 0,84
4	485	25	+ 0,67	351	26,7	+ 0,62
5	482	31,3	+ 0,49	336	33,3	+ 0,43
6	440	37,5	+ 0,32	333	40	+ 0,25
7	424	43,8	+ 0,16	319	46,7	+ 0,08
8	384	50	0,00	312	53,3	- 0,08
9	363	56,2	- 0,16	274	60	- 0,25
10	331	62,5	- 0,32	271	66,7	- 0,43
11	298	68,7	- 0,49	247	73,3	- 0,62
12	287	75	- 0,67	135	80	- 0,84
13	271	81,3	- 0,89	119	86,7	- 1,11
14	228	87,5	- 1,15	45	93,3	- 1,50
15	145	93,8	- 1,54	-	-	-

$$M F = \frac{n}{N + 1} \quad , \quad \text{soit} \quad \frac{n}{16} \quad \text{pour l' ALIBORI}$$

$$\text{et} \quad \frac{n}{15} \quad \text{pour la SOTA.}$$

DISTRIBUTION STATISTIQUE des CRUES de l'ALIBORI et de la SOTA



Le tableau ci-dessous récapitule les débits de crue des affluents dahoméens :

Affluent	Superficie du bassin versant (km ²)	Crue décennale		Crue centenaire	
		Débit absolu (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s.km ²)	Débit absolu (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s.km ²)
MEKROU à BAROU	10 500	370	35	(550)	(52,5)
ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA	8 150	600	74	775 à 900	95 à 110
SOTA à COUBERI	13 400	450	34	650 à 750	48 à 56

Les débits spécifiques ont à peu près les mêmes valeurs pour la MEKROU et la SOTA tandis qu'ils sont nettement plus élevés pour l'ALIBORI, comme on pouvait s'y attendre du fait que la station hydro-métrique ne contrôle que la partie supérieure du bassin.

E - ETIAGES

La MEKROU et l'ALIBORI ont tous les ans un étiage rigoureusement nul. La période pendant laquelle le lit s'assèche complètement s'étend, en moyenne, de Février à Juin pour la MEKROU et de Février à Mai pour l'ALIBORI. D'une année à l'autre on relève cependant des écarts notables entre les dates du début et de la fin de la période sans écoulement.

Seul de tous les affluents du NIGER Moyen, la SOTA ne tarit jamais tout à fait. Son étiage absolu survient en Avril ou Mai et dure rarement plus d'une dizaine de jours avec un débit généralement compris entre 3 et 6 m³/s. Ces valeurs sont relativement élevées pour un régime de type tropical pur et laissent supposer que la capacité de rétention du bassin est assez importante. On peut toutefois se demander si les relevés limnimétriques de basses eaux sont vraiment sûrs. Il est certain en tout cas que le débit peut parfois descendre au-dessous de 1 m³/s, comme l'ont montré des jaugeages d'étiages effectués en 1953 et 1966.

C H A P I T R E X I I

Le REGIME du NIGER à MALANVILLE

A - GENERALITES

Alors que l'influence des affluents voltaïques sur le régime du NIGER à NIAMEY peut être considérée comme tout à fait secondaire, celle des affluents dahoméens est au contraire très sensible à MALANVILLE. Cette influence se fait sentir jusque dans le tracé de la courbe d'étalonnage : les apports locaux sont suffisants pour modifier sérieusement la pente superficielle du NIGER, créant une forte dispersion des points de mesure et rendant la traduction des hauteurs d'eau en débits beaucoup moins précise à MALANVILLE qu'à NIAMEY.

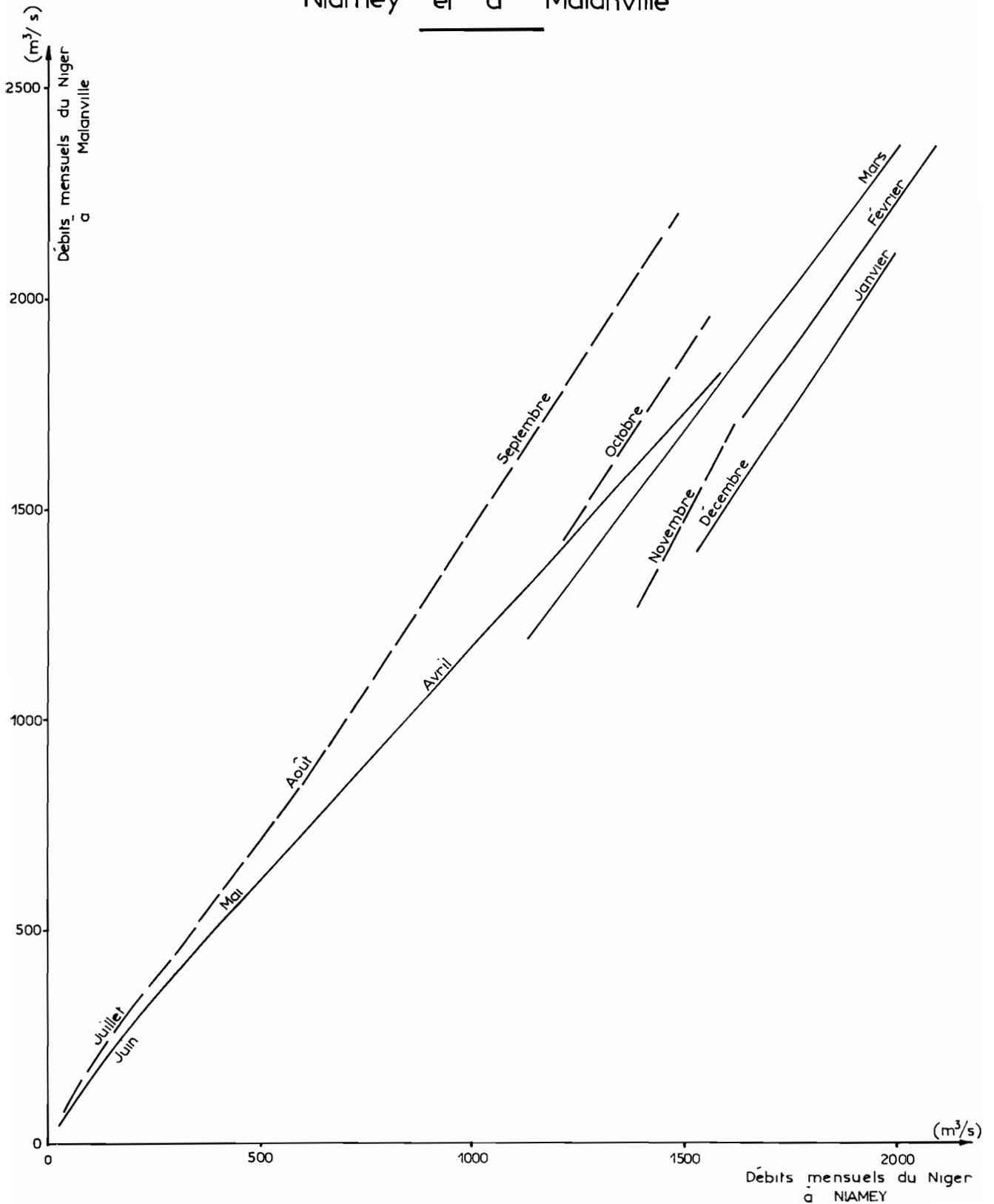
B - DEBITS MENSUELS (cf tableau IV a/ en annexe)

L'hydrogramme annuel, tel qu'il ressort des débits mensuels, présente une première crue qui s'étend d'Août à Novembre et qui se greffe en quelque sorte sur la crue plus ample que l'on observe sur tout le cours du NIGER Moyen. La première, dite "crue locale" parce que provoquée par les affluents voltaïques et dahoméens étudiés aux chapitres précédents, culmine généralement en Septembre ou parfois en Octobre ; elle présente quelques irrégularités et des montées assez brusques, à l'inverse de la crue "maliennne" qui, dans son long périple depuis le bassin supérieur du NIGER, a pris les caractères d'une onde très amortie, comme on l'a déjà vu au chapitre IX. La crue maliennne a son maximum généralement en Février, parfois en Mars. La décroissance des débits est plus rapide de Mars à Juin que ne l'est la montée de Décembre à Février. En Novembre on a un creux plus ou moins marqué entre les deux crues. Le plus faible débit mensuel s'observe en Juin ou en Juillet.

On a essayé d'établir des corrélations entre les débits mensuels de MALANVILLE et ceux de NIAMEY. Les corrélations sont dans l'ensemble assez étroites, sauf pour les mois de Juillet à Octobre inclus ; elles peuvent être généralement assimilées à des droites qui ont été représentées sur le graphique 125.

Pendant la crue locale on s'explique que les corrélations soient lâches et que les débits de MALANVILLE soient supérieurs à ceux de NIAMEY, surtout pendant le mois de Septembre. En Novembre

CORRELATION entre les débits mensuels du NIGER à Niamey et à Malanville



et Décembre, les débits de MALANVILLE sont, au contraire, légèrement inférieurs à ceux de NIAMEY, ce qui n'a rien de surprenant compte tenu du temps de propagation de la crue malienne entre les deux stations. On peut plutôt s'étonner que la différence ne soit pas plus forte et que dès Janvier les débits de MALANVILLE deviennent supérieurs à ceux de NIAMEY, alors que la crue malienne ne culmine qu'en Février et que les apports voltaïques et dahoméens sont nuls ou infimes à cette époque de l'année. Il faut sans doute en chercher la raison dans l'imprécision de l'étalonnage de MALANVILLE, car il n'est guère vraisemblable que les débits du fleuve soient gonflés de façon appréciable par des apports d'origine souterraine.

C - MODULES

Il existe une corrélation assez étroite entre les modules de MALANVILLE et de NIAMEY, comme le montre le graphique 126. La corrélation est toutefois un peu moins étroite que celles trouvées précédemment entre les modules de TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY. En appelant :

M_M le module à MALANVILLE et

M_N le module de NIAMEY

le calcul donne :

$$\overline{M}_M = 1\ 275\ m^3/s$$

$$\sigma_M = 175\ m^3/s$$

$$\overline{M}_N = 1\ 120\ m^3/s$$

$$\sigma_N = 130\ m^3/s$$

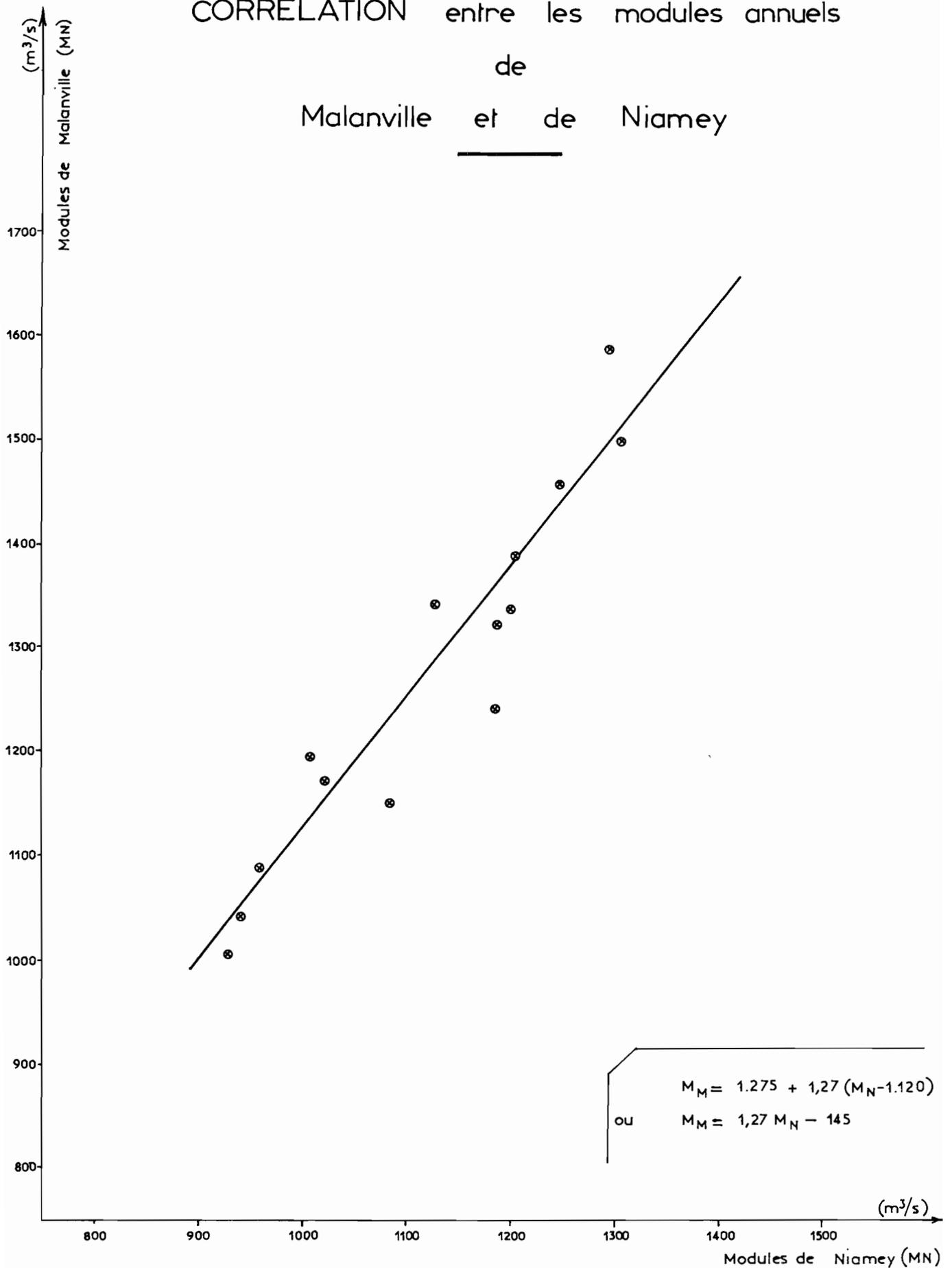
$$r = 0,95$$

Les quatorze années communes d'observations conduisent ainsi à l'équation de régression :

$$M_M = 1,27\ M_N - 145$$

Celle-ci permet, à partir de l'étude statistique des modules de NIAMEY basée sur 32 ans (chapitre IX), de déterminer les valeurs suivantes pour MALANVILLE :

CORRELATION entre les modules annuels
de
Malanville et de Niamey



- Module médian (F = 50 %)	=	1 150 m ³ /s
- Module décennal sec (F = 90 %)	=	795 "
- Module décennal humide (F = 10 %)	=	1 480 "
- Coefficient d'irrégularité interannuelle	=	1,86 "

On remarque qu'entre les modules médians de MALANVILLE et de NIAMEY, il y a un écart de 130 m³/s qui correspond à environ 15 m³/s près à l'évaporation du bief NIAMEY-MALANVILLE (15 m³/s environ) et au total des apports des affluents voltaïques et dahoméyens, tels qu'on peut les évaluer en année moyenne d'après les données des chapitres X et XI :

- GOROUBI	=	8	m ³ /s	- MEKROU	=	32,5	m ³ /s
- DIAMANGOU	=	3,5	"	- ALIBORI	=	42,5	"
- TAPOA	=	1	"	- COUBERI	=	41,5	"
				Total = 129 m ³ /s			

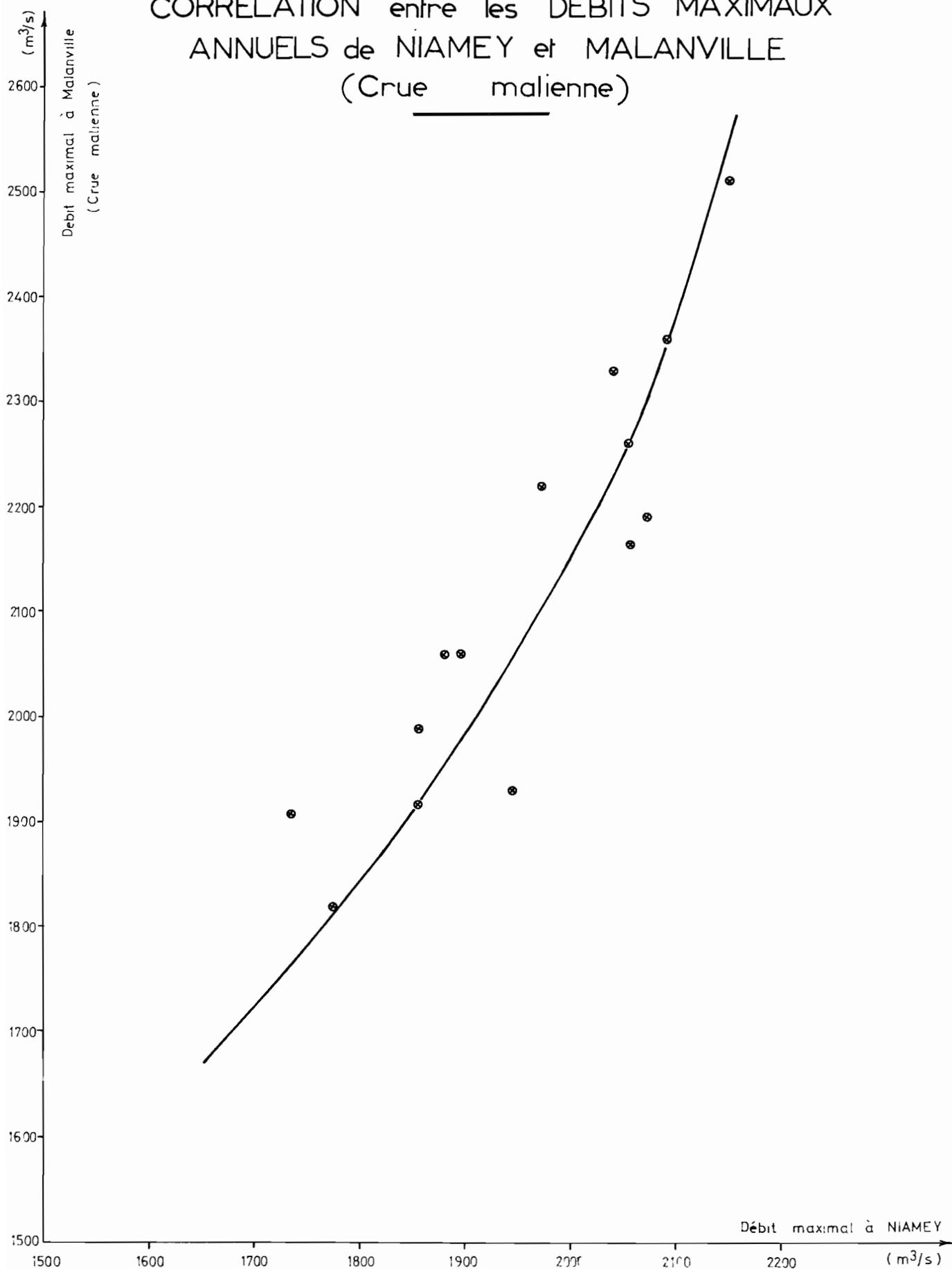
Les écarts de 55 et 200 m³/s, que l'on observe respectivement en année décennale sèche et humide, paraissent également compatibles avec les données hydrologiques que l'on possède sur les affluents voltaïques et dahoméyens. L'imprécision de l'étalonnage de MALANVILLE n'a donc pas de conséquences très sensibles à l'échelle de l'année, alors qu'à l'échelle du mois on a soupçonné qu'elle avait une influence notable.

D - CRUES

Nous avons déjà vu que sur l'hydrogramme annuel de MALANVILLE on pouvait nettement distinguer deux intumescences que l'on a appelées "crue locale" et "crue malienne". On trouvera en annexe (tableau IV-c) les valeurs des débits maximaux de chacune de ces deux crues pour les années 1953 à 1966.

Les débits maximaux de la crue malienne sont en corrélation assez étroite avec les débits maximaux de NIAMEY (voir graphique n°127). La corrélation est toutefois moins étroite qu'on pourrait le penser à priori, étant donné que les apports des affluents voltaïques sont pratiquement nuls et que ceux des affluents dahoméyens ne dépassent pas quelques mètres cubes par seconde au moment du maximum malien, c'est-à-dire vers Février. On est également surpris de constater que les débits maximaux de MALANVILLE dépassent presque toujours largement

CORRELATION entre les DEBITES MAXIMAUX ANNUELS de NIAMEY et MALANVILLE (Crue malienne)



ceux de NIAMEY, la différence atteignant parfois 200 m³/s, voire 300 m³/s. Il faut très probablement voir là, à nouveau, un effet de l'imprécision des étalonnages de NIAMEY et surtout de MALANVILLE. Cette imprécision paraît croître rapidement avec les débits de crue : d'environ 5 % pour 2 000 m³/s, elle serait voisine de 10 % pour 2 300 m³/s.

L'échantillon des crues maliennes de MALANVILLE est trop court (14 années) pour que l'on puisse étudier convenablement la distribution statistique des débits maximaux, d'autant plus que cet échantillon, si on le compare à celui de NIAMEY (42 années), paraît correspondre à une période de "vaches grasses" et ne semble donc pas bien représentatif. Pour déterminer les débits maximaux de diverses fréquences, on peut se baser sur les débits correspondants de NIAMEY et utiliser la corrélation du graphique n° 126. On aboutit ainsi aux résultats que voici :

- Crue malienne médiane	=	1 925	m ³ /s
- Crue malienne décennale	=	2 300	"
- Crue malienne centenaire	=	2 550	"

L'échantillon des 14 crues maliennes connues conduit, lui, aux valeurs suivantes :

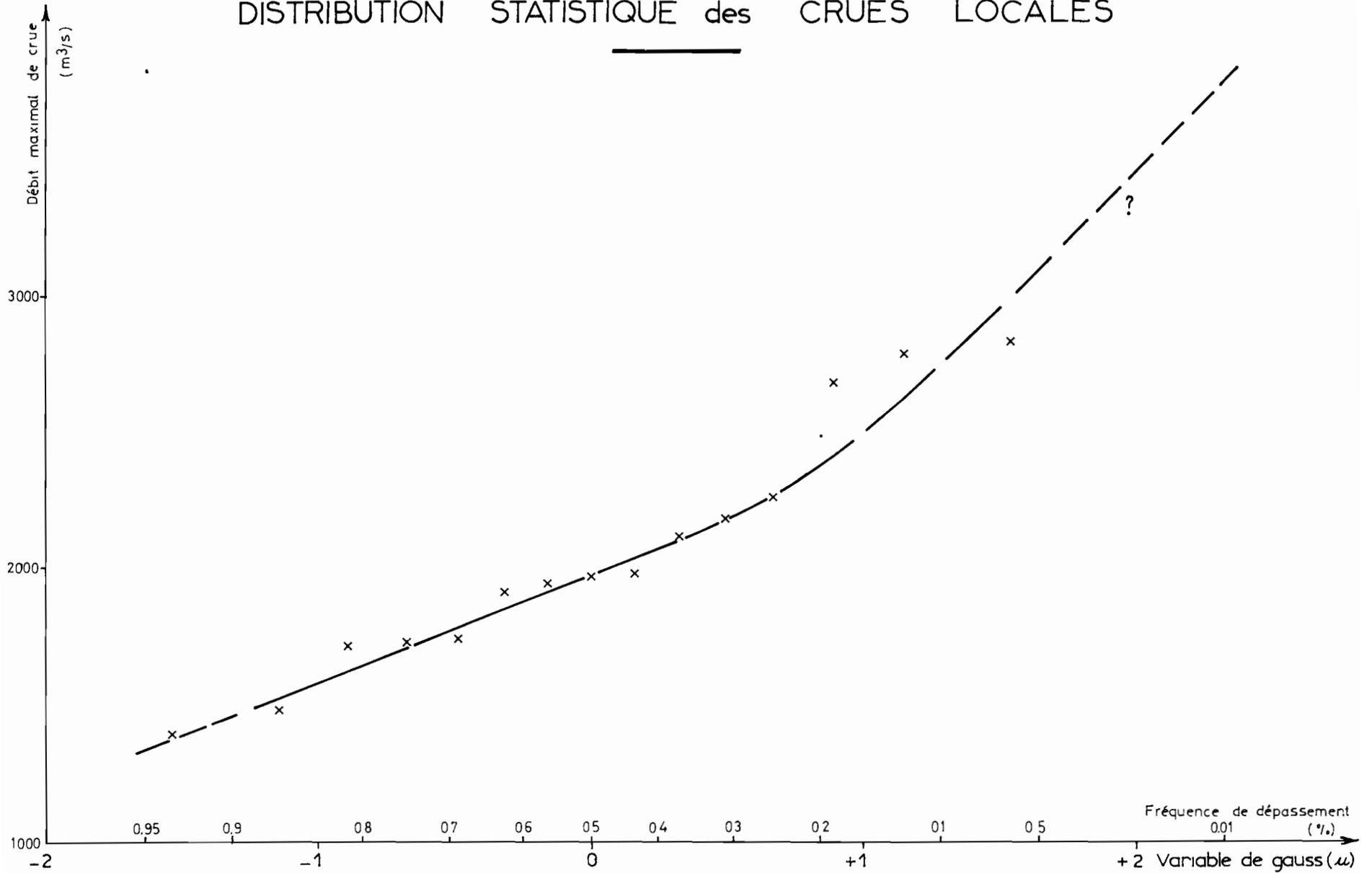
- Crue médiane	=	2 000	m ³ /s
- Crue moyenne	=	2 120	"
- Ecart-type	=	202	"

De toutes façons, ces diverses évaluations ont une précision assez médiocre. On voit mal pourquoi les débits maximaux de MALANVILLE sont supérieurs à ceux de NIAMEY, alors qu'on s'attendrait à une légère atténuation de la crue malienne entre les deux stations.

La crue locale, qui est formée par l'arrivée des hautes eaux des affluents voltaïques et surtout dahoméens, culmine presque toujours en Septembre, sinon en Octobre. A cette époque de l'année les débits du fleuve à NIAMEY sont en progression régulière depuis un mois ou deux et représentent souvent plus de la moitié du débit maximal de la crue locale à MALANVILLE. Cette crue a donc, en fait, une origine composite. En année moyenne on peut admettre en gros que les apports des affluents locaux proviennent pour un tiers de HAUTE-VOLTA et pour deux tiers du DAHOMEY.

LE NIGER à MALANVILLE

DISTRIBUTION STATISTIQUE des CRUES LOCALES



L'étalonnage de la station de MALANVILLE n'est pas meilleur, au contraire, pour la crue dahoméenne que pour la crue malienne, car les variations de pente sont alors plus brusques et plus capricieuses.

L'échantillon des 15 crues locales observées (1952-66) conduit aux valeurs suivantes :

- Crue moyenne	=	2 050	m ³ /s
- Ecart-type	=	438	"

On voit immédiatement que les crues locales ont un maximum moyen très voisin de celui des crues maliennes, mais que leur dispersion est beaucoup plus grande (écart-type de 438 au lieu de 202 m³/s), ce qui s'explique par leur amortissement beaucoup plus faible.

La courbe de fréquence des crues locales, telle qu'elle est figurée sur le graphique n° 128 avec des coordonnées gaussiques et linéaires, peut être très convenablement assimilée à une droite pour les crues faibles et moyennes mais non pour les 3 plus forts débits observés. L'échantillon est trop petit pour que l'on puisse en tirer des conclusions nettes ; il est possible qu'il ne soit pas bien représentatif de la "population" des crues locales. Il semble toutefois que la courbe de fréquence s'incurve vers le haut pour les fortes crues ce qui rend délicate la détermination des crues rares. On pourra retenir les valeurs suivantes :

- Crue locale médiane	=	1 975	m ³ /s
- Crue locale décennale	=	2 800	"
- Crue locale centenaire	=	3 800	" (?)

Les crues locales de fréquence décennale et surtout centenaire sont largement supérieures aux crues maliennes de même fréquence.

E - ETIAGES

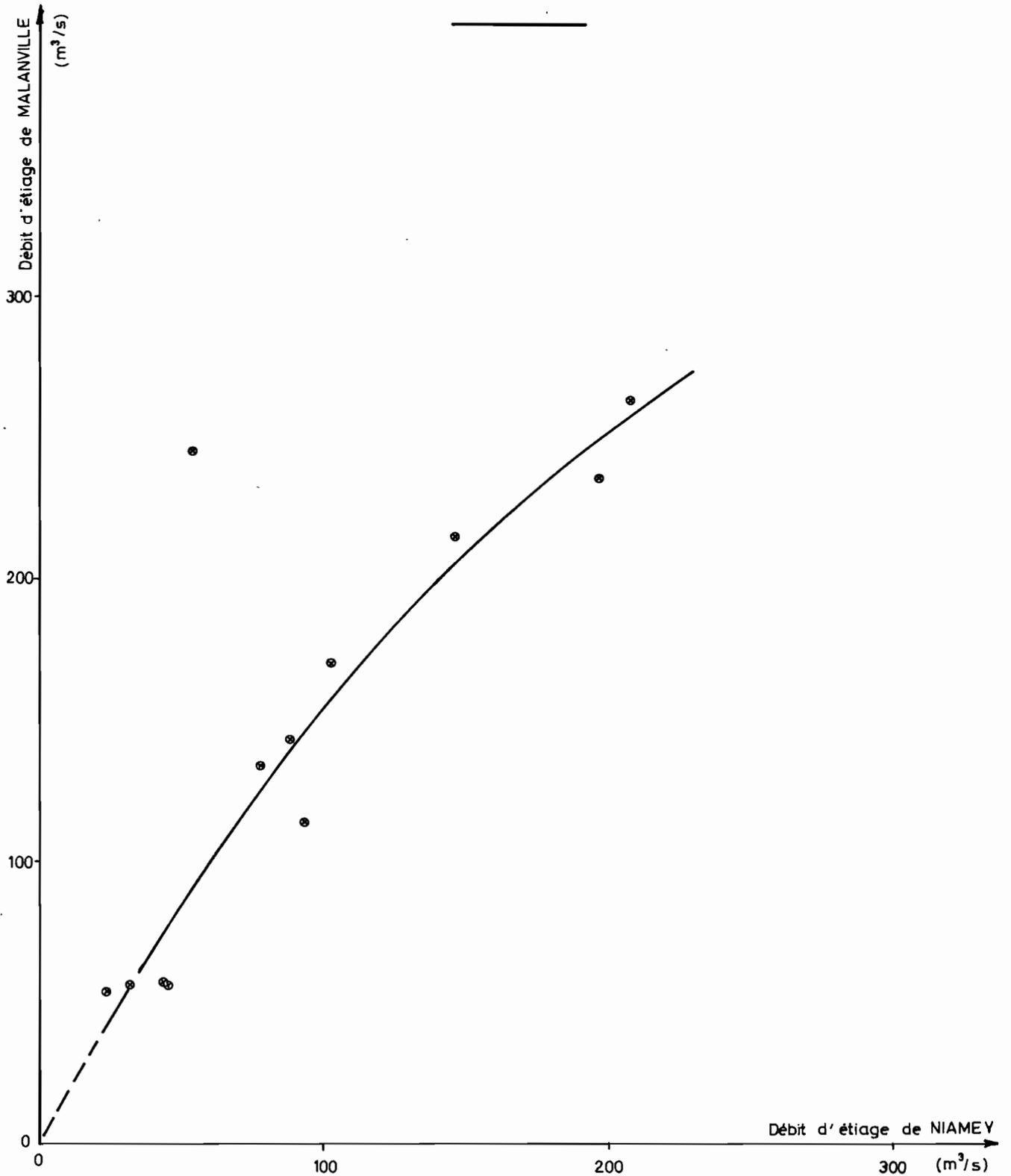
Après le maximum de la crue malienne on observe chaque année à MALANVILLE, d'Avril à Juin ou Juillet, une diminution progressive des débits analogue à celle relevée aux autres stations du NIGER Moyen. La courbe de décrue varie assez sensiblement d'une année à l'autre et n'est jamais complètement assimilable à une exponentielle pure et simple.

D'une façon générale, on peut dire que jusqu'à 1 500 m³/s la décroissance des débits est relativement lente avec un coefficient de tarissement de l'ordre de 0,01. Au-dessous de 1 500 m³/s la diminution des débits s'accélère et suit pendant plusieurs semaines, voire pendant deux mois, une loi exponentielle dont le coefficient de tarissement varie suivant les années entre 0,025 et 0,035. A partir du mois de Juin la décroissance devient plus ou moins influencée par la reprise de l'écoulement sur les affluents voltaïques et dahoméens ; elle tend à se ralentir et devient souvent moins régulière.

L'étiage absolu du NIGER à MALANVILLE se produit une année sur deux dans la première quinzaine de Juillet. Les dates extrêmes des minimums observés sont le 13 Juin et le 25 Juillet. A cette époque de l'année les apports totaux des affluents voltaïques et dahoméens, tombés à quelques mètres cubes par seconde en Avril, ont recommencé à croître et atteignent généralement plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde. Après une période pluvieuse, ils peuvent même dépasser 100 ou 200 m³/s. On s'explique ainsi que les étiages absolus de MALANVILLE soient toujours supérieurs à ceux de NIAMEY. Le graphique 129 montre d'ailleurs qu'il existe une corrélation assez étroite entre les étiages absolus des deux stations. Un point toutefois s'écarte notablement de la courbe ; il s'agit peut-être d'une erreur d'observation mais il n'est pas impossible non plus que cet écart soit dû à une conjoncture particulière des apports voltaïques et dahoméens qui auraient été cette année précoces et très progressifs.

L'échantillon des étiages observés est trop restreint pour qu'on en fasse une étude statistique. Un rapide examen semblerait montrer que l'étiage absolu médian est d'environ 130 m³/s tandis que l'étiage absolu décennal serait voisin de 55 m³/s. En fait, si l'on considère la série des étiages absolus observés à NIAMEY depuis 1928, on s'aperçoit que la période des observations de MALANVILLE ne comporte aucun étiage sévère et qu'elle ne paraît donc pas fournir un échantillon bien représentatif. En nous basant sur la corrélation du graphique 129 et sur les évaluations du chapitre IX relatives aux étiages absolus de NIAMEY, nous sommes conduits à adopter pour ceux de MALANVILLE une valeur de 75 m³/s en année médiane et de 30 m³/s en année décennale sèche.

CORRELATION entre les débits d'ETIAGE ABSOLU de NIAMEY et MALANVILLE



A N N E X E S

=====

TABLEAUX DES DEBITS OBSERVES :

- a) Débits moyens mensuels
- b) Etiages absolus
- c) Crues annuelles
- d) Débits caractéristiques

aux stations suivantes :

- I - NIGER à TOSSAYE
- II - NIGER à ANSONGO
- III - NIGER à NIAMEY
- IV - NIGER à MALANVILLE
- V - GOROUOL à DOLBEL
- VI - GOROUOL à ALCONGUI
- VII - DARGOL à TERA
- VIII - DARGOL à KAKASSI
- IX - SIRBA à GARBE-KOUROU
- X - GOROUBI à DIONGORE
- XI - DIAMANGOUE à TAMOU
- XII - TAPOA à la station du W
- XIII - MEKROU à BAROU
- XIV - ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA
- XV - SOTA à COUBERI

TABLEAU I

NIGER à TOSSAYE

a) Débits moyens mensuels (m³/sec)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1948-49	(100)	(631)	(1185)	(1517)	(1744)	(1893)	(1915)	(1490)	(792)	(237)	(80)	(50)	(967)
1949-50	(50)	(265)	(945)	(1388)	(1640)	(1795)	(1756)	(1251)	(540)	(146)	(55)	(45)	(820)
1950-51	(45)	(374)	(1185)	(1577)	(1824)	(1984)	(2142)	(2044)	(1489)	(666)	(161)	(85)	(1126)
1951-52	(257)	(700)	(1232)	(1662)	(1780)	(1937)	(2095)	(2180)	(1975)	(1443)	(630)	(178)	(1337)
1952-53	(126)	(597)	(1322)	(1670)	(1856)	(2013)	(2187)	(2143)	(1733)	(1064)	(354)	(129)	(1261)
1953-54	(303)	(1020)	(1467)	(1716)	(1897)	(2072)	(2224)	(2160)	(1742)	(1085)	(406)	201	(1353)
1954-55	358	908	1410	1693	1904	2093	2290	2289	1944	1358	697	(267)	1429
1955-56	(361)	988	1445	1715	1922	2119	2283	2232	1757	1169	476	170	1384
1956-57	143	487	1067	1483	1720	1879	1945	1705	1148	457	148	(77)	1018
1957-58	170	651	1253	1567	1765	1955	2142	2169	1897	1308	546	236	1300
1958-59	412	919	1315	1581	1777	1941	2057	1993	1501	890	279	(90)	1226
1959-60	157	593	1214	1562	1779	1937	2020	1753	1150	425	(124)	(60)	1063
Moyenne	207	678	1253	1594	1801	1968	2088	1951	1472	854	330	132	1190

NOTA - Les débits entre parenthèses ont été reconstitués d'après GAO ou ANSONGO

NIGER à TOSSAYE

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1947-48	-	-
1948-49	-	-
1949-50	-	-
1950-51	début Juin	(50)
1951-52	6 - 11 Juillet	105
1952-53	23- 27 Juin	110
1953-54	17- 23 Juin	183
1954-55	21- 27 Juin	213
1955-56	5- 9 Juillet	105
1956-57	14- 26 Juin	74
1957-58	16- et 17 Juin	213
1958-59	22-23 Juin et 26-28 Juin	68
1959-60	vers mi-Juin	≤ 60

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1948-49	10 - 14 Janvier	1 965
1949-50	27 Déc. 49 - 6 Janvier	1 845
1950-51	22 Janvier - 3 Fév.	2 155
1951-52	12 - 25 Février	2 195
1952-53	22 - 28 Janvier	2 220
1953-54	24 Janv. - 5 Fév.	2 250
1954-55	24 Janv. - 8 Fév.	2 330
1955-56	16 Janv. - 8 Fév.	2 305
1956-57	19 - 22 Janvier	1 970
1957-58	2 - 6 Février	2 205
1958-59	2 Février	2 090
1959-60	12- 13 Janvier	2 050

NIGER à TOSSAYE

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1948-49		385	1 060	1 690	1 956
1949-50			748	1 542	1 845
1950-51	(60)	200	1 320	1 894	2 156
1951-52	113	666	1 530	1 964	2 196
1952-53	113	416	1 494	1 950	2 204
1953-54	185	657	1 568	1 964	2 252
1954-55	215	795	1 600	2 052	2 332
1955-56	110	704	1 561	2 006	2 305
1956-57	74	243	1 122	1 713	1 950
1957-58	225	576	1 501	1 943	2 194
1958-59	72	578	1 411	1 838	2 084
1959-60	(60)	230	1 201	1 775	2 027

TABLEAU II

NIGER à ANSONGO

a) Débits moyens mensuels (m³/s).

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1933-34	(100)	(500)	991	1197	1401	1557	1650	1622	1391	808	(230)	(90)	957
1934-35	(90)	(258)	801	1188	1406	1562	1670	1697	-	-	-	-	
1948-49	(90)	(438)	(959)	(1249)	(1464)	(1612)	(1686)	(1494)	(909)	(255)	(80)	(50)	(854)
1949-50	(50)	(150)	(688)	(1137)	(1365)	(1527)	(1570)	(1316)	(636)	(140)	(35)	(45)	(720)
1950-51	(50)	(205)	(924)	(1286)	(1526)	(1688)	(1840)	(1845)	(1557)	(831)	(145)	(75)	(992)
1951-52	(195)	539	984	1257	1462	1621	1781	1872	1805	1450	734	(135)	1150
1952-53	(80)	(390)	(1038)	1360	1556	1711	1863	1880	1715	1197	397	(75)	1100
1953-54	(145)	760	1162	1381	1584	1736	1848	1853	1723	1200	424	(151)	1159
1954-55	(250)	724	1154	1383	1583	1777	1946	2009	1892	1520	735	242	1267
1955-56	242	775	1172	1418	1622	1787	1937	1959	1758	1311	510	(145)	1217
1956-57	(90)	345	830	1202	1431	1599	1715	1642	1309	489	(115)	(60)	898
1957-58	(85)	493	1057	1302	1503	1661	1839	1910	1788	1443	635	224	1156
1958-59	(316)	830	1159	1372	1563	1704	1779	1776	1642	(1034)	(301)	(75)	(1125)
1959-60	(110)	446	1021	1293	1457	1671	1777	1717	1344	546	(110)	(60)	960
Moyenne	(135)	(490)	996	1288	1495	1658	1779	1757	1498	940	(348)	(110)	1036

NOTA - Les débits de moyennes et hautes eaux entre parenthèses ont été reconstitués d'après les relevés de GAO ; ceux de basses eaux résultent d'évaluations sommaires.

NIGER à ANSONGO

b) Etiages absolus (m³/s)

c) Crues annuelles (m³/s)
(Valeurs sous-estimées ?)

Non observés

Année	Date	Débit
1948-49	20 Janvier	1 710
1949-50	6 - 16 Janvier	1 610
1950-51	1 - 13 Février	1 885
1951-52	17 - 22 Février	1 885
1952-53	28 - 29 Janvier	1 905
1953-54	2 - 10 Février	1 885
1954-55	9 - 12 Février	2 035
1955-56	27 Janvier - 15 Février	1 980
1956-57	20 - 31 Janvier	1 735
1957-58	27 Janvier - 11 Février	1 915
1958-59	24 - 27 Février	1 815
1959-60	18 Janvier - 4 Février	1 800

NIGER à ANSONGO

d) Débits caractéristiques (m³/s).

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1933-34			1 125	1 512	1 677
1934-35					1 722
1948-49			953	1 487	1 697
1949-50			641	1 350	1 611
1950-51			1 189	1 666	1 883
1951-52		573	1 307	1 710	1 871
1952-53		368	1 297	1 710	1 896
1953-54		554	1 329	1 733	1 871
1954-55	153	738	1 415	1 837	2 021
1955-56		611	1 378	1 791	1 981
1956-57		194	1 039	1 534	1 733
1957-58	203	510	1 340	1 688	1 917
1958-59		535	1 297	1 688	1 791
1959-60		211	1 157	1 589	1 802

TABLEAU III

NIGER à NIAMEY

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1928-29							1754	1979	1942	1632	864	334	(1200)
1929-30	297	860	1190	1365	1523	1671	1835	2003	1927	1539	809	(360)	1277
1930-31	410	777	1192	1329	1501	1677	1861	1927	(1750)	1302	558	272	1209
1931-32	347	681	1057	1290	1492	1647	1719	1737	1490	795	316	(120)	1056
1933-34	(100)	(600)	(1029)	(1220)	(1410)	(1636)	1763	1802	1599	1026	416	145	(1058)
1934-35	99	279	879	1205	1363	1579	1725	1719	1308	584	210	71	914
1935-36	50	330	921	1266	1423	1600	1742	1788	1496	784	280	100	980
1936-37	(300)	751	1444	1336									
1940-41							(1440)	1305	885	437	99	33	
1941-42	31	340	726	980	1202	1403	1487	1353	814	278	77	30	723
1942-43	77	400	851	1039	1216	1387	1406	1225	626	156	45	21	701
1943-44	32	381	1128	1221	1272	1481	1610	1452	859	266	66	29	815
1944-45	18	128	586	947	1178	1383	1457	1158	520	146	42	20	630
1945-46	24	50	910	1276	1440	1625	1775	1657	1299	505	111	23	889
1946-47	48	459	1025	1208	1355	1540	1680	1788	1544	834	(210)	(70)	975
1947-48	29	249	803	1045	1201	1397	1491	1278	615	202	51	23	697
1948-49	18	491	957	1170	1359	1520	1657	1552	1000	361	97	36	848
1949-50	38	143	818	1105	1294	1471	1579	1399	819	272	74	31	749
1950-51	22	491	1303	1360	1504	1666	1835	1895	1699	961	274	75	1085
1951-52	185	582	966	1203	1393	1557	1756	1885	1885	1598	863	264	1176
1952-53	108	449	1395	1548	1571	1684	1863	1953	1830	1303	541	204	1199
1953-54	186	822	1345	1449	1574	1718	1941	2016	1855	1346	577	220	1249
1954-55	300	794	1162	1370	1555	1727	1944	2065	1977	1618	898	344	(1308)
1955-56	275	792	1235	1443	1624	1791	2003	2133	(1930)	1465	667	223	1296
1956-57	123	456	1063	1262	1396	1559	1692	1692	1399	650	197	78	960
1957-58	72	525	1005	1263	1485	1662	1879	2033	1966	1614	764	281	1206
1958-59	348	889	1511	1348	1463	1639	1797	1871	1722	1159	421	106	1185
1959-60	78	544	1247	1290	1452	1654	1796	1815	1435	636	161	48	1010
1960-61	53	514	1029	1279	1470	1665	1826	1829	1528	827	250	76	1024
1961-62	71	458	1304	1294	1422	1612	1744	1647	1130	374	119	41	930
1962-63	53	512	1234	1319	1481	1667	1885	2039	1745	1128	404	135	1128
1963-64	106	300	838	1135	1325	1558	1761	1828	1532	686	201	96	942
1964-65	97	696	1394	1405	1528	1738	1980	2059	1787	1125	383	126	1188
1965-66	84	677	1516	1494	1585	1739	1899	1882	1402	570	166	67	1085
1966-67	48	168	732	1170	1433	1704							
Moyenne	125	503	1085	1262	1422	1605	1745	1750	1434	854	340	125	1016

NOTA : Les débits entre parenthèses ont été interpolés ou estimés.

NIGER à NIAMEY

b) Etiages absolus (m3/s)

Année	Date	Débit
1928-29	15 Juillet	204
1929-30	13 Juin	305
1930-31	22 Juin	242
1931-32	(31 Mai)	(185)
1933-34	3 Juillet	69
1934-35	14 Juillet au 2 Août	49
1935-36	20 & 22 Juin	74
1940-41	7 - 8 Juillet	22
1941-42	23 Juin	24
1942-43	26 - 28 Juin	18
1943-44	31 Juillet	13
1944-45	1er & 4 Août	16
1945-46	14 & 16 - 17 Juillet	26
1946-47	24 Juillet	20
1947-48	16 & 19 Juillet	14
1948-49	7 Juillet	23
1949-50	7 - 13 Juillet	14
1950-51	3 Juillet	38
1951-52	19 Juillet	78
1952-53	9 - 10 Juillet	103
1953-54	5 Juillet	146
1954-55	5-7 et 10 Juillet	207
1955-56	15 - 16 Juillet	88
1956-57	20 - 21 Juillet	44
1957-58	27 - 28 Juin	197
1958-59	12 Juillet	45
1959-60	30 Juin - 6 Juillet	32
1960-61	23 Juin	52
1961-62	2 Juillet	23
1962-63	20 - 21 Juillet	93
1963-64	1-2 & 10 Juillet	54
1964-65	24 - 26 Juillet	63
1965-66	15 Août	31

c) Crues annuelles (m3/s)

Année	Date	Débit
1928-29	25 - 27 Février	2 040
1929-30	1er Mars	2 055
1930-31	6 - 9 & 12 Février	1 945
1931-32	8 - 11 Février	1 755
1933-34	6 - 8 Février	1 935
1934-35	10 - 13 Février	1 760
1935-36	10 - 16 Février	1 810
1940-41	20 - 27 Janvier	1 460
1941-42	19 Janvier	1 510
1942-43	5 Janvier	1 430
1943-44	13 - 26 Janvier	1 630
1944-45	5 - 7 Janvier	1 490
1945-46	19 - 20 Janvier	1 820
1946-47	16 Février	1 820
1947-48	21 - 26 Janvier	1 510
1948-49	15 - 17 Janvier	1 625
1949-50	17 - 18 Janvier	1 515
1950-51	14 Février	1 915
1951-52	27 Février au 1er Mars et 9-10 Mars	1 925
1952-53	14 - 18 Février	1 970
1953-54	19 Février	2 040
1954-55	22 - 23 Février	2 090
1955-56	14 - 15 Février	2 150
1956-57	1 - 2 Février	1 725
1957-58	26 - 28 Février	2 055
1958-59	17 - 20 Février	1 895
1959-60	28 Janvier - 3 Février	1 855
1960-61	27 Janvier - 5 Février	1 880
1961-62	21 - 26 Janvier	1 775
1962-63	13 - 18 Février	2 055
1963-64	3 - 11 Février	1 855
1964-65	11 - 20 Février	2 070
1965-66	25 Janvier - 8 Février	1 945

NIGER A NIAMEY

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1928-29	228			1 735	2 000
1929-30	322	776	1 398	1 758	2 040
1930-31	240	685	1 313	1 705	1 938
1931-32	< 185	484	1 169	1 630	1 758
1933-34	76				1 803
1934-35	57	211	1 088	1 518	1 750
1935-36	86	288	1 150	1 585	1 810
1940-41	23				≥ 1 452
1941-42	28	129	771	1 259	1 497
1942-43	20	89	776	1 226	1 420
1943-44	15	95	1 031	1 340	1 630
1944-45	23	50	529	1 181	1 480
1945-46	29	74	1 100	1 540	1 803
1946-47	29	(263)	1 163	1 540	1 803
1947-48	16	66	745	1 225	1 503
1948-49	27	130	975	1 420	1 660
1949-50	15	70	786	1 333	1 600
1950-51	46	298	1 353	1 683	1 900
1951-52	90	700	1 306	1 713	1 915
1952-53	113	502	1 540	1 735	1 960
1953-54	≈ 164	995	1 465	1 773	2 024
1954-55	214	(844)	1 443	1 825	2 072
1955-56	105	740	1 450		2 144
1956-57	55	263	1 125	1 540	1 728
1957-58	221	625	1 353	1 795	2 040
1958-59	55	660	1 383	1 690	1 885
1959-60	41	235	1 239	1 608	1 848
1960-61	48	305	1 200	1 623	1 878
1961-62	34	118	1 245	1 510	1 765
1962-63	36	380	1 320	1 683	2 048
1963-64	72	212	1 038	1 555	1 848
1964-65	63	468	1 398	1 750	2 072
1965-66	63	435	1 405	1 713	1 945

TABLEAU IV

NIGER à MALANVILLE

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1952-53	160	446	1 475	1 958	1 579	1 674	1 941	2 167	2 138	1 549	678	332	1 336
1953-54	293	1 032	1 934	1 831	1 636	1 760	2 041	2 285	2 188	1 560	674	314	1 457
1954-55	308	1 020	1 789	1 551	1 502	1 679	2 014	2 315	2 334	1 969	1 100	460	1 498
1955-56	411	1 357	1 923	2 186	1 687	1 780	2 114	2 423	2 325	1 762	789	312	1 586
1956-57	199	685	1 434	1 530	1 406	1 569	1 770	1 863	1 505	735	268	142	1 088
1957-58	105	933	1 837	1 598	1 456	1 584	1 867	2 144	2 197	1 770	880	346	1 387
1958-59	340	902	1 477	1 429	1 378	1 553	1 872	2 005	(1 954)	(1 330)	540	(150)	1 240
1959-60	115	791	2 259	1 706	1 390	1 594	1 813	1 982	1 632	766	246	78	1 194
1960-61	(140)	652	1 543	1 689	1 398	1 595	1 863	2 030	1 750	964	351	(145)	1 171
1961-62	(130)	594	1 644	1 455	1 333	1 528	1 726	1 770	1 242	476	154	73	1 006
1962-63	206	918	2 423	1 753	1 446	1 593	1 822	2 107	1 965	1 246	507	195	1 342
1963-64	144	536	1 252	1 341	1 283	1 413	1 681	1 870	1 681	784	329	258	1 043
1964-65	280	920	1 945	1 631	1 314	1 586	1 896	2 169	2 001	(1 350)	(500)	(350)	1 322
1965-66	(300)	(800)	1 590	1 539	1 492	1 538	1 774	1 905	1 543	(825)	(300)	(250)	1 150
1966-67	(100)	280	1 045	1 370	1 336	1 539							
Moyenne	215	791	1 705	1 638	1 442	1 599	1 871	2 074	1 890	1 220	523	237	1 262

NOTA - Les débits entre parenthèses ont été interpolés ou estimés.

NIGER à MALANVILLE

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1951-52	22 - 25 Juillet	134
1952-53	2 Juillet	170
1953-54	6 - 16 Juillet	215
1954-55	9 Juillet	263
1955-56	12 - 13 Juillet	143
1956-57	29 Juin	56
1957-58	28 - 29 Juin	236
1958-59	5 Juillet	56
1959-60	20 - 22 Juin	56
1960-61	mi-Juillet	≤ 95
1961-62	13 Juin	53
1962-63	17 - 18 & 20 Juillet	114
1963-64	13 - 14 Juillet	245
1964-65	Relevés manquants	
1965-66	- d° -	

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Crue locale		Crue malienne	
	Date	Débit	Date	Débit
1952-53	10-12-13 Oct.	2 180	22 Fév.-11 Mars	2 215
1953-54	20 Sept.	2 120	18 Fév.- 3 Mars	2 330
1954-55	14 Sept.	1 970	15 Fév.-20 Mars	2 360
1955-56	29 Sept.	2 684	25 Fév.- 4 Mars	2 512
1956-57	24-25 Sept.	1 736	12 - 15 Février	1 007
1957-58	17 Sept.	1 979	10 Mars	2 260
1958-59	21-24 Sept.	1 720	28 Fév.- 7 Mars	2 060
1959-60	23-25 Sept.	2 828	5 -28 Février	1 988
1960-61	2- 3 Oct.	1 952	11 -17 Février	2 060
1961-62	23 Sept.	1 916	7 - 8 Février	1 820
1962-63	23-24 Sept.	2 780	21 Fév.- 4 Mars	2 164
1963-64	7-17 Oct.	1 395	4 Mars	1 918
1964-65	17 Sept.	2 260	13 Fév.- 4 Mars	2 190
1965-66	3- 5 Oct.	1 752	9 - 18 Février	1 920
1966-67	1er Oct.	1 482		

NIGER à MALANVILLE

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1952-53	215	529	1 605	1 940	2 218
1953-54	215	919	1 665	2 033	2 330
1954-55	296	996	1 600	2 000	2 360
1955-56	176	1 068	1 720	2 151	2 516
1956-57	86	404	1 400	1 650	1 896
1957-58	260	811	1 657	1 907	2 232
1958-59	77	683	1 380	1 740	2 048
1959-60	65	350	1 466	1 792	2 564
1960-61	?	428	1 395	1 800	2 036
1961-62	66	269	1 265	1 567	1 832
1962-63	120	603	1 524	1 840	2 576
1963-64	251	356	1 275	1 492	1 896
1964-65	-	-	1 404	1 889	2 190
1965-66	-		1 460	1 540	1 929

TABLEAU V

GOROUOL à DOLBEL

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1961-62	0	6,7	24,6	50	73,5	1,9	0,04	0	0	0	0	0	13,0
1962-63	0	0,55	3,8	45	23,6	0,42	0	0	0	0	0	0	6,1
1963-64	0,06	15,6	22,1	49,8	9,35	1,79	0	0	0	0	0	0	8,2
1964-65	0	3,8	20,9	31,3	47,6	0,86	0	0	0	0	0	0	8,7
1965-66	0	4,25	6,6	36,3	30,3	1,11	0	0	0	0	0	0	6,6
1966-67	1,41	2,69	15,9	21,5	76,1	9,43	0,33	0	0	0	0	0	10,6
Moyenne	0,25	5,6	15,7	24,7	43,4	2,6	0,06	0	0	0	0	0	8,0

GOROUOL à DOLBEL

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1961-62	8 Novembre au 4 Juin	nul
1962-63	(23 Octobre au 13 Mai (18 Mai au 9 Juin	"
1963-64	20 Octobre au 2 Juin	"
1964-65	30 Octobre au 7 Juin	"
1965-66	1er Novembre au 3 Mai 21 Mai au 6 Juin	"
1966-67	23 Novembre	"

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1961-62	7 Septembre	118
1962-63	1er Septembre	73
1963-64	3 Août	96
1964-65	10 Septembre	92
1965-66	19 Août	72
1966-67	10 Septembre	117

GOROUOL à DOLBEL

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1961-62	0	0	0	7,5	100
1962-63	0	0	0	1,0	60
1963-64	0	0	0	4,5	77
1964-65	0	0	0	6,0	79
1965-66	0	0	0	4,8	53
1966-67	0	0	≥ 0,24	6,9	90

TABLEAU VI

GOROUOL à ALCONGUI

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1957-58	0,05	2,75	2,82	14,2	16,5	1,7	0,19	0	0	0	0	0	3,18
1958-59	0	2,60	5,50	27,0	(55)	12,4	3,10	0,50	0,10	0	0	0	8,85
1959-60	0	0,01	2,55	24,8	45,0	5,25	0,55	0,08	0	0	0	0	6,50
1960-61	(Pas d'observations)												
1961-62	0	0,31	10,6	14,8	56,1	7,5	0,60	0,14	0,03	0	0	0	7,50
1962-63	0	0,09	1,59	14,9	16,6	2,3	0,33	0,06	0	0	0	0	3,0
1963-64	0	2,18	8,77	23,6	10,1	3,1	0,23	0,04	0	0	0	0	4,0
1964-65	(0,10)	2,66	6,60	26,6	48,7	4,85	1,64	0,73	0,20	0	0	0	7,68
1965-66	0	2,03	4,23	12,7	19,4	5,83	1,84	(0,60)	0,41	0,01	0	0	3,93
1966-67	0,72	1,52	(5,18)	8,2	(58,6)	16,1	1,63	(0,51)					(7,7)
Moyenne	0,10	1,57	5,32	18,5	36,2	6,56	1,12	0,30	0,09	0	0	0	5,8

GOROUOL à ALCONGUI

b) Etiages absolus (m³/s)

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1957-58	1er Décembre au 12 Juin	nul
1958-59	16 Janvier au 5 Juil.	"
1959-60	19 Décembre au 19 Juin	"
1961-62	11 Janvier au 12 Juin	"
1962-63	16 Décembre au 15 Juin	"
1963-64	(5 Décembre au 9 Mai (17 Mai au 3 Juin	"
1964-65	2 Février au 6 Juin	"
1965-66	5 Février au 7 Mai	"

Année	Date	Débit
1957-58	27 au 31 Août	28
1958-59	mi-Septembre	≥75
1959-60	1er au 3 Septembre	(75)
1961-62	13 et 14 Septembre	100
1962-63	6 Septembre	33
1963-64	8 et 9 Août	33
1964-65	1er et 2 Septembre	79
1965-66	19 au 22 Septembre	26
1966-67	20 Septembre	104

GOROUOL à ALCONGUI

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1957-58	0	0	0,1	2,5	24
1958-59	0	0	0,5	8,0	≧ 75
1959-60	0	0	0	2,5	(67)
1961-62	0	0	0,1	8,8	73
1962-63	0	0	0,1	1,3	23
1963-64	0	0	0	6,0	27
1964-65	0	0	0,5	5,0	66
1965-66	0	0	0,5	4,5	25
1966-67	0	0	0,9	5,7	77

TABLEAU VII

DARGOL à TERA

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1957-58	0,23	0,36	(Observations incomplètes)				0,20	0	0	0	0	0	
1958-59	Observations				(4,0)		incomplètes						
1959-60	0	0,31	2,25	5,22	5,71	3,21		0	0	0	0	0	1,40
1960-61	Pas d'observations												
1961-62	0	0	4,36	(51,7)	(27,6)	1,14	0	0	0	0	0	0	7,13
1962-63	0	0,11	1,30	10,6	12,2	2,68	0	0	0	0	0	0	2,24
1963-64	0	11,5	12,6	13,9	5,54	0,19	0	0	0	0	0	0	3,66
1964-65	0	4,97	16,0	(42,5)	(32,7)	0,67	0	0	0	0	0	0	(8,10)
1965-66	0	0	1,47	8,59	13,3	1,02	0,25	0	0	0	0	0	2,05
1966-67	0	0	1,05	2,84	12,1	2,62	0,17	0	0	0	0	0	1,56
Moyenne	0,23	2,16	5,58	19,3	14,1	1,65	0,09	0	0	0	0	0	3,6

NOTA - Les chiffres entre parenthèses ont été interpolés ou estimés.

DARGOL à TERA

b) Etiages absolus (m³/s)

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1957-58	à/c du 15 Novembre	nul
1958-59	pas d'observations	
1959-60	à/c de mi-Novembre	"
1960-61	pas d'observations	
1961-62	19 Octobre au 13 Juin	"
1962-63	23 Octobre au 13 Juin	"
1963-64	10 Octobre au 6 Juin	"
1964-65	début Nov. au 15 Juil.	"
1965-66	20 Novembre au 5 Juil.	"
1966-67	à/c du 16 Novembre	"

Année	Date	Débit
1957-58	(24 - 25 Août)	(7)
1958-59	pas d'observations	
1959-60	15-21 Août	7
1960-61	pas d'observations	
1961-62	16 Août	126
1962-63	31 Août	47
1963-64	26 Juin	70
1964-65	25 Août	(136)
1965-66	6 Septembre	45
1966-67	6 Septembre	43

DARGOL à TERA

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1957-58	0	Observations incomplètes			(6)
1958-59		Pas d'observations			
1959-60	0	0	0	2,45	6,8
1960-61		Pas d'observations			
1961-62	0	0	0	1,10	85
1962-63	0	0	0	0,86	19
1963-64	0	0	0	0,86	31
1964-65	0	0	0	5	91
1965-66	0	0	0	0,74	19
1966-67	0	0	0	0,74	13

TABLEAU VIII

DARGOL à KAKASSI

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1957-58	0	0,13	1,50	8,99	(16,1)	0,36	0	0	0	0	0	0	2,25
1958-59	0	0	0	36,0	30,7	1,30	0,30	0	0	0	0	0	5,70
1959-60	0	0	4,60	42,2	35,2	0,10	0,20	0	0	0	0	0	6,98
1960-61	0	0,01	2,20	3,40	12,9	2,20	0,01	0	0	0	0	0	1,72
1961-62	Pas d'observations												
1962-63	0	0	7,20	20,8	(28,1)	1,09	0	0	0	0	0	0	(4,78)
1963-64	0	1,40	8,66	30,5	15,1	0,80	0,01	0	0	0	0	0	4,76
1964-65	0	(6,0)	21,0	46,5	78,4	1,87	0,08	0	0	0	0	0	12,8
1965-66	Pas d'observations												
1966-67	0	0,29	0,10	5,02	14,8	4,50	0,07	0	0	0	0	0	2,06
Moyenne	0	1,0	5,7	24,2	28,9	1,53	0,08	0	0	0	0	0	5,13

NOTA - Les chiffres entre parenthèses sont interpolés ou estimés.

DARGOL à KAKASSI

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1957-58	29 Octobre à mi-Août	nul
1958-59	Fin Novembre au 5 Juil.	"
1959-60	16 Novembre au 6 Juil.	"
1960-61	à/c du 2 Novembre	"
1961-62	Pas d'observations	"
1962-63	3 Novembre au 10 Juin	"
1963-64	5 Novembre à mi-Juin	"
1964-65	à/c du 15 Novembre	"
1965-66	Pas d'observations	"
1966-67	à/c du 9 Novembre	"

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1957-58	9 Septembre	36
1958-59	23 au 29 Août	111
1959-60	22 Août au 3 Septembre	111
1960-61	11 au 15 Septembre	21
1961-62	Pas d'observations	
1962-63	9 au 11 Septembre	48
1963-64	18 Août	46
1964-65	4 Septembre	140
1965-66	Pas d'observations	
1966-67	28 Août	26

DARGOL à KAKASSI

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1957-58	0	0	0	1,5	24,5
1958-59	0	0	0		86,6
1959-60	0	0	0	1,5	111
1960-61	0	0	0	1,5	14,7
1961-62		Pas d'observations			
1962-63	0	0	0	1,65	39,5
1963-64	0	0	0	3,0	31,1
1964-65	0	0	0	10,3	113
1965-66		Pas d'observations			
1966-67	0	0	0	0,95	16,5

TABLEAU IX

SIRBA à GARBE - KOUROU

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1956-57	0	0,57	16,7	52,8	158	135	35,6	5,25	0,70	0	0	0	33,8
1957-58	0,04	4,83	4,62	12,8	18,3	16,2	3,54	0,04	0	0	0	0	5,11
1958-59	0	2,38	14,6	54,3	(341)	110	28,2	11,0	(1,50)	0	0	0	46,8
1959-60	Pas d'observations												
1960-61	" "												
1961-62	" "												
1962-63	0	(5,0)	25,2	78,0	240	94,2	12,8	2,50	0,11	0	0	0	38,2
1963-64	0	0,42	6,24	14,3	34,0	17,9	1,64	0	0	0	0	0	6,24
1964-65	0	0,15	10,6	62,8	225	124	(11,0)	0,55	0	0	0	0	36,1
1965-66	0	(3,0)	17,4	55,3	295	141	10,6	1,02	0	0	0	0	43,6
1966-67	0	7,76	10,1	12,5	23,2	28,8	6,20	0,10	0	0	0	0	7,42
Moyenne	0	3,01	13,2	42,9	167	83,4	13,7	2,56	0,29	0	0	0	27,2

NOTA - Les chiffres entre parenthèses sont interpolés ou estimés.

SIRBA à GARBE - KOUROU

b) Etiages absolus (m³/s)

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1956-57	29 Janvier au 29 Mai	nul
1957-58	5 Décembre au 15 Juin	"
1958-59	mi-Janvier à mi-Juin (environ)	"
1959-60	Pas d'observations	
1960-61	d°	
1961-62	d°	
1962-63	18 Janvier au 24 Juin	"
1963-64	25 Novembre au 16 Juin	"
1964-65	Fin Décembre à mi-Juin	"
1965-66	mi-Janvier au 11 Juin	"
1966-67	à/c du 12 Décembre	"

Année	Date	Débit
1956-57	9 au 12 Septembre	213
1957-58	2 Août	60
1958-59	10 Septembre	525
1959-60	Pas d'observations	
1960-61	d°	
1961-62	d°	
1962-63	18 - 19 Septembre	324
1963-64	1er Septembre	48
1964-65	23 Septembre	369
1965-66	22 Septembre	469
1966-67	3 Octobre	46

SIRBA à GARBE - KOUROU

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1956-57	0	0	2,3	43	185
1957-58	0	0	0	7	22
1958-59	0	0	4,2	36	407
1959-60	Pas d'observations				
1960-61	d°				
1961-62	d°				
1962-63	0	0	0,6	35	300
1963-64	0	0	0	8	38
1964-65	0	0	< 0,3	27	276
1965-66	0	0	< 0,5	18	353
1966-67	0	0	0,06	14	33

TABLEAU X

GOROUBI à DIONGORE

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1962-63	0			(12,9)	99	32,1	5,43	0,11	0	0	0	0	(12,9)
1963-64	0			5,26	11,5	(13,0)	(1)	0	0	0	0	0	(4)
1964-65	0	(2,01)	3,30	20,4	81	51	9,05	0,12	0	0	0	0	13,9
1965-66	0	(1,98)	6,55	3,81	18,8	(21,9)	1,18	0	0	0	0	0	(4,55)
1966-67	0	(5,62)	10,8	(6,34)	10,1	14,9	4,95	0,03	0	0	0	0	(4,42)
Moyenne	0	(2,72)	(5,33)	(9,74)	44,1	(26,6)	4,32	0,05	0	0	0	0	(7,75)

Nota : Les chiffres entre parenthèses sont interpolés ou estimés.

GOROUBI à DIONGORE

b) Etiages absolus (m³/s)

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1962-63	13 Décembre à début Juin	nul
1963-64	mi-Novembre à fin Mai	"
1964-65	17 Décembre à fin Mai	"
1965-66	17 Novembre à fin Mai	"
1966-67	à/c du 12 Décembre	"

Année	Date	Débit
1962-63	17 Septembre	150
1963-64	30 Septembre au 10 Oct.	18
1964-65	2 Septembre	112
1965-66	2 au 4 Octobre	35
1966-67	2 Juillet	28,5

GOROUBI à DIONGORE

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1962-63	0	0	0	8,14	116
1963-64	0	0	0	≥ 1,80	18
1964-65	0	0	0,3	11,6	95
1965-66	0	0	0	5,82	31,6
1966-67	0	0	0,10	7,40	17,4

TABLEAU XI

DIAMANGOU à TAMOU

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1962-63	0				47	2,94	0	0	0	0	0	0	
1963-64	0	0,03	1,47	9,91	10,1	0,44	0	0	0	0	0	0	1,84
1964-65	0	0,03	4,11	30,6	44,1	4,03	0	0	0	0	0	0	6,9
1965-66	0	0,53	1,80	2,40	7,08	0,21	0	0	0	0	0	0	1
1966-67	0	2,77	1,29	10,1	13,8	6,59	0,30	0	0	0	0	0	2,91
Moyenne	0	0,84	2,17	13,3	24,4	2,84	0,06	0	0	0	0	0	3,6

DIAMANGOÛ à TAMOÛ

b) Etiages absolus (m³/s)d) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1962-63	2 Novembre au 26 Juin	nul
1963-64	24 Octobre au 24 Juin	"
1964-65	25 Octobre au 14 Juin	"
1965-66	19 Octobre au 4 Juin	"
1966-67	à, c du 23 Novembre	"

Année	Date	Débit
1962-63	19 Août	86,4
1963-64	29 Août et 12-13 Sept.	17,9
1964-65	21 Septembre	81,4
1965-66	10 Septembre	15,4
1966-67	26 Août	36,6

DIAMANGOU à TAMOU

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1962-63	0	0			71,5
1963-64	0	0	0	0,27	14,4
1964-65	0	0	0	2,70	51,3
1965-66	0	0	0	0,54	9,18
1966-67	0	0	0	2,60	24,1

TABLEAU XII

TAPOA à la station du W

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1963-64	0,09	0,18	0,51	1,33	0,95	0,24	(0,11)	(0,05)	0	0	0	0	0,28
1964-65	0,21	0,27	1,69	5,81	13,2	11,1	0,60	0,17	0,07	0	0	0	2,76
1965-66	0	0,09	0,84	2,15	2,45	0,89	0,30	0,13	0,06	0	0	0	0,58
1966-67	0	0	0,41	1,62	1,25	0,61	0,47	(0,24)	(0,11)	(0,05)	0	0	0,40
Moyenne	0,07	0,13	0,86	2,73	4,46	3,21	0,37	0,15	0,06	(0,01)	0	0	1

TAPOA à la station du W

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1963-64	Fin Décembre au 9 Mai	nul
1964-65	Début Février au 24 Juin	"
1965-66	Début Février au 10 Juil.	"
1966-67	à/c de début Mars	"

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1963-64	1er Septembre	2,86
1964-65	29 Septembre	24
1965-66	9 Août	7,86
1966-67	12 Juillet	4,20

TAPOA à la station du W

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1963-64	0	0	0,10	0,82	2,12
1964-65	0	0	0,24	4,05	19,6
1965-66	0	0	0,10	0,72	2,73
1966-67	0	0	0,12	0,48	2,86

TABLEAU XIII

MEKROU à BAROU

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1961-62	0	1,69	20,2	57,2	125	57,5	8,63	0,93	0,03	0	0	0	22,6
1962-63	0	5,64	(28,6)	(86,3)	315	141	31,2	10,3	2,26	(0,3)	0	0	51,7
1963-64					182	131	35,4	9,49	(2,30)				
1964-65	0	5,03	(29,3)	86	230	76	17	3,1	(0,3)	0	0	0	37
1965-66	0	2,55	6,64	35,9	147	(46)	(13)	(3,9)	(1,0)	(0,07)	0	0	21,3
1966-67	0		(21)	(53)	108	104	(26,5)	(6)	(1,3)	(0,1)	0	0	(27)
Moyenne	0	3,98	17,5	63,7	184	92,6	21,9	5,6	1,2	0,09	0	0	32,5

Nota : Les chiffres entre parenthèses sont interpolés ou estimés.

MEKROU à BAROU

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1961-62	8 janvier au 12 Juin	nul
1962-63	à/c du 25 Février	"
1963-64	Début Février au 14 Juin	"
1964-65	26 Janvier au 12 Juin	"
1965-66	11 Février à fin Juin	"
1966-67	à/c du 15 Février	"

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1961-62	21 Septembre	190
1962-63	20 Septembre	405
1963-64	Début Septembre	≥ 215
1964-65	19 et 20 Septembre	280
1965-66	7 Septembre	190
1966-67	28 Septembre	200

MEKROU à BAROU

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1961-62	0	0	0,27	29	142
1962-63	0	0	6	43	349
1963-64	0				
1964-65	0	0	2,50	34	252
1965-66	0	0	(3)	(18)	162
1966-67	0	0	(3)	(40)	136

TABLEAU XIV

ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1952-53	0	0	2,98	22,0	107	87	4,92	1,03	(0,5)	(0,1)	0	0	18,8
1953-54	16,3	20,5	86	125	280	74	6,19	1,08	0,65	0,23	0,01	0	51,1
1954-55	33,9	7,08	10,9	92	216	60,7	4,77	0,66	0,23	0,32	0	0	35,6
1955-56	0,88	1,70	69	317	267	175	10,9	1,07	0,52	0,22	0	0	71
1956-57	0	6,37	29,7	128	187	99	4,67	0,47	0,40	0,10	0	0	38,2
1957-58	8,42	25,1	31,4	276	407	113	7,23	2,97	1,10	0,39	0,15	0,49	73
1958-59	2,25	2,17	2,59	4,80	36,4	11,2	1,27	0,23	0	0	0	0	5,08
1959-60	2,63	5,45	15,1	51	320	70	(2,86)	(0,65)	(0,15)	0	0	0	39,1
1960-61	2,01	5,66	23,6	99	296	126	7,85	1,28	0	0	0	0	46,8
1961-62	0	1,89	24	52	201	24,8	3,13	0,65	0	0	0	0	25,6
1962-63	3,25	9,26	67	285	405	83	5,72	2,23	0,69	0,14	0	0	72
1963-64	0	3,65	21,6	157	178	67	7,31	2,50	0,70	0	0	0	36,5
1964-65	0	1,64	7,27	126	166	18,1	3,31	(1,05)	(0,25)	0	0	0	27,0
1965-66	3,94	3,32	20,8	107	189	24,8	3,22	(1,15)	(0,25)	0	0	0	29,5
1966-67	0	2,93	8,30	32,3	180	92	5,75	(1,66)	(0,40)	(0,1)	0	0	26,9
Moyenne	4,90	6,45	28,0	125	229	75	5,27	1,24	0,39	0,10	0,10	0,03	39,7

NOTA - Les chiffres entre parenthèses sont interpolés ou estimés.

ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

b) Etiages absolus (m³/s)c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1952-53	15 Févr. à fin Avril	nul
1953-54	9 Mars à fin Avril	"
1954-55	25 Févr. au 20 Mai	"
1955-56	19 Févr. à fin Mai	"
1956-57	16 Févr. au 21 Mai	"
1957-58	17 Mars au 14 Avril	"
1958-59	Début Janv. au 15 Mai	"
1959-60	Fin Janv. à Fin avril	"
1960-61	Fin Janvier au 16 Juin	"
1961-62	Début Janv. à Fin Avril	"
1962-63	14 Février à Fin Mai	"
1963-64	4 Février au 18 Juin	"
1964-65	Début Févr. à Fin Avril	"
1965-66	Début Févr. à Fin Mai	"
1966-67	à/c de mi-Février	"

Année	Date	Débit
1952-53	9 Septembre	228
1953-54	3 & 4 Septembre	553
1954-55	9 Septembre	384
1955-56	22 Août	482
1956-57	19 Septembre	287
1957-58	9 Septembre	521
1958-59	20 Septembre	145
1959-60	19 Septembre	485
1960-61	26 Septembre	424
1961-62	16 Septembre	440
1962-63	3 Septembre	685
1963-64	20 Août	271
1964-65	19 Août	298
1965-66	3 Septembre	331
1966-67	18 Septembre	363

ALIBORI à la Route KANDI-BANIKOARA

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1952-53	0	0	1,0	8,3	178
1953-54	0	0,35	1,8	63	342
1954-55	0	0,32	3,0	30	251
1955-56	0	0,41	1,15	79	398
1956-57	0	0	0,65	45	235
1957-58	0	0,58	4,5	51	474
1958-59	0	0	1,4	2,9	60
1959-60	0	0	2,7	9,5	357
1960-61	0	0	2,6	30	365
1961-62	0	0	0,45	8,1	264
1962-63	0	0,49	3,2	90	516
1963-64	0	0	2,8	22	244
1964-65	0	0	1,0	6,3	219
1965-66	0	0	2,35	11,3	258
1966-67	0	0	2,6	10,2	240

TABLEAU XV

SOTA à COUBERI

a) Débits moyens mensuels (m³/s)

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1953-54	(5,5)	27	37	105	198	109	23	7,6	5,7	5,4	4,95	4,13	44,5
1954-55	5,75	13,9	10,6	90	273	102	19,5	7,5	5,5	5,2	5,2	4,6	45,2
1955-56	7,17	9,9	68	252	(273)	228	47	14,5	9,8	9,6	8,7	6,4	78,3
1956-57	5,8	8,5	15,4	63	134	91	16	6,8	6,0	4,9	4,5	4,85	30,2
1957-58	6,79	15,5	21,6	189	331	149	42	12,8	8,2	7,0	6,5	6,8	66,5
1958-59	6,0	8,6	8,2	11,5	18,5	21	6	4,33	4,1	4,1	3,9	3,8	8,4
1959-60	7,16	5,05	15,5	67	323	163	23,4	9,2	7,1	6,2	5,8	5,5	53,1
1960-61	6,3	16,5	37,8	58	223	187	36	12,5	10,8	8,6	7,0	7,3	51,0
1961-62	6,9	8,7	11	33,4	87	28,4	7,2	5,8	5,3	4,7	4,5	(4,2)	17,3
1962-63	6,2	11,8	54	210	368	140	33	11,2	7,9	6,8	6,2	5,8	71,9
1963-64	8,0	10,1	9,8	81	177	106	28,8	7,7	5,3	4,7	4,5	4,4	37,3
1964-65	4,75	11,8	15,4	81,5	222	67	13	6,8	5,8	5,6	5,07	5,51	37,0
1965-66	6,7	8,6	13,6	38,9	82	23,8	5,83	4,11	-	-	-	-	(16,5)
1966-67	-	6,6	7,92	24,7	133	91	12,9	5,7	-	-	-	-	-
Moyenne	6,24	11,6	23,3	93,2	203	108	22,4	8,32	6,57	5,90	5,41	5,12	41,4

NOTA - Les chiffres entre parenthèses ont été interpolés ou estimés.

SOTA à COUBERI

b) Etiages absolus (m³/s)

Année	Date	Débit
1953-54	27 Avril au 4 Mai	3,8
1954-55	21 au 25 Avril	4,43
1955-56	16-17-18-21-22-23-24 Mai	5,6
1956-57	3 au 6 Mai	4,16
1957-58	28 Mai	5,2
1958-59	12 au 19 Avril	3,44
1959-60	10-11-13-14 & 16 Avril	5,0
1960-61	31 Mars au 13 Avril - 13 au 17 Mai	6,5
1961-62	courant Avril	≤4,43
1962-63	23 Avril	5,5
1963-64	2 Mai	3,8
1964-65	14 au 25 Avril	4,16
1965-66	28 Mars au 8 avril (?)	-
1966-67		

c) Crues annuelles (m³/s)

Année	Date	Débit
1953-54	14 Septembre	319
1954-55	11 Septembre	351
1955-56	30 Sept. au 6 Octob.	336
1956-57	24 Septembre	274
1957-58	16 Septembre	381
1958-59	9 Octobre	45
1959-60	19 Sept. au 1er oct.	428
1960-61	26 - 27 Septembre	333
1961-62	20 Septembre	135
1962-63	5 Septembre	481
1963-64	9 Septembre	247
1964-65	19 Septembre	312
1965-66	4 Septembre	119
1966-67	21 Septembre	271

SOTA à COUBERI

d) Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC ₉	DC ₆	DC ₃	DCC
1953-54	≤ 3,89	5,3	8,6	59	229
1954-55	4,61	5,3	7,0	28	306
1955-56	5,7	8,5	11,3	116	335
1956-57	4,34	5,2	7,0	15	176
1957-58	5,6	7,0	12,4	62	351
1958-59	3,53	4,1	5,8	9	30
1959-60	5,3	5,8	8,0	38	428
1960-61	6,5	7,8	12,2	55	301
1961-62	≤ 4,43	4,7	6,9	12	105
1962-63	5,6	6,5	10,2	78	396
1963-64	4,07	4,7	7,9	36	206
1964-65	4,16	5,6	6,8	31	256
1965-66	3,08	3,89	5,0	13,1	96
1966-67			5,7	12,6	175

