

MONOGRAPHIE DU NIGER

B - LA CUVETTE LACUSTRE

I

1^{ère} et 2^{ème} PARTIES - Facteurs conditionnels du régime

3^{ème} PARTIE - Données hydrologiques

par

C. AUVRAY

Ingénieur E.I.H.

Directeur de recherches à l'ORSTOM

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE
OUTRE-MER

REPUBLIQUE du MALI

MISSION d'ETUDES et
d'AMENAGEMENT du NIGER

MONOGRAPHIE DU NIGER

B - LA CUVETTE LACUSTRE

- I -

Première et Deuxième Parties : Facteurs Conditionnels du Régime

Troisième Partie : Données Hydrologiques

Par C. AUVRAY

Ingénieur E.I.H.

Directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

MONOGRAPHIE DE LA CUVETTE LACUSTRE DU NIGER

1er Volume

S O M M A I R E

	Page
Introduction	1
1ère Partie - Caractéristiques Géographiques principales du Bassin	4
<u>CHAPITRE I -</u>	
A - Considérations Générales	6
B - Le Bassin en Amont de la Cuvette Lacustre	12
C - Le Bassin de la Cuvette Lacustre (entre SEGOU et DIRE)	14
D - Description Physique et Hydrologie Sommaire des Lacs	21
E - Bassins Versants de l'YAME et du BANA (5 340 km ²)	42
F - Le Bassin du NIGER en Aval de la Cuvette Lacustre	44
<u>CHAPITRE II -</u>	
A - Géologie du Delta Central Nigérien .	46
B - Interprétation Historique du Cours du Fleuve	55
C - Hydrologie de la Cuvette Lacustre ..	58
<u>CHAPITRE III - Les Sols et leur Végétation naturelle</u>	63
A - Delta Mort	66
B - Delta Vif	69

	Page
<u>CHAPITRE IV</u> - Profil en Long du NIGER - Pentes Superficielles	71
2ème Partie - Données Climatologiques	80
<u>CHAPITRE I</u> - Vents - Température - Hygrométrie -	84
A - Régime des Vents	84
B - Vitesse des Vents	86
C - Les Températures	88
D - Hygrométrie	92
<u>CHAPITRE II</u> - Précipitations -	98
A - Hauteurs Annuelles	98
B - Variations Saisonnières	100
C - Précipitations Journalières	101
D - Précipitations Exceptionnelles	102
E - Irrégularité Interannuelle	104
3ème Partie - Données Hydrologiques	105
<u>CHAPITRE I</u> - Le NIGER -	107
A - Station de TAMANI	107
B - Station de SEGOU	110
C - Station de KIRANGO-Amont	112
D - Station de KIRANGO-Aval	112
E - Station de SAMA	119
F - Station de KE-MACINA	119
G - Station de TILLEMBEYA	122
H - Station de KOUAKOUROU	129
I - Stations de MOPTI et de NANTAKA	130
J - Station d'AKA sur l'ISSA-BER	134
K - Station de NIAFUNKE sur l'ISSA-BER .	134
L - Station de TONDIFARMA sur l'ISSA-BER	136
M - Station de TONKA sur l'ISSA-BER	137
N - Station de TINDERMA sur l'ISSA-BER .	139
O - Station de DIRE	139
P - Station de GOURMA-RHAROUS	146

	Page
<u>CHAPITRE II - Affluents, Effluents et Lacs ..</u>	147
A - Station de DOUNA sur le BANI	147
B - Station de KARA sur le DIAKA	153
C - La Station de DIAKERA sur le DIAKA .	160
D - Station de SARAFERE sur le BARA-ISSA	160
E - Station de TONDIGAME sur le Lac FATI	162
F - Station de GOUNDAM sur le Marigot de GOUNDAM	163
 <u>CONCLUSION -</u>	 167

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

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

Ajoutons le silence agréable des grandes étendues, la sécheresse extrême qui ouvre les poumons à l'odeur envahissante du poisson boucané.

Pays de contrastes qui ne se livre que lentement. D'abord l'enthousiasme, le miracle de l'eau ; l'eau, la terre et le soleil, la vieille trilogie de l'abondance, puis la prise de conscience du défaut chronique d'harmonie : les troupeaux éflanqués errant en Mai, abreuvés à refus mais grattant le sable sec, et l'inverse au loin dans les maigres pâturages d'hivernage où l'eau s'est retirée. C'est la marche continuelle entre la soif et la faim, sous le soleil devenu cette fois odieux et sans pitié.

Nature impulsive et débridée, qui détruit elle-même ce qu'elle a trop généreusement donné.

Comble d'infortune, la terre et l'eau font mauvais ménage. La crue trop précoce noie les jeunes pousses de riz ; tardive, 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 rigides, 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, les grands marchés d'échange sont desservis par voie d'eau. Le transport par pirogue est un moyen simple et commode ; il constitue dans ces régions le critère du développement du commerce.

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

De 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, accueillante 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 et arrangeait un peu les choses, car, IBN BATOUTA, le célèbre "touriste" du 14ème siècle, n'y trouva pas toutes les richesses déjà légendaires dans le monde Arabe Méditerranéen.

Ce fut aussi un centre de cultures et d'études (Mosquées de MOPTI et DJENNE), un lieu de rencontre où le NIGER Soudanais 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, qui traversa le Continent presque sans lui.

L'axe du grand courant commercial pivota lentement et tous les regards se tournèrent vers le Sud.

Depuis, le Delta Nigérien, isolé, s'appauvrit. Les eaux du Massif de GUINEE et du SOUDAN 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 Soudanais les moyens de transformer la nature - barrages, canaux d'irrigation, énergies thermique et électrique -. Les projets de rajeunissement du Delta et de la Boucle jaillissent nombreux. Un espoir renaît.

1ère PARTIE

CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES PRINCIPALES DU BASSIN

Nous adopterons un plan légèrement différent de celui du 1er volume relatif au NIGER Supérieur, car dans sa cuvette lacustre, le fleuve abandonne la position orthodoxe qu'il occupait jusqu'ici, à savoir la partie basse de son bassin versant dont il assurait le drainage. Nous verrons plus loin en détail que le NIGER domine, au contraire, les régions voisines de son cours et les inonde périodiquement. A l'ensemble de ces terres inondées, nous continuerons de donner le nom de "bassiné, faute de mieux, en ayant évidemment présent à l'esprit le fait qu'il n'est plus "versant".

Comment se présente la cuvette lacustre de nos jours ? Un premier chapitre évoquera sa morphologie et son hydrographie d'amont en aval. Nous examinerons à part les lacs et leur hydrologie dont l'étude n'en est qu'à ses débuts.

Pourquoi le NIGER en est-il arrivé là ? Nous y répondrons dans un second chapitre consacré à la Géologie, à l'Histoire du cours du fleuve et à l'Hydrogéologie.

Cette 1ère partie s'achèvera sur l'examen du profil en long du NIGER, et des variations de ligne d'eau dont l'influence, sur le régime hydrologique du fleuve, est très importante dans cette région très plate.

Tout d'abord, situons brièvement la région étudiée (Carte n° 1). Elle s'étend logiquement, de KOULIKORO à TOSSAYE, le long du fleuve, bien que la cuvette lacustre proprement dite soit localisée entre SEGOU et DIRE.

Ce grand parallélogramme, d'axe SO-NE, s'inscrit dans les coordonnées suivantes :

13° à 17° de latitude Nord

0°30' à 7°30' de longitude Ouest.

On se doute que les limites du "bassin" du NIGER lacustre soient assez imprécises.

Il côtoie un peu, au SO, vers KOULIKORO, le bassin du SENEGAL et ceux des VOLTA ROUGE et BLANCHE au SE du plateau DOGON. Le reste de son encadrement est constitué de zones aréiques ou à endoréisme très localisé :

- l'AKLE au Nord-Ouest
- l'AZAOUAD au Nord
- le GOURMA à l'Est.

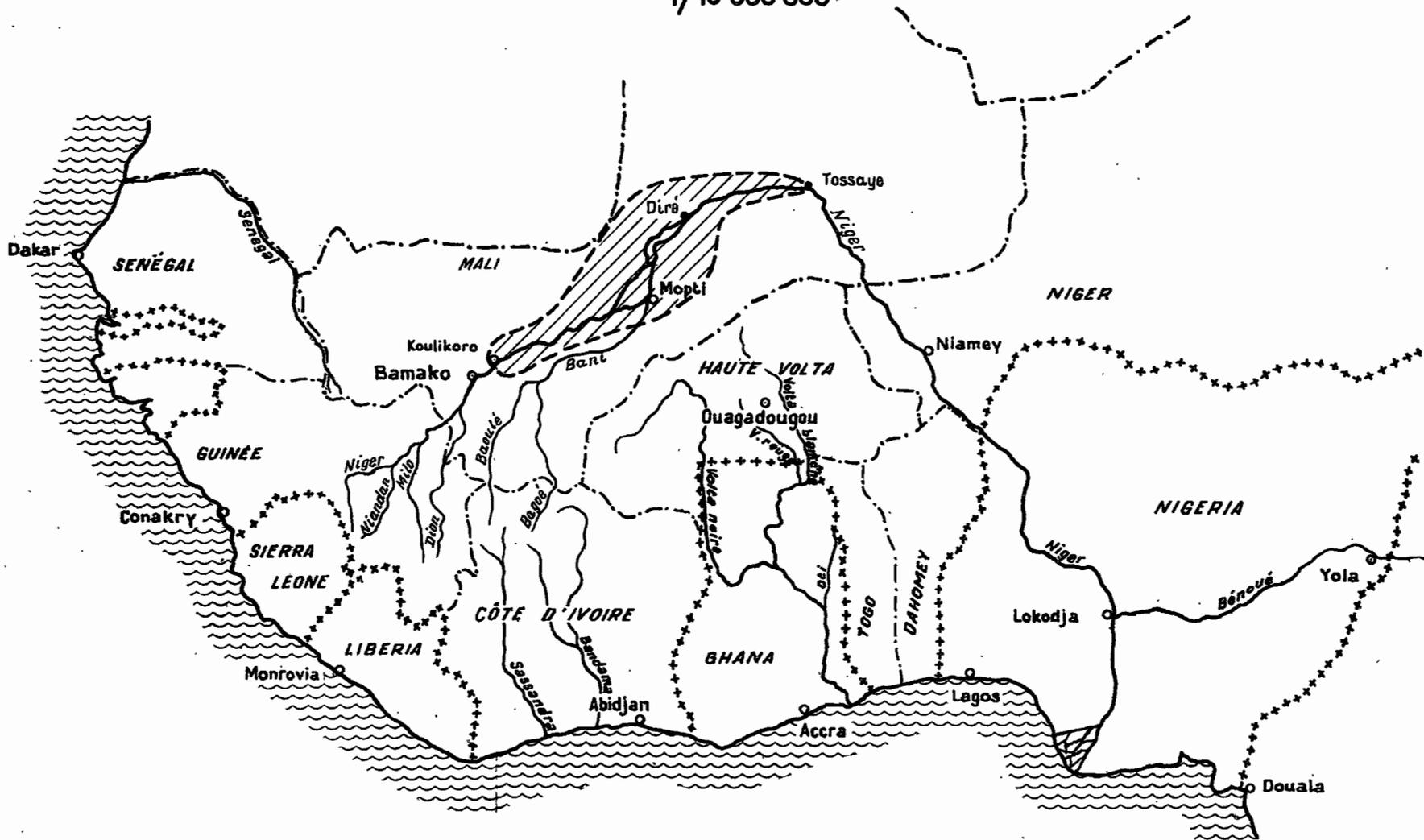
NIG. 9912

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER
LE: déc. 50
DES: ORIGINES
VISA:
TUBE N°:
A1

Bassin du NIGER - La cuvette lacustre

CARTE DE SITUATION

1/15 000 000^e



Carte I

C H A P I T R E I

DESCRIPTION PHYSIQUE du BASSIN

MORPHOLOGIE et HYDROGRAPHIE

A - CONSIDERATIONS GENERALES - (Carte n°II)

Nous étudierons le cours du NIGER de KOULIKORO à TOSSAYE, tronçon important du cours moyen long d'environ 1 180 km et comprenant entre SEGOU et KORIOUME (au droit de TOMBOUCTOU) la cuvette lacustre proprement dite.

En gros, la cuvette lacustre est une vaste région d'épandage, fond d'un immense delta dans lequel l'ancien NIGER se perdait par évaporation à raison d'un milliard de m³ pour 250 à 300 km² inondés.

L'assèchement progressif de cette cuvette a laissé pratiquement intacts les innombrables bras, émissaires, lacs. Par dépôts dans les plaines d'inondations immédiatement adjacentes, les cours d'eau où les débits sont importants ont tendance à s'endiguer, isolant, en quelque sorte, le lit principal des parties du pseudo-bassin situées en contrebas. Ces points bas restent alimentés à chaque crue par des émissaires souvent instables, dérivant ainsi des volumes d'eau irrécupérables pour les lits principaux.

Du point de vue altimétrique, il faut avoir toujours présent à l'esprit que les zones sont dites inondées lorsque plus de la moitié du terrain se trouve effectivement submergée.

Même lorsque l'eau n'est pas visible sur le sol, la nappe est en général affleurante sauf pour les petites hauteurs, buttes ou "toguérés" sur lesquelles sont établis les groupements humains.

Les parties submergées sont couvertes, en fait, d'un mince film d'eau, encombré par la végétation aquatique. Dans la partie lacustre de la cuvette, nous avons défini les limites du bassin, de manière arbitraire mais logique, en considérant l'ensemble de la zone d'expansion des eaux rattachée superficiellement au fleuve. Topographiquement, ces limites perdent leur sens puisqu'elles se trouvent à une altitude inférieure à celle des eaux du NIGER. Ce dernier apparaît, non plus classiquement comme un collecteur drainant un bassin de réception, son impluvium, mais au contraire, comme un canal distributeur alimentant la cuvette. La notion habituelle de bassin versant ne pourrait s'appliquer que dans les régions présentant un relief et une couverture géologique convenables pour autoriser le ruissellement et par conséquent l'existence d'un réseau hydrographique normal. De telles régions existent à l'intérieur des limites du bassin ainsi définies mais elles alimentent souvent des émissaires ou des lacs éloignés et en contrebas, dont les eaux ne retournent jamais au cours principal.

Si nous avions voulu conserver la définition de bassin versant d'alimentation, les limites en auraient été impossibles à déterminer dans le stade actuel des études. De plus, il n'en serait pas resté grand-chose en dehors du réseau hydrographique actif du fleuve, la partie dérivant du réseau étant à éliminer.

Le gros inconvénient de la méthode figurative utilisée réside dans le fait que nous avons dû raccorder ces limites à celles du bassin amont de la cuvette qui, lui, correspond à un véritable bassin d'alimentation.

Il faudra donc se garder de comparer les débits spécifiques des stations de MOPTI et DIRE à ceux des stations amont. Les résultats obtenus ne seraient physiquement pas homogènes.

Nous trouverons, en effet, de l'amont vers l'aval un gradient de modules, en fonction de l'augmentation de la superficie des bassins versants, franchement négatif. S'il n'y avait pas eu également l'incidence climatique : diminution de la pluviosité et intensité croissante de l'évaporation, nous

aurions adopté ce critère pour définir le véritable commencement de la zone deltaïque. En fait, les débits spécifiques de crue cessent de croître à l'aval immédiat de KOULIKORO, alors que le NIGER sort à peine de son bassin supérieur. Ceci parce que, en dehors, du delta intérieur proprement dit, le cours du NIGER coupe presque perpendiculairement les isohyètes et les lignes d'égale hygrométrie de son bassin. Nous admettons que la cuvette deltaïque commence lorsque le lit majeur s'étale dans des plaines d'inondation latérales bien au-delà du bourrelet de rive et surtout lorsque des eaux quittent le cours vers des émissaires ou des bras fossiles (ex. FALA du MOLODO, ancien bras sahélien), pour n'y jamais revenir. Ces phénomènes apparaissent aux environs immédiats de SEGOU.

Le survol fin Décembre de la partie centrale de la cuvette entre SEGOU et DIRE permet immédiatement d'embrasser l'immense volume d'eau emmagasiné dont, nous l'avons vu, une bonne partie restera hydrauliquement perdue. Suivant l'abondance hydrologique de l'année, 15 à 35 milliards de m³ s'étalent irrégulièrement sur une vaste étendue de plus de 80 000 km².

Bras principaux, émissaires, chapelets de mares, grands lacs s'étendent à perte de vue. Seuls apparaissent émergés des lambeaux clairs ou gravillonneux, de basses collines dunaires fixées, les étroits bourrelets riverains, les "toguérés" habités, et les immenses bourgoutières (plaines inondées profondément, couvertes de graminées aquatiques bien caractéristiques de la région lacustre).

Cette vaste étendue miroitante, ridée seulement par l'harmattan parfois violent, paraît calme et tranquille. Dans l'ensemble, les vitesses superficielles y sont nulles ou imperceptibles, mais dans les bras principaux (ISSA BER et BARA ISSA), le transit des eaux vives en crue est relativement rapide, sauf au passage de la région des grands lacs (DEBO). Dans le lit du courant, les vitesses maximales de surface varient de 0,30 m à 0,60 m/s. Dans les émissaires de déversement, bien calibrés, la pente naturelle vers les lacs de la rive gauche, peut entraîner des vitesses d'écoulement plus élevées.

De Juillet à Novembre, la pente superficielle du NIGER entre MOPTI et NIAFUNKE est de l'ordre de 2 cm par kilomètre (pente moyenne sur 231 km). Sur le tronçon NIAFUNKE-DIRE (85 km), la pente moyenne maximale n'atteint pas 1 cm par kilomètre. En fait, le passage du lac DEBO marque une diminution assez brutale de la pente qui reste relativement élevée à l'amont (au moins 4 cm/km).

La morphologie d'une telle région pose de nombreux problèmes intéressants, comme celui de la formation des bourrelets de rive.

Les dépôts latéraux immédiats à travers la végétation (bourgoutières ou rizières) engraisent un cordon riverain limitant les eaux vives. Au-delà, l'inondation devient profonde et remonte souvent vers l'amont, la plaine ainsi isolée étant réunie au fleuve dans sa partie aval par une baisse naturelle du bourrelet. Les cultivateurs barrent parfois cette passe contre les poissons rizophages par un filtre d'épineux.

Ces bourrelets sont en continuelle formation tantôt sur une rive, tantôt sur l'autre. Par suite des actions dynamiques du lit, il arrive très souvent que ces bourrelets soient après formation attaqués par érosion dans les parties concaves. Après destruction complète du bourrelet, les dépôts recommencent si l'inflexion change de sens et le cycle se reproduit.

La formation de ces bourrelets, liée à la pente ainsi qu'à la sédimentation dans le lit même du fleuve, entraîne un endiguement naturel et un exhaussement du lit de transit par rapport aux plaines d'inondation latérales.

Mais ce phénomène ne peut se généraliser car nous verrons que le creusement lent du profil de l'exutoire de la cuvette (seuil rocheux de TOSSAYE) entraîne un abaissement de l'ensemble du profil d'équilibre. Nous verrons que ce mouvement a provoqué certainement l'apparition, au fond du lit, de la passe rocheuse de TONDIFARMA en aval de NIAFUNKE.

Enfin, d'autres aspects des problèmes dynamiques restent à élucider, en particulier la répartition des débits entre le NIGER et le DIAKA, et à l'aval du DEBO entre l'ISSA-BER et le BARA-ISSA, ainsi que la lente migration

apparente vers l'Est des cours d'eau actifs traversant le delta.

On conçoit qu'une telle accumulation d'eau dans une zone climatique sahélienne mette en évidence la prépondérance de phénomènes physiques tels que l'évaporation, la transpiration des végétaux, l'infiltration et la capillarité.

L'évaporation y est d'autant plus active que la cuvette atteint son niveau maximal en pleine saison sèche, quand le degré hygrométrique a les plus basses valeurs. L'harmattan y souffle dès le premier mois de la décrue et contribue ainsi à la formation de micro-climats plus humides.

Dans sa partie centrale, le fond de la cuvette semble étanche et colmaté par le dépôt d'éléments fins argileux provenant de la décantation naturelle des eaux, mais aussi des poussières ténues, transportées par le vent et arrachées par l'action abrasive du sable à la surface des sols en voie d'hydromorphisme. La vase recueillie au fond du NIGER à l'aval des grands lacs contient beaucoup plus d'éléments fins et argileux que de particules siliceuses.

Aux confins de la cuvette, à la pointe avancée du cheminement des eaux, il n'en est plus ainsi, les sols sont entièrement sableux donc très absorbants. Infiltration et évaporation (sur les surfaces d'eau libres ou dans le sable par remontée capillaire) suffisent alors à faire disparaître rapidement des débits non négligeables circulant dans des petits émissaires en direction de bas-fonds.

Ainsi des traces d'écoulement peuvent ne pas indiquer des lignes de plus grande pente du terrain naturel mais simplement combler des "appels" d'évaporation s'exerçant sur des mares.

Une évaporation journalière de 15 millimètres s'exerçant sur un plan d'eau absorbe un débit de $0,175 \text{ m}^3/\text{s}$ par km^2 de surface libre. Il n'est donc pas étonnant, en tenant compte des volumes infiltrés, que les pertes globales annuelles sur l'ensemble de la cuvette varient entre 25 et 55 milliards de m^3 suivant l'abondance de l'année.

La cuvette Nigérienne est donc une des machines évaporatoires continentales les plus puissantes du monde. Les pertes annuelles de la cuvette lacustre représentent un volume compris entre le 1/3 et le 1/7 du volume d'eau évacué annuellement à la mer par les fleuves Français grands et petits (180 milliards de m^3 d'après les calculs de M. THOME de GAMOND).

Il ne faut pas perdre de vue que l'alimentation de la cuvette est commandée par le régime tropical de transition (Guinéen et Sud-Soudanien) comprenant une pulsation annuelle. Nous verrons que, dans le delta, le cycle annuel est régularisé et presque parfaitement sinusoïdal. La période des hautes eaux, c'est-à-dire la période de mise en charge des émissaires et des effluents est limitée dans le temps. Cette limitation du temps de submersion, ajoutée aux actions de l'évaporation et de l'infiltration, freine considérablement le cheminement des eaux au loin des cours principaux. Si la durée de mise en charge s'étendait beaucoup plus longtemps, le déversement permanent finirait par remplir une vaste mer intérieure.

Enfin, du point de vue hydrogéologique, l'effet de la zone lacustre n'est pas sans importance. La puissante nappe ainsi créée alimente les puits du SOUDAN Occidental et Septentrional. Elle bute sur le contrefort primaire oriental (plateau de BANDIAGARA, Massif du GOUNDOUROU et pays GOURMA) plonge vers le Nord-Ouest, glisse au ras du socle vers le Continental aquifère (Terminal et Intercalaire) et alimente enfin, peut-être, la grande nappe Saharienne.

B - LE BASSIN EN AMONT DE LA CUVETTE LACUSTRE -

1°) BASSIN du NIGER entre KOULIKORO et TAMANI -

Distance approximative le long du fleuve	102 km
Superficie du bassin partiel	10 250 km ²

Sur la rive gauche, il s'agit surtout du bassin du KODA formé du DLANINN et du DELABA, qui naissent dans le plateau MANDINGUE à plus de 550 mètres d'altitude dans la région de KATI au Nord-Ouest de BAMAKO. Son bassin remonte vers l'amont et s'étend le long du fleuve qu'il rejoint à DINAN à la cote 290 environ (cote d'eau moyenne).

Il est constitué par les derniers contreforts du plateau MANDINGUE érodé et en partie cuirassé. L'infiltration dans la cuirasse ferallitique en place ou dans ses débris maintient un débit encore permanent dans les cours d'eau, mais très faible, de l'ordre de quelques litres par seconde en pleine saison sèche. L'apport de basses eaux au NIGER de ce bassin est donc négligeable. En hivernage, pour un bassin moyen de 5 000 km², des apports de crue de 20 à 50 l/s.km² sont prévisibles, mais constituent une augmentation irrégulière et relativement petite (3 à 4 % peut-être) du débit du NIGER en Juillet-Août. Ces poussées temporaires (1 à 2 jours) s'ajoutent à la montée normale du fleuve et sont habituellement peu visibles sur les limnigrammes, sauf en cas de précipitations violentes et concentrées sur cette portion du bassin. Dans ce cas, on distingue de petites pointes de 0,10 m à 0,15 m d'amplitude, le retour à la montée normale s'effectuant en 2 ou 3 jours.

Sur la rive droite, le relief est moins accentué, les cuirasses y sont plus étanches et beaucoup moins épaisses et les quantités d'eau infiltrées diminuant ne permettent plus la perennité des marigots. L'apport de saison sèche est nul.

Dans le lit du NIGER, le grès est apparent en plusieurs endroits entre KOULIKORO et KASSA, puis il s'enfonce vers la rive gauche sous les dépôts du fleuve. Seuls, sont décapés les blocs latéritiques brunâtres, lépreux mais résistants, visibles en particulier sur la berge droite, auprès de TAMANI.

2°) BASSIN du NIGER entre TAMANI et SEGOU -

Distance approximative le long du fleuve	65 km
Superficie du bassin partiel	3 860 km ²

La portion de bassin située sur la rive gauche est réduite à peu de chose. Quelques petits marigots naissant à 310 - 320 mètres se perdent rapidement dans la zone d'inondation du fleuve.

La rive droite est constituée de lambeaux latéritiques formant des collines au relief de moins en moins accentué en allant vers SEGOU. Dans les points bas, l'altitude du bassin est voisine de 285 m alors que la cote moyenne du fleuve à mi-chemin entre TAMANI et SEGOU est d'environ 281 m. Les sommets des collines varient de 300 à 350 m et dépassent très rarement 380 m.

Une partie importante des eaux drainées par le bassin Sud s'épand dans la plaine de TAMANI, elle-même drainée par le bras de SONA qui longe le fleuve jusqu'à KONODIMINI. Son débit est impossible à estimer car il est encombré, en crue, par la remontée des eaux du NIGER. Malgré la porosité relative des cuirasses latéritiques, les marigots du bassin ne sont plus permanents. Les lits sont rigoureusement secs pendant 5 mois de l'année.

Dans ce tronçon, le fleuve s'élargit visiblement, la zone inondée, surtout sur la rive gauche, atteint 3 à 4 kilomètres dans la phase maximale de la crue. Les berges y sont basses, argileuses, parfois en terrasses à pentes raides. On commence à distinguer la formation des bourrelets de rive annonçant la vraie cuvette lacustre.

En étiage, enfin, le remous du barrage de MARKALA, maintient un plan d'eau permanent et remonte jusqu'à DIONGOLO, à 35 km environ en amont de SEGOU.

C - LE BASSIN DE LA CUVETTE LACUSTRE (ENTRE SEGOU ET DIRE) -

Distance approximative 610 km₂
Superficie du pseudo-bassin 66 070 km²
(Voir cartes I.G.N. au 1/200 000°)

Nous n'avons pas tenu compte du bassin de l'IAME issu du plateau DOGON que nous traiterons à part. C'est la portion du bassin comprenant la cuvette proprement dite (avec toutes les réserves déjà faites sur le terme "bassin") qui fait l'objet de l'exposé ci-après.

Pour simplifier cet exposé, nous nous contenterons d'énumérer les sites caractéristiques 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 2,10 m - 2,30 m à l'échelle de SEGOU.

2°) MARKALA -

Barrage à hausses AUBERT (mobiles à plusieurs positions) créant la retenue aux faibles débits et s'effaçant complètement sur le radier 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 MARCINA (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°) Site de NAKRY -

Où le fleuve se partage en 3 bras (bras de NAKRY, bras navigable médian, et bras de DIOUROU). Ce passage compor-

tait un vaste banc de sable et de gravillons latéritiques longtemps redouté par la navigation. En 1953, un chenal important s'est ouvert naturellement sur la droite dans le bras médian.

4°) Bras de SAMIA -

Le bras rive droite reste de loin le plus important.

5°) Déversoir au fleuve de KOLONGOTOMO -

Sur la rive gauche marquant l'extrémité Est de la zone d'action de l'Office du NIGER:

- C'est le début des aires d'inondation importantes, des rives basses affouillées et des bourrelets de rive.
- La largeur du lit de pleine rive (section d'écoulement) oscille entre 1 200 et 2 000 mètres. La zone inondée à l'étale est comprise entre 3 et 8 kilomètres. Les inondations et les débordements tendent à rectifier en crue les sinuosités du lit mineur.

6°) Bras de TAMARA -

Sur la rive droite qui court-circuite DIA FARABE où naît l'effluence du DIKA sur la rive gauche. Le DIKA est l'effluent de loin le plus important du delta. Il préleve en gros le 1/3 du débit amont, suit sensiblement la plus grande pente et rejoint le NIGER dans la région des 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 formés sont à peu près identiques, mais le DIKA reste celui du Nord. Après une zone confuse (nombreux bras et mares) dans laquelle il est très difficile de ne pas perdre le véritable DIKA qui n'existe pratiquement plus, l'ensemble du réseau chevelu se regroupe à l'Est de DOGO (station anti-acridienne) et par un très large bras, sans courant perceptible et encombré de bourgoutières, débouche brutalement 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°) Entre DIAFARABE et MOPTI, on rencontre sur la rive gauche les affluences de nombreux mayos se dirigeant vers le Nord-N.E parallèlement au DIAKA. Ils se ressemblent tous étrangement et les principaux sont :

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

Tous ces mayos constituent un réseau compliqué, de bras d'eau libre, s'écoulant imperceptiblement ou non, disparaissant, reparaissant, changeant continuellement de toponymie ou s'épandant brusquement dans un chapelet de mares innombrables. Dans un tel décor, rien ne permet de distinguer un endroit d'un autre car les points de repères sont inexistants.

La direction générale de la pente de la région des mayos est toujours N à N-NE vers le débouché chevelu du marigot de DIAKA dans l'émissaire de DOGO, qui se jette dans les grands lacs. L'altitude moyenne de la région varie de 268 à 269 m vers le NIGER jusqu'à 262/263 m dans les lacs.

Les villages situés sur les toguérés (buttes sans doute artificielles formées par l'empilement successif des ruines du village) émergent faiblement en hautes eaux. Ils se concentrent le long des bras importants. Il est impossible d'effectuer une hydrométrie quantitative d'une telle région ; les points de mesure seraient trop nombreux et les vitesses d'écoulement trop faibles pour être perceptibles avec les appareils hydrométriques classiques. Il faudra se contenter d'évaluation globale des pertes par déversement entre l'embouchure du DIAKA et MOPTI.

Sur la rive droite, le problème est, au moins, aussi confus, car de nombreux mayos traversant le "mésopotamie" NIGER-BANI sont alimentés à la fois par le NIGER et par son affluent principal d'une manière variable suivant les cotes respectives des deux cours d'eau. C'est surtout à l'aval de KOA que les émissaires traversiers deviennent importants. Plusieurs mayos allant vers les zones inondées de SAMAYE et GANIA se regroupent à KOUAKOUROU.

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 multiples.

L'effluent le plus important du BANI, dans ce dernier tronçon, est le bras de SOYE (ou TOKOUYAORO) entre SOFARA et TEKE. Il est navigable en hautes eaux et dessert un chapelet de mares et de plaines basses dans la pointe Sud du triangle formé par la confluence NIGER-BANI. Il faudrait pouvoir s'étendre plus longuement sur cette "mésopotamie" NIGER-NANI qui possède son style propre. Cette région n'est pas monotone comme celle située au Nord du fleuve, les terres émergées y sont plus fréquentes, plus hautes, plus boisées (belles et odorantes forêts de rôniers). Les villages ne se réduisent pas encore à l'exiguité des "toguérés" ; ils paraissent plus grands, et plus riches. Enfin les cultures y sont développées et tout laisse à penser que cette région est appelée à jouer un rôle dans l'économie du pays.

Le plan d'eau de MOPTI réunit les eaux du NIGER, du BANI et des mayos POTEKOLE (ou BANGO, en amont) et NEMA qui, en très hautes eaux, ramènent une fraction des eaux du BANI prélevée sur la rive droite en amont, vers DOUBENA et KOUNA, mais surtout des 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 (la route SEVARE-MOPTI est édifiée en remblai sur une longueur de 11 km).

8°) A l'aval de MOPTI, le NIGER s'élargit encore et la pénétration des eaux d'inondation derrière les bourrelets de rive est profonde sur la rive gauche. Toute la zone DIAKA-NIGER est encombrée de mares, de plaines inondées et de mayos aux méandres nombreux mais dont la direction générale du réseau est orientée vers le Nord. L'Ouest de MOPTI est un désert inondé sans village et sans arbres. Le plan d'eau de MOPTI en crue se trouve sensiblement à la cote 267.50 m, nettement supérieure à la zone DIAKA-NIGER qui est profondément imprégné malgré les pertes de charge des écoulements marginaux, les effets de l'évaporation et des infiltrations. Les vitesses d'écoulement

dans les mayos sont imperceptibles, parfois nulles surtout si ces mayos sont des bas-fonds résiduels d'anciens bras qui jadis, lors de pluviosité plus élevée, débitaient sans doute effectivement. Leur profondeur, supérieure à 3 ou 4 mètres, empêche l'envahissement par les graminées aquatiques (surtout les bourgous) et c'est ce qui rend parfaitement visible leur tracé sur les photos aériennes, et, par suite, sur les cartes. Ils constituent donc l'image du relief bathymétrique de la cuvette plutôt qu'un réseau représentatif du mouvement superficiel des eaux.

A 25 km en aval de MOPTI, prend naissance, sur la rive gauche, le mayo DEMBE qui, par SEVERI, SABA et PIRA, rejoint presque directement la zone des lacs OUALLADO et DEBO. Ce mayo est parfois étroit mais parfaitement navigable en hautes eaux pour une petite vedette à moteur. Le mayo RANEO, dont l'embranchement se trouve après SEVERI, rejoint aussi les lacs mais moins facilement, en faisant plus de détours.

Nous arrivons à KONA, grand village commerçant, qui marque la confluence de l'IAME apportant presque l'ensemble des eaux du plateau DOGON.

A l'aval de KONA, le fleuve longe, le Massif de GOUNDOUROU jusqu'au DEBO. La zone d'inondation sur la rive droite s'en trouve donc réduite. Signalons dans les environs de BOUNA, dans le lit du fleuve et visible en basses eaux, un seuil constitué de passes de graviers et même de cailloux.

Entre BOUNA et le DEBO, il n'existe plus en fait un seul bras privilégié plus important que les autres. Le NIGER se partage en plusieurs cours sinueux, tantôt bien calibrés, tantôt se perdant dans les bourgoutières, débouchant en fouillis, dans le lac DEBO, de part et d'autre du rocher AIRE KADIED (baptisé rocher MARIE-THERESE par René CAILLE lors de son voyage à TOMBOUCTOU).

9°) Cette arrivée dans le DEBO, et surtout les méandres invraisemblables qui la précèdent, laisse un curieux souvenir. Le bateau évolue en rasant les bourgous dans un chenal étroit, semblant tourner autour du mont AIRE SOROBA (Mont St CHARLES) émergeant violemment de 70 mètres au-dessus de l'immense plaine verte.

L'amas rocailleux du rocher MARIE-THERESE attire tous les regards, lorsque brusquement c'est le débouché dans le DEBO, puis la grande étendue d'eau libre, verte à l'Ouest en direction des bourgoutières du OUALLADO, et jaune claire à

l'Est vers la bordure dunaire du mont GOURAO dominant le lac. Les dunes apparaissent pour la première fois et le passage du DEBO marque un net changement dans l'allure et la couleur du paysage. La végétation aquatique reste la même mais avec plus d'ampleur dans l'étendue, enfin sur les dunes, apparaissent en plus des épineux rabougris, quelques peuplements de palmiers fourchus.

Remarquons au passage :

- que les bras et mayos se rassemblent en faisceau à l'Est du Mont St CHARLES pour l'entrée dans le DEBO.
- que la vitesse d'écoulement dans les principaux de ces bras semble plus grande en amont immédiat du lac. On a l'impression d'une légère rupture de pente.
- que les Monts GOURAO, MARIE-THERESE et SAINT-CHARLES sont très sensiblement alignés, évoquant le franchissement d'un ancien chaînon érodé.

Le NIGER se reforme à l'extrémité Nord-Ouest du lac DEBO et se dédouble à l'aval du village de AKA pour former le bras de KORMOU (60 km) navigable dans les mêmes conditions que le cours principal.

10°) Au Nord du lac, dans sa partie médiane, prend naissance le BARA-ISSA, le plus long bras continu du NIGER après le DIAKA. Il rejoint le NIGER à EL-OUALADJI, 16 km en amont de DIRE. Bien calibré, il décrit de nombreuses sinuosités en contournant les dunes fixées. Navigable parfaitement, mais non emprunté parce que d'un parcours plus long, ses berges non déboisées pour les besoins de l'ancienne batellerie à vapeur, sont très pittoresques. Il baigne SA et SARAFERE, deux gros villages de commerce et d'échanges. A la saison des pêches le BARA-ISSA, est souvent entièrement barré d'une rive à l'autre par une sorte de cordage flottant constitué de lianes tressées, supportant filets ou hameçons (voir "La vie saisonnière au Sud du Lac DEBO" de Jean GALLAIS).

Enfin, à l'Est, contournant la dune Est-Ouest barrant l'aval du DEBO, nous rencontrons le KOLI-KOLI qui dessert le lac de KORIENZEX et rejoint le BARA-ISSA aux environs immédiats de SARAFERE. Ses méandres sont extravagants et il se perd souvent dans les bas-fonds interdunaires. Le KOLI-KOLI intervient dans l'alimentation de certains lacs rive droite comme on le verra dans le chapitre suivant.

Toute la région est plaquée de dunes fixées orientées Est-Ouest, de 5 à 20 m de hauteur, formant écran à la pénétration des eaux vers le Nord, traversées en chicane par les bras et mayos. Il en résulte que le réseau hydrographique est directionnel dans le sens des sillons dunaires. Il est possible que le barrage dunaire situé à l'aval immédiat du DEBO, en gênant l'évacuation des eaux et formant ainsi retenue, ait contribué à la formation des deux grands lacs sur le cours même du fleuve. Puis l'abaissement du niveau des lacs (affouillement des passes dunaires, et affaissement général du profil d'équilibre) a pu entraîner l'érosion du chaînon amont (voir remarque précédente) et faire apparaître la mise en vitesse perçue à l'entrée du DEBO.

L'envahissement dunaire continu crée des émergences, donc des sites d'habitat. Les villages au Nord du DEBO sont plus nombreux qu'au Sud (triangle NIGER-DIAKA) où l'inondation pratiquement totale ne laisse place qu'à de rares campements de pêcheurs ou de pasteurs.

Mais si la pénétration du sable rend les sites plus fréquents, elle diminue progressivement les ressources agricoles, et les villages y sont de plus en plus pauvres. En dehors des passes Nord-Sud, les mayos s'étirent péniblement dans les sillons interdunaires en direction de la bordure orientale de la cuvette. Ils rejoignent un système de lacs dont l'alimentation est mixte, provenant en partie des eaux de ruissellement des reliefs environnants. Les proportions sont variables d'un lac à l'autre suivant l'encombrement de l'émissaire et l'importance et la nature géologique du bassin drainé par le lac.

D - DESCRIPTION PHYSIQUE et HYDROLOGIE SOLAIRE des LACS -

1°) SYSTEME LACUSTRE de la RIVE DROITE -

a) Remarque Générale -

Depuis l'édition des nouvelles cartes I.G.N. (1956 à 1959) la description du réseau hydrographique est devenue aisée, mais l'étude hydrologique, proprement dite, de cette région n'a pas été commencée d'une façon systématique. En 1955-56, un agent technique de la MEAN fut installé à BAMBARA-MAOUNDE, au barycentre des lacs, avec pour mission d'installer des échelles et de les faire observer. La saison de l'arrivée de cet agent fut mal choisie et il ne fut pas remplacé. Cet effort a donc été entièrement perdu.

En altimétrie, nous connaissons maintenant les cotes superficielles du cours du NIGER avec une excellente précision (nivellement général I.G.N., densité suffisante des échelles et construction des lignes d'eau superficielles) mais les cotes des lacs sont barométriques (précision de l'ordre de 3 mètres au mieux) et dangereuses à comparer aux premières, surtout s'il s'agit d'apprécier des pentes d'émissaires. Il convient donc de faire de prudentes réserves sur les conditions d'alimentation.

En 1956, la mission Hydrographique CAMUEL de la MEAN effectua, très utilement, le levé d'après photos aériennes et les sondages des lacs du système NIANGAYE. Bathymétrie et planimétrie ont ainsi fourni les courbes de surfaces et volumes en fonction des profondeurs rapportées à la cote maximale de 1955-56. Les levés des canaux de jonction entre lacs ont permis également de déterminer les volumes nécessaires dans chaque lac étudié pour assurer son débordement vers le lac aval.

La limnimétrie de ces lacs est pratiquement inconnue puisqu'aucune échelle n'y est observée (accès malaisé par eau et par terre en hivernage et difficultés de recrutement d'observateurs convenables).

Quelques relations de tournées publiées ou non donnent très approximativement le degré de remplissage des lacs à une époque donnée : c'est tout et c'est trop peu pour se lancer dans une étude des cycles de remplissage-vidange.

Nous pensons qu'afin de préparer l'avenir, il serait bon d'installer dès maintenant 3 ou 4 échelles dans les lacs KORAROU, AOUGOUNDOU, NIANGAYE et HARI-BONGO, et de les faire observer au mieux. Le rattachement de ces échelles au nivellement général, pourrait sans inconvénient se faire par la suite.

b) Lac KORAROU -

Orienté N-S, 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. Très bien alimenté (ce sera le seul) par 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 I.G.N.), alors que la cote moyenne de crue du DEBO est de 266 m. Il y a donc alimentation mixte mais dont les proportions sont impossibles à préciser.

Il s'agirait plutôt d'une succession de deux actions : d'abord les crues locales en Juillet-Août-Septembre dépendant de l'intensité des averses et ensuite la crue du NIGER en Novembre, Décembre, Janvier.

Il semble qu'à l'étale le lac KORAROU s'écoule vers le Nord en direction du lac AOUGOUNDOU par le mayo MORADOU. 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. Nous ne pensons pas que de telles conditions permettent le transport vers le lac de volumes importants venant du NIGER.

Le bassin d'alimentation du KORAROU (3 200 km²) comprend à l'Ouest une grande partie du massif de GOUNDOUROU (320 à 400 m) et, au Sud, la frange septentrionale du massif de BANDIAGARA surplombant en falaise abrupte (de 600 m à 270 en moins de 4 km) 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 aussi 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 150.10^6 m^3 (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 dans les deux lacs mais il est certain que ces derniers profitent surtout aux lacs du système NIANGAYE dont l'alimentation est plus directe.

En résumé :

Apports locaux et apports du NIGER décalés dans le temps avec un trou en Septembre-Octobre et peut-être Novembre. Priorité certaine aux apports de ruissellement locaux. Mise en eau partielle possible du système KORAROU-AOUGOUNDOU avant l'arrivée de la crue du NIGER. Apports du NIGER certains en crue abondante et moyenne, mais pénible en crue faible et courte.

c) Lac AOUGOUNDOU -

De forme triangulaire, 80 à 130 km^2 suivant le degré de remplissage, il comporte un îlot : DOUNDE-ALKAYA (cote 276 m I.G.N.). Les collines d'OREVENDOU à l'Est du lac (327 m) ruissellent pendant les averses d'hivernage mais le bassin est restreint. Les apports locaux du lac sont donc très peu de chose mais nous avons vu qu'il y avait une possibilité d'alimentation en hivernage par le KORADOU en eau venant du KORAROU (le point serait à vérifier).

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

En résumé, l'alimentation du lac AOUGOUNDOU est complexe :

1°) Pluies locales de la montagne d'ORE-VENDOU en Août, Septembre (faibles).

2°) Possibilités d'apports venant du KORAROU bien alimenté en Septembre, Octobre (certainement peu importants).

3°) Alimentation par la crue du NIGER de Novembre à Janvier (l'emporte nettement sur les deux précédentes).

Remarque : Nous ne connaissons rien de la bathymétrie des lacs KORAROU et AOUGOUNDOU, par conséquent rien également de leur capacité.

d) Système de lacs NIANGAYE-HARIBONGO -

Il s'agit d'un chapelet de lacs importants situés en série à l'aval du NIANGAYE et du GAROU et alimentés successivement par trop-plein et déversement de l'un vers l'autre.

Les apports locaux sont quasi nuls (reliefs peu accusés et envahissement dunaire complet). L'eau vient du NIGER, à travers la cuvette par le mayo DOIO et le BARA ISSA, l'émissaire se partage à TIEKAWAI en deux bras, l'un vers le lac AOUGOUNDOU l'autre vers TOUNKARAROU en direction du NIANGAYE.

D'après les photos aériennes, une communication mal calibrée semble possible entre le mayo DOIO et TOUNKARAROU le long d'un bas fond interdunaire vers SARE SANA.

L'entrée du NIANGAYE (village de TILERE) n'est à vol d'oiseau qu'à 45 km du BARA ISSA et d'après la carte au 1/200 000^e, la cote maximale moyenne du lac semble être voisine de 260 m ce qui, nous l'avons vu, laisse une bonne pente lors de la crue dans le BARA ISSA.

Malgré les infiltrations dans les sillons dunaires, l'émissaire doit donc débiter chaque année, même en crue déficitaire, plus ou moins abondamment, mais nous verrons que le remplissage du système de lacs exige des volumes considérables. L'alimentation dépend de la hauteur de la crue du NIGER, mais aussi de la durée pendant laquelle les eaux se sont main-

tenues au-dessus d'une certaine cote (les deux facteurs sont d'ailleurs liés).

Lac NIANGAYE -

C'est le plus puissant du système de lacs de la rive droite. Imposante étendue d'eau de forme triangulaire orientée Est-Ouest, longue de près de 40 km, large de 7 à 13 km, sa forme est caractéristique des lacs de la zone lacustre (analogie frappante avec celle du FAGUIBINE et de l'HARIBONGO); nous la retrouverons dans les lacs de la rive gauche.

Sa plus grande profondeur, au maximum de la crue 1955-1956 était d'environ 6,50 mètres, en un point confondu en planimétrie avec le centre de gravité du triangle. Les courbes bathymétriques sont triangulaires et parallèles.

Capacité :

Maximale 1955-1956		1 300 millions de m ³		
1 m au dessous		1 000	-	-
2 m	-	730	-	-
3 m	-	460	-	-
4 m	-	260	-	-
5 m	-	100	-	-
6,50 m	-	0	-	-

Il est relié au lac DO par un émissaire bien calibré appelé le canal de BAMBARA-MAOUNDE large de 200 à 500 mètres et long de 11 km environ. Sa profondeur varie de 1,50 m à 4,00 m (crue 1955-1956) avec un seuil rocheux au Nord de BAMBARA-MAOUNDE. Il faut donc environ 800 millions de m³ dans le lac NIANGAYE pour que commence le déversement dans le lac DO.

Lac DO -

Il semble continuer la forme du NIANGAYE et en avoir été séparé par l'envahissement du sable. Il est orienté N-O - S-E.

Longueur : 18 km environ
Largeur moyenne : 8 km
Profondeur maximale crue 1955-1956 : 9,5 à 10 mètres

Capacité

Pour hauteur maximale crue 1955-56		800 millions de m ³		
- 1 m	au dessous	675	-	-
- 2 m	-	540	-	-
- 3 m	-	430	-	-
- 4 m	-	330	-	-
- 5 m	-	230	-	-
- 6 m	-	140	-	-
- 7 m	-	70	-	-
- 9,50 m	-	0	-	-

Le lac DO peut s'évacuer à son tour 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.

Lac GAROU -

Le système du 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.

Capacité de l'ensemble des 4 lacs :

Pour hauteur maximale 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 émissaire Est-Ouest venant du BARA-ISSA, son cours est mal calibré et parsemé de mares d'épandages. Son régime d'alimentation peut se comparer à celui du NIANGAYE.

Lac GAKORE -

Directement relié au GAROU par un large et court vestibule à l'Est du village de DAKA FIFO, formant seuil encombré de végétation aquatique, dont la cote se trouverait à environ 2,00 m au-dessous de la cote maximale 1955-1956. Ce seuil ne déverserait dans le GAKORE qu'après une accumulation de 435 millions de m³ dans le GAROU.

Notons que sa capacité maximale en Février 1956 était de 150 millions de m³ et sa plus grande profondeur voisine de 4,40 mètres.

Lac TINGUERE -

Il représente à peu près le 1/5 du précédent en étendue et en volume et en reçoit ses eaux.

Lac TITOLAOUEN -

Il est alimenté par l'extrémité Est du GAROU et presque en même temps que lui par la passe profonde de ADABAI-MAHAMOUD (ou marigot de HANDIDI). Il joue surtout le rôle de réservoir distributeur des lacs HARIBONGO et KABONGO.

Sa profondeur maximale en 1956 était de 6,60 m et sa capacité maximale de 80 millions de m³.

Lac HARIBONGO -

De forme triangulaire très allongée, pointe vers l'Ouest. Long de 25 km, large de 4 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.

C'est le plus profond des lacs de la Rive droite (près de 11,50 m en 1956). Il est rarement alimenté et se comble lentement par les apports de sable.

Sa capacité maximale en 1956 était d'environ 290 millions de m³.

Lac KABONGO -

Alimenté par le bras de TARASHAM (16 km) venant du TITOLAOUEN, il ressemble à ce dernier. Sa plus grande capacité en 1956 était de 75 millions de m³. Il est lui aussi encore très profond (9,20 m).

Remarque - Ce sont les lacs les plus éloignés des sources d'alimentation, et par conséquent recevant de l'eau le plus rarement, qui présentent les plus grandes profondeurs. Ce phénomène est valable aussi pour les lacs de la rive gauche. On peut y voir une prépondérance des apports alluviaux sur les apports éoliens et en conclure que, depuis la mise en place des grands ergs et des "tayeurts" axés Est-Ouest, le NIGER a plus apporté dans son delta central que les vents du quadrant Nord-Est.

2°) DONNEES SOMMAIRES Sur le REGIME des LACS de la RIVE DROITE -

Nous avons reporté sur un croquis simplifié (graphique n° 1) les données précédentes et indiqué sommairement les conditions de remplissage des différents lacs du système de la Rive droite, suivant l'importance de la crue du NIGER.

Une étude hydrologique de cette région amènera certainement des retouches et peut-être des révisions. Nous ne voulons que résumer les facteurs prépondérants.

Un livre très intéressant "Le Moyen NIGER et sa boucle dans la région de TOMBOUCTOU", de Gaston MOURGUES, paru en 1933, donne de très précieuses indications sur le degré de remplissage de ces lacs de 1908 à 1930.

Les 6 lacs extrêmes et même le lac D0 semblent avoir été à sec pendant la période 1895 - 1925. Les fortes crues de 1893-1895 avaient rempli l'ensemble, puis l'assèchement se poursuivit pendant le cycle sec suivant, marqué particulièrement par les années très déficitaires de 1913 et 1914 (fréquence comprise entre 1/50 et 1/100).

L'abondance exceptionnelle des années 1924 et 1925 suffit à remplir les lacs qui se maintiennent à un niveau variable mais élevé jusqu'en 1933. L'assèchement reprit alors

d'une façon régulière (années sèches de 1940 à 1945) jusqu'en 1950. En 1955-1956, les lacs sont de nouveau pratiquement pleins jusqu'à la fin de la période abondante en cours actuellement.

Les lacs HARIBONGO et KABONGO, situés à l'extrémité du système, sont donc très exceptionnellement en eau et pendant peu d'années. Il faut au moins deux années très fortes successives ou séparées à la rigueur par une année faible ou moyenne pour transporter 250 à 350 millions de m³ dans ces deux lacs extrêmes.

Si nous supposons le lac HARIBONGO plein il suffit d'une année d'évaporation non compensée par les apports nuls d'une année faible ou moyenne pour absorber la moitié de son volume. Si l'épuisement se poursuit seulement 3 ans, le lac se vide complètement. Il est facile de comprendre que de telles conditions font que ces lacs sont rigoureusement à sec pendant de longues périodes pouvant atteindre 15 à 30 années. Par contre, les périodes en eau n'ont duré guère plus de 8 à 10 années.

Les lacs NIANGAYE, AOUGOUNDOU et à fortiori KORAROU sont toujours en eau mais l'oscillation du niveau dépend de la puissance de la crue à compenser les pertes annuelles par évaporation.

Le lac GAROU reçoit également de l'eau chaque année mais sans doute plus difficilement.

Le DO se trouve dans une situation précaire puisqu'il faut un remplissage aux 2/3 du NIANGAYE pour qu'il commence à recevoir de l'eau.

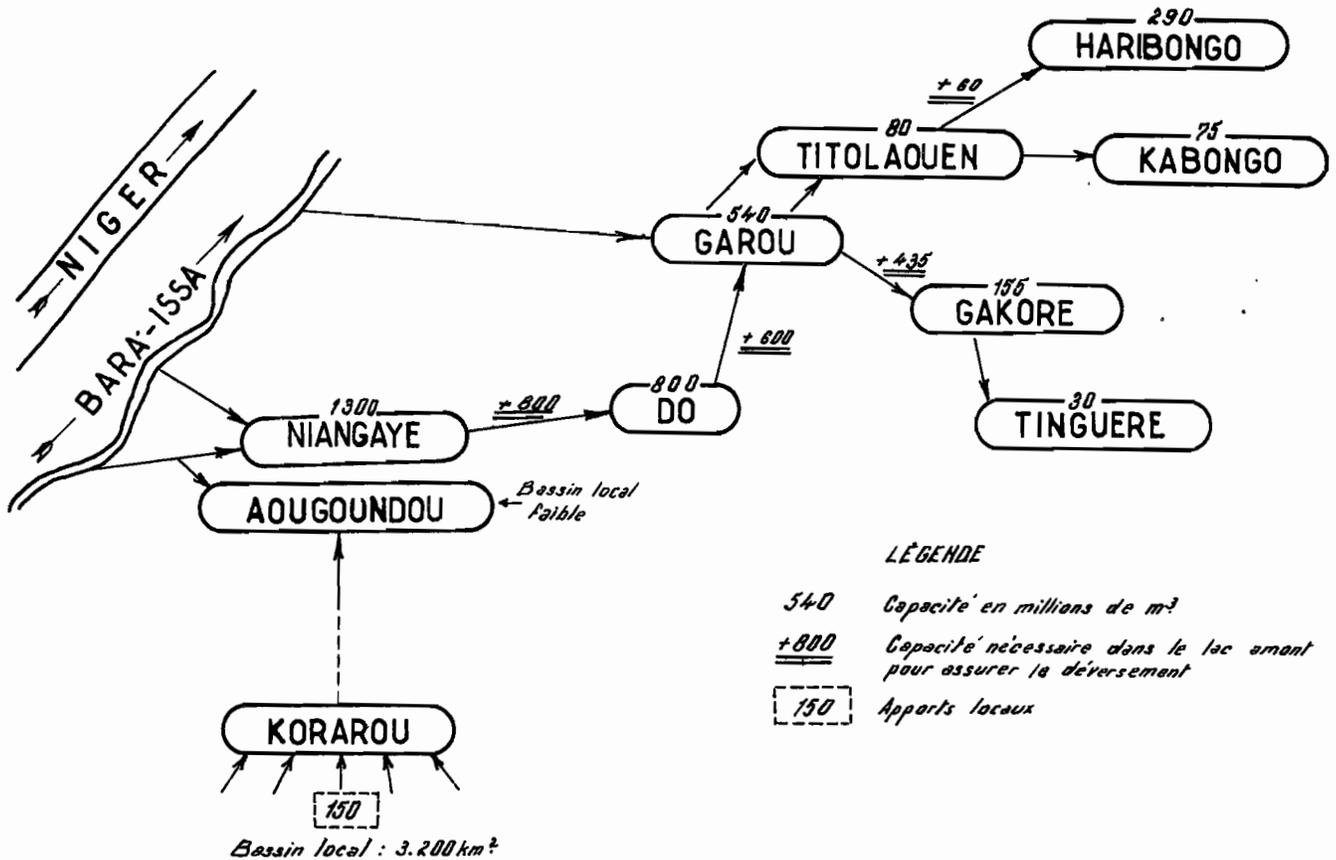
3°) REMARQUE sur la MORPHOLOGIE des LACS de la RIVE GAUCHE --

L'examen des cartes au 1/200 000° permet de faire les observations suivantes :

(Carte TOMBOUCTOU-Ouest)

a) Présence de 3 chaînons gréseux orientés Nord-Sud, à savoir de l'Ouest à l'Est :

RÉGIME DES LACS RIVE DROITE



ALIMENTATION

KORAROU	Chaque année suivant le régime des pluies
AOUGOUNDOU	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 aux 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	

- 1er Axe - TAGUILLEM (île du FAGUIBINE)
TIN SOTRA (à l'Ouest du TELE)
OROTONDI (à l'Est du HORO)
Passe rocheuse de TONDIFARMA dans le lit du NIGER.
- 2ème Axe - Massif Est du FAGUIBINE (ABANKOR)
Massif de GOUNDAM à l'Est du TELE (KIROKAMBA)
FATI-TONDI à l'Est du FATI.
- 3ème Axe - Mont FARACH à l'Est du KAMANGO
Passe rocheuse de DJIN-DJIN (dans le lit du
TASSAKANT)

Ces trois axes plongent vers le Sud et disparaissent sous les sédiments de la cuvette deltaïque. Le 3ème axe est cause de la rupture de pente dans le KESSOU.

b) L'ensablement d'origine éolienne de toute la région et la présence de deux directions principales de dunes : NE-SO (la plus fréquente) et N-S correspondant à des dunes moins développées et sans doute récentes.

c) Dans toute la cuvette et même au delà vers le GOURMA, on remarque les traces de grands "tayeurts" orientés Est-Ouest, insérés dans les synclinaux laissés par le dépôt des "ergs" anciens (à la même époque que la mise en place des ergs de OUAGADOU BARA, HODH signalée par Y. URVOY pages 46 et 47 "Les bassins du NIGER").

Le NIGER lui-même à l'Est de TOMBOUCTOU emprunte une de ces "tayeurts".

d) Presque tous les lacs sont flanqués à l'Est d'un massif montagneux, et le FAGUIBINE présente une forme triangulaire très effilée orientée ENE - OSO.

Cette forme ancienne du FAGUIBINE évoque un phénomène aérodynamique ; d'où l'idée d'un lac de formation éolienne dans le sillage d'un écran situé au vent constitué par le massif montagneux. La même hypothèse de formation serait étendue aux autres lacs bien que les dispositions et les formes en soient beaucoup moins séduisantes.

Autour de cette explication, d'autres problèmes se posent et de nombreuses objections apparaissent. Le sillage a-t-il un effet déblayant, c'est-à-dire tendant à dégager des dépôts existant, ou bien, au contraire, empêche-t-il les apports éoliens de s'effectuer à l'intérieur d'un espace privilégié?

Dans le premier cas, le lac aurait évolué, dans le sens de l'agrandissement de ses formes, dans l'autre il évoluerait vers le comblement et l'amenuisement de son tracé.

Il n'est pas aisé de trancher puisque nous ne connaissons la planimétrie exacte de cette région que depuis quelques années seulement. Mais il ne semble pas que, malgré les cycles secs et humides qui se sont succédé depuis 70 ans, les formes des lacs aient beaucoup changé. Nous serions actuellement en situation à peu près stable avec faible tendance au comblement.

Les objections viennent également facilement à l'esprit.

1°) Il faudrait pouvoir vérifier que la position d'un obstacle imposant dans le lit du vent crée l'affouillement à l'aval de l'obstacle. Pour des obstacles ou des écrans petits, il semble que ce soit l'inverse qui se produise ; affouillement à l'amont dans la région des fortes vitesses et faibles pressions et dépôt à l'aval aux vitesses faibles.

D'ailleurs, des exemples naturels viennent à l'encontre de l'hypothèse admise : le massif de HOMBORI dans le GOURMA comporte des sommets isolés dépassant 1000 mètres qui ne donnent aucunement naissance à l'Ouest à de semblables dépressions.

La plaine du BRAKNA en MAURITANIE, située au Sud-Ouest de la Falaise du plateau de TAGANT, présente en pied de falaise des dunes vives (site du poste de MOUDJERIA) et un envahissement dunaire important, sur une profondeur d'une vingtaine de kilomètres. Il y a donc bien dépôts de sable sous le vent du massif.

Les lacs de la rive droite, et en particulier l'HARIBONGO dont la forme est géométriquement semblable à celle du FAGUIBINE, avec même orientation, ne comportent pas d'écrans montagneux à l'Est.

2°) La médiane du triangle formé par le FAGUIBINE devrait indiquer la direction d'une dominance des vents extrêmement marquée, car autrement il est facile de comprendre que la forme pure en serait rapidement altérée.

Si l'on compare des diagrammes de vent pour une même année, enregistrés à des stations différentes de la cuvette, on constate une ressemblance dans l'allure générale des diagrammes mais une variation de la direction dominante, suivant le lieu, à l'intérieur du quadrant Nord-Est.

Exemples : Année hydrologique 1954-1955

Pourcentage des vents de saison sèche.

Station de SEGOU	: Dominante	NE	56 %
	puis	E	14 %
	puis	N	9 %
Station de MOPTI	: Dominante	N	44 %
	puis	NE	26 %
	puis	E	9 %
Station de SAN	: Dominante	NE	43 %
	puis	N	31 %
Station de HOMBORI	: Dominante	E	49 %
	puis	NE	28 %
Station de TOMBOUCTOU	: Dominante	NE	55 %
	puis	E	35 %

Ces variations sont visibles sur les cartes au 1/200 000 d'après l'orientation des petites dunes de formation récente. A l'Ouest de TOMBOUCTOU, elles sont effectivement orientées pour un vent E-NE, mais à 20 km au Nord de cette même localité l'orientation des dunes est décalée de presque 90° indiquant cette fois un vent franchement N-NO. On retrouve d'ailleurs des dunes semblablement orientées au N-E de GOUNDAM ; mais il s'agit de dunes plus anciennes.

On trouve encore la superposition des deux directions dans le pays GOURMA entre le NIGER, et les lacs rive droite et au Nord du NIGER à l'aval de TOMBOUCTOU. Il semblerait donc qu'à la première époque de l'envahissement dunaire le vent était orienté NO-N, donnant l'allure générale du système de dunes anciennes fixées, plus puissant que maintenant puisque capable de mettre en place les grands ergs et les tayeurts formant le modelé général de la cuvette lacustre.

Depuis cette époque, le vent s'est infléchi vers l'Est et s'est considérablement affaibli, devenant ainsi plus irrégulier en fonction du lieu (influence relative plus grande des accidents du relief et de l'humidité de la cuvette).

Il se produit donc actuellement un placage de dunes d'extension faible, grossièrement orientées N-S, s'imbriquant finement dans le large réseau ancien. Il est curieux de constater que les deux réseaux sont décalés d'un angle d'environ 75°.

3°) La dépression du FAGUIBINE mesure 70 km de longueur jusqu'à RAZ EL MA situé à la pointe occidentale. Il est physiquement certain que, pour les vitesses de vent courantes, l'influence d'un sillage aérodynamique ne puisse pas être perceptible sur une si longue distance.

Les conclusions à tirer de cet examen morphologique sont les suivantes :

Les lacs actuels marqueraient l'emplacement des anciens tayeurts profonds et inondés. Leur forme se modifie certainement par des apports dunaires, mais lentement. Pour les lacs de forme triangulaire effilée, type FAGUIBINE et HARIBONGO, il peut y avoir comblement par éboulement du sable venant des dunes parallèles aux berges Nord. Enfin, l'action des dépôts fluviaux doit être plus décisive que celle des apports éoliens.

Le tayeurt du FAGUIBINE se prolongeait sans doute autrefois jusque vers BASSI KOUNOU. Celui du TELE, vers la région des DAOUNAS avec un îlot montagneux central dont l'Est est maintenant en partie comblé.

Le chenal FAGUIBINE-DAOUNAS s'est ouvert vers le Sud lors d'un remplissage exceptionnel.

Les lacs de la Rive droite sont l'aboutissement occidental d'anciens tayeurts s'étendant très loin dans le GOURMA, maintenant en partie comblés mais encore jalonnés par d'importantes mares.

Le NIGER lui-même, à l'Est de TOMBOUCTOU, emprunte un large sillon dunaire, fermé par le seuil de TOSSAYE lentement érodé et débouchant dans la vallée fossile du TILMSI.

Enfin, les axes montagneux semblent avoir joué un rôle secondaire, si ce n'est en canalisant les émissaires, en modifiant parfois le processus de comblement.

4°) SYSTEME LACUSTRE de la RIVE GAUCHE -

Entre le DEBO et GAMOU (aval de la confluence du bras de SEBI), l'extension des inondations sur la rive gauche dépasse 100 km en direction de MEDALA et de l'appendice de BASSI KOUNOU. Elles atteignent largement et franchissent même par endroit le tracé de la piste NAMPALA-LERE.

Il ne s'agit plus d'émissaires apparents mais d'un fouillis de cuvettes d'épandages, et de mares intercommuniquantes. Il n'y a plus d'écoulement superficiel visible mais plutôt affleurement de la nappe générale du Delta, et imprégnation totale de la bordure occidentale de la cuvette. C'est une zone à forte évaporation dans les sables humectés par remontées capillaires.

Près du fleuve, à l'Est de LERE, les lacs TANDA et KABARA sont classiquement alimentés par des bras venant de l'ISSA BER (cours principal du NIGER). Ces lacs sont peu profonds et bordés au Nord de dunes sableuses.

Citons au passage la grande mare de TAGADJI au Nord de la boucle de DABI.

Puis c'est le franchissement du seuil 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'embranche le court émissaire du lac HORO.

a) Lac HORO -

Grossièrement triangulaire de 15 km sur 10 km, il s'adosse à la montagne HORO. Son régime est très simple puisqu'il est influencé directement par la crue du NIGER.

Son bassin est peu étendu, mais ruisselle sur les berges rocheuses qui l'entourent.

Le sens du courant dans l'émissaire s'inverse à la décrue pendant la période de vidange du lac. Il est barré à BANKANI par un ouvrage en dur construit par l'Office du NIGER permettant de contrôler la vidange et d'améliorer les cultures installés sur la frange Sud et Ouest du lac.

b) Lac FATI -

Il ressemble au lac HORO mais il est moins profond. Son émissaire est plus long et plus sinueux. Les régimes hydrologiques des deux lacs sont identiques.

Entre 1910 et 1915, l'Ingénieur de l'Agriculture VITALIS tenta de réunir le FATI au marigot de GOUNDAM en creusant un canal au Nord du lac. Cet aménagement avait pour but de faciliter l'alimentation des lacs TELE et FAGUIBINE dont l'assèchement progressif inquiétait les populations du Nord. Les travaux furent abandonnés mais les traces imposantes du canal sont encore bien visibles. La régularisation des lacs du système FAGUIBINE semble maintenant vouloir être entreprise en agissant directement sur leurs propres émissaires dans la région du KESSOU.

Les lacs HORO et FATI sont séparés par les Monts OROTONDI et le FATI semble se combler par des apports éoliens venant du Nord.

c) Région du KESSOU -

C'est la zone d'alimentation des lacs éloignés de la rive gauche, s'étendant entre TINDIRMA à l'embouchure de l'émissaire du FATI et KORIOUME, escale de basses eaux de TOMBOUCTOU.

R. BRAQUAVAL et P. DUBREUIL ont fait l'étude hydrologique complète de cette région, en 1958-1959, dans le cadre de la MEAN, en vue de la régularisation du remplissage des lacs. Nous la résumerons sommairement :

La pente générale de KESSOU est dirigée vers le N-O; d'abord très faible en bordure du fleuve, elle s'accélère brutalement 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.

Signalons, au passage, les remarquables évaluations effectuées, sans jaugeage, par G. MOURGUES dans son livre déjà cité, paru en 1933 (page 65), il indique un "apport de 3 milliards de m³ en période de grande crue".

d) Système des lacs TELE et FAGUIBINE -

Le marigot de GOUNDAM débouche dans la partie Sud du lac TELE dont la forme évoque une poche d'estomac. Il s'étire sur une longueur de 30 km vers le Nord, le long du chaînon montagneux. Dans sa partie centrale il se retrécit, comblé par les dépôts sableux issus du massif.

Au Nord, il se vidange par le seuil de KAMAINA, dont la cote, donnée essentielle, est encore inconnue, vers le vestibule de BAKADA desservant à l'Est les lacs GOUBER et KANIANGO (qui n'en font qu'un de 75 km² en pleines eaux) et à l'Ouest le grand lac FAGUIBINE.

Le fond du TELE se trouve sensiblement à la cote 252,50 m (nivellement général I.G.N.); pour une profondeur maximale de 5 m, sa capacité est comprise entre 300 et 350 millions de m³, sa surface est de 190 km².

Le TELE ne se vidange pas entièrement vers le Nord et une partie de son volume peut s'épuiser par évaporation.

Le FAGUIBINE plein a la forme d'un triangle isocèle, très effilé, long de 75 km jusqu'à RAZ EL MA, sa largeur la plus grande est de 15 km. C'est le plus grand lac d'AFRIQUE occidentale. Il comprend 3 îles importantes (TAGUILLEN, ARIEY, FONDOGORO) débris apparents des synclinaux perchés formant les chaînes gréseuses de la région de GOUNDAM.

La profondeur maximale du lac située approximativement au centre de gravité du triangle est d'environ 10,5 m. La cote maximale I.G.N. du niveau des eaux semble être voisine de 256,50m, correspondant à une superficie en eau de 590 km².

La cote maximale annuelle du lac est atteinte en fin de période d'alimentation (vers la fin Février ou le début de Mars), sa cote minimale l'est en début de période d'alimentation (courant Novembre). Entre ces deux dates, compte tenu de l'apport de volume dû aux précipitations locales (250 mm en moyenne), la baisse habituelle admise du niveau du lac est voisine de 1,50 m. Ce qui correspond à une perte moyenne pendant cette période d'épuisement de 6 mm par jour (évaporation presque uniquement car les infiltrations paraissent assez faibles dans les fonds constitués d'argile à diatomites).

Si le lac se trouve pratiquement plein en fin d'alimentation, la perte en volume pour l'ensemble du système TELE-FAGUIBINE est de l'ordre de grandeur de 1500 millions de m³.

Tenant compte également des pertes dans le TELE, il faudrait, d'après les évaluations SOGREAH d'Août 1957, un apport annuel à GOUNDAM de 635 millions de m³ pour maintenir le FAGUIBINE aux alentours de la cote 248,50 m, cote qui correspond à une capacité de 498 millions de m³ (la cote 248,50 a été choisie parce que l'oscillation annuelle du lac découvre le maximum de terre cultivable). On comprend aisément que le maintien en pleines eaux de ces lacs, exige des volumes écoulés à GOUNDAM possibles seulement en crues abondantes; le remplissage impose une succession d'années très fortes

(1) correspondant à 256,50

Le régime interannuel du FAGUIBINE reflète donc les diverses périodes sèches et humides du NIGER. Les périodes de pleines eaux connues sont 1894-1930-1956, les époques d'assèchements complets : 1914-1924 et 1944.

De 1924 à 1930, les lacs asséchés complètement se sont remplis grâce aux apports de 6 crues successives.

Crues	H %	Hydraulicité à KOULIKORO par rapport à la moyenne 1907-1957
1924	:	142
1925	:	153
1926	:	112
1927	:	126
1928	:	140
1929	:	135
		Moyenne 135 %

De 1944 (lacs vides) à 1950, les apports durent se maintenir très faibles (hydraulicités nettement inférieures à la moyenne); puis de 1951 à 1955, nouveau remplissage mais moins complet que lors de la période précédente (DAOUNAS non alimentés).

Crues	H %	Hydraulicité à KOULIKORO rapportée à la moyenne 1907- 1957
1951	:	135
1952	:	109
1953	:	127
1954	:	134
1955	:	134
		Moyenne 128 %

Le maintien des lacs pleins, en tenant compte des pertes par infiltrations, exige un apport annuel sans doute voisin de 2000 millions de m³, ce qui correspond à une année d'hydraulicité à KOULIKORO de 115 %.

Nous avons vu que le maintien du FAGUIBINE à la cote 248,50 m exige 635 millions de m³, soit une année d'hydraulicité de 90 % environ.

On en déduit grossièrement que le maintien des lacs à une cote moyenne correspond à un apport de 1300 millions de m³ soit une année d'hydraulicité d'environ 102 %.

Ces valeurs peuvent permettre, en considérant le tableau des hydraulicités des années passées, de mieux saisir les cycles de remplissage et d'assèchement.

1ère Remarque -

Si les lacs sont presque vides, une année d'hydraulicité égale à 100 % ne suffira pas pour faire déborder le TELE, qui se remplit, en premier, dans le FAGUIBINE et ce dernier pourra continuer à s'assécher.

Exemple :

Crue 1921	Hydraulicité en %	68 %	seulement
1922		94 %	
1923		100 %	

Or, le FAGUIBINE s'est asséché complètement en 1924.

2ème Remarque -

Entre un assèchement et un remplissage complet, il faut une série d'années humides (environ 5 à 6) dont la valeur moyenne de l'hydraulicité (prise sur le NIGER à KOULIKORO) soit d'environ 130 %.

Lacs GOUBER et KAMANGO -

Cette dépression se trouve entre les Monts FARACH et le massif Est du FAGUIBINE, elle semble alimentée dans des conditions plus difficiles que le grand lac.

Au plein, la surface en eau est de 70 à 80 km². La partie Sud-Est de la poche semble se combler par des sables issus des Monts FARACH.

Nous ne possédons aucune donnée sur la profondeur et la capacité de ces deux lacs.

Les DAOUNAS -

On appelle DAOUNAS les deux dépressions DAOUNA KEINA et DAOUNA BEHRI situées à 20 km au Sud du FAGUIBINE et reliées à ce dernier par un émissaire sinueux, ensablé long d'une trentaine de kilomètres.

Le fond des DAOUNAS 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 DAOUNAS est vraisemblablement un reste du tayeurt du TELE, remise en eau pour la dernière fois en 1893-1895. La communication FAGUIBINE-DAOUNAS s'est ouverte par trop plein du FAGUIBINE et fonctionnait lorsque les niveaux d'eau de ce dernier étaient plus hauts qu'en 1955.

Chercher à remettre en eau les DAOUNAS est une utopie. Cette opération fut tentée en 1929-1930 à une époque pourtant propice (cote très élevée du grand lac), mais la progression des eaux ne dépassa pas le sixième kilomètre (G. MOURGUES). Elle fut reprise en 1955-1956 sans plus de succès.

Une cote exceptionnellement élevée du FAGUIBINE, supérieure à celle de 1930, en assurant une charge convenable et un transit important dans le canal, suffirait à le déboucher et à le recalibrer par érosion. C'est ce qui se passa sans doute en 1893 ou 1894, mais les eaux étaient plus hautes qu'en 1929-1930 puisque JOFFRE relate la noyade d'un tirailleur à RAZ EL MA, localité à peine atteinte par les eaux en 1930 et pas du tout en 1956.

La mise en eau naturelle des DAOUNAS est donc un événement dont la fréquence est quasi centenaire.

Mais, depuis cette époque, le canal n'a pu que s'ensabler davantage et la fréquence du phénomène ne peut que diminuer.

Des travaux de déblaiements considérables permettraient évidemment cette remise en eau artificielle, mais elle resterait dépendante du régime irrégulier du FAGUIBINE. De tels travaux ne seraient donc pas intéressants.

De plus, dans le cas d'une régularisation du FAGUIBINE à une cote basse, solution qui semble adoptée à l'heure actuelle, la réduction de la charge amont serait telle que la question ne se posera plus.

Le fond de la cuvette des DAOUNAS est riche en terre à diatomites cependant, et il passe pour être un sol extrêmement fertile. L'abondance des récoltes effectuées lors de la décrue de 1894-1895 est restée légendaire dans la région. Mais il est probable, comme ailleurs, qu'une culture intensive appauvrirait rapidement les terres.

E - BASSINS VERSANTS DE L'YAME ET DU BANA (5 340 km²) -

Ces deux bassins sont drainés par deux affluents du NIGER qui le rejoignent sur sa rive droite entre MOPTI et KONA.

Le premier est surtout important (4 670 km²) car il est alimenté par la presque totalité du plateau gréseux de BANDIAGARA, s'étendant à l'Est de MOPTI, et appelé encore plateau DOGON. Le cours d'eau traverse la route MOPTI-KONA au pont de NIAKONGO.

L'altitude du massif 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 (1). 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 "dits" horizontaux est largement faillé dans une direction grossièrement perpendiculaire à la première (ONO-ESE).

Ces deux directions principales sont imposées aux cours d'eau sillonnant le plateau.

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 sa confluence 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.

(1) Remarque : Noter la discontinuité avec le massif de GOUNDAM dont les mêmes synclinaux perchés sont axés Nord-Sud (signalée par G. PALAUSI).

C'est une région très pittoresque, touristique, au climat agréable et frais en hivernage et en début de saison sèche. Lorsque les eaux courantes y abondent, certains sites rappellent les paysages du FOUTA DJALLON en GUINEE.

Les DOGONS sont craintifs mais industriels et bons cultivateurs (jardins en terrasses, irrigations par transport d'eau à la main, accumulations de terre dans les infractuosités du rocher permettant la culture des oignons et du piment).

Certains villages DOGONS accrochés ou dissimulés dans les blocs rocheux sont très curieux (BABOYE).

Le Bassin du BANA (670 km²) est situé dans la partie N-O 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, 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 2 rivières, YAME et BANA, dans la bande de 300 à 600 millions de m³ suivant l'hydraulicité annuelle.

F - LE BASSIN DU NIGER EN AVAL DE LA CUVETTE LACUSTRE -

(Surface approximative : 3 200 km²).

A l'Est de TOMBOUCTOU, le fleuve change de direction et s'engage dans un large sillon dunaire d'axe rectiligne sur plus de 200 kilomètres (jusqu'à BAMBA).

Au fond de ce "tayeurt", il divague régulièrement d'un bord à l'autre sur une largeur de 5 à 8 km, au-delà c'est la dune. Il n'y a pratiquement plus de bassin ni d'alimentation, ni d'épandage, le NIGER est sorti de la zone lacustre.

A l'aval de KORIOUME sur la rive droite, on rencontre quelques inondations de très hautes eaux rappelant la cuvette lacustre mais, au-delà de TIN NATEN, la piste rive gauche qui ne s'éloigne jamais du fleuve à plus de 5 ou 6 km est toujours praticable en pleine crue.

La rive droite, la rive dite du GOURMA, est également envahie par les dunes sur une profondeur d'une quinzaine de kilomètres.

Les paysages de la "cuvette" ont été remplacés par ceux de la "boucle" où la couleur verte s'efface de plus en plus entre le bleu du NIGER et le jaune aveuglant des dunes vives.

Il ne reste presque plus rien que l'eau et le sable. La vie même s'en va, si elle s'accroche au fleuve c'est dans la misère. Les groupements SONGAI suivent le déplacement des eaux et campent sous des tentes arrondies couvertes de nattes. Les précipitations sont plus faibles que partout ailleurs dans le bassin actif du NIGER. En saison sèche la chaleur est torride. Les cultures s'acharnent sur les berges plus argileuses et dans le fond même des bras du fleuve à la décrue. Ce sont du mil, un peu de riz, très peu de blé et du tabac. Les produits de cueillette constituent un appoint précieux (bourgou, graminées sauvages et cram-cram s'il a beaucoup plu).

En cas de faible crue et d'hivernage sec, c'est la famine.

Au-delà de BAMBA, le fleuve se rapproche du socle précambrien du GOURMA en s'infléchissant vers le Sud, refoulé sans doute par l'envahissement sableux à la sortie du tayeurt. Le lit majeur s'affine et le rocher affouillé apparaît (BARKAINA, îlots rocheux de KORGROYE et CHABARIA).

Il coule déjà sur le socle qu'il entame lentement par érosion régressive puis, brusquement, c'est un retrécissement en amont de TOSAYE et l'engouffrement dans une faille large de 200 à 300 mètres (12 à 15 mètres de profondeur), longue de 2400 mètres : c'est le défilé de TOSAYE. En aval, la pente s'accélère ; le franchissement du défilé et le déblaiement du fond de la faille par affouillement commande, de l'aval, le niveau de base dans la cuvette. Cette action est évidemment très lente, mais TOSAYE reste le point névralgique du profil d'équilibre du NIGER moyen.

TOSAYE devrait être une station hydrométrique importante puisque'elle est stable, univoque et précise en étiage, mais elle est de création trop récente (Juin 1954) pour apporter des éléments nouveaux.

Cependant, il existe dans les archives d'anciens relevés :

1904-1905	effectués par les militaires occupant
et 1909-1910	le Bordj du défilé
1936-1937	effectués par l'Office du NIGER ainsi que des jaugeages.

Mais toutes ces échelles ont disparu ainsi que les repères de nivellement.

L'étalonnage de la station actuelle est en cours mais progresse lentement à cause de l'accès difficile.

Signalons la découverte sur photos aériennes (G. PALAUSI - Bulletin n° 20 de la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie) d'un bras fossile du NIGER, naissant en aval de KORIOUME et se dirigeant vers le Nord en Direction d'ARAOUANE (5 mètres de pente sur les 35 premiers kilomètres). Bien entendu, il est maintenant complètement à sec, et son lit est masqué par les dépôts de sables éoliens.

C H A P I T R E I I

A - GEOLOGIE DU DELTA CENTRAL NIGERIEEN -

Il apparaît indispensable, dans le cadre d'une Monographie Hydrologique du Delta Nigérien, d'exposer d'une manière succincte et simplifiée l'aspect géologique de la cuvette. Pour ce faire, nous puiserons largement dans les rapports de M.G. PALAUSI, publiés par le Service des Mines et de la Géologie de l'ex A.O.F.

La cuvette lacustre proprement dite commence au franchissement par le NIGER et le BANI de la limite du faciès primaire gréseux recouvrant le socle ancien granitique imperméable, dont les affleurements ne sont visibles que très en amont de BAMAKO. La direction générale du socle ancien est SSO-NNE.

Sur ce socle, nous trouvons la succession classique des séries sédimentaires gréseuses azoïques, appelées grès horizontaux. Les différentes couches sont empilées les unes sur les autres. Elles apparaissent sous forme d'auréoles sensiblement concentriques, autour d'une cuvette dont le centre serait situé dans la région du HODH.

La région qui nous intéresse se trouve dans le quart Sud-Est de la cuvette ainsi définie, nous y rencontrons dans l'ordre, de bas en haut, les différents étages suivants :

- Grès de SOTUBA

- Grès de BOBO DIOULASSO.

- Schistes gréseux, verts, bleus et rouges
- Grès de KOUTIALA
- Grès de BANDIAGARA

Le pendage général de la fosse sous le delta central est dirigé approximativement vers le N-NO.

De plus, le fond primaire comporterait un certain nombre de plissements de détail (rides) parallèles, orientés SO-NE dont les principaux, détectés grâce aux affleurements visibles, seraient les suivants :

- Anticlinal de BANDIAGARA (schistes visibles à BABOYE),
- Anticlinal de TOGO DEBO (aligné sur l'affleurement gréseux de DIAFARABE et les vestiges de grès constituant aux environs du DEBO, les monts GUINDIO, le rocher MARIE-THERESE et le mont SAINT-CHARLES, étage des grès de BANDIAGARA).
- Anticlinal de NEMA constituant les collines barrant en partie la fenêtre du HODH.

Nous n'entrerons pas dans les détails physiques des roches constituant les différents étages de la série primaire.

Indiquons 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 inexistantes.

Les grès de BANDIAGARA, dans la cuvette lacustre, sont démantelés et n'apparaissent que très rarement, au contraire l'étage inférieur (grès de KOUTIALA) en constitue 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.

L'intérieur de cette dépression primaire s'est comblé principalement entre le Tertiaire moyen et le Quaternaire. Il ne resterait aucune trace des dépôts antérieurs.

Au Tertiaire, il s'agirait de formations sédimentaires à caractère continental ou désertique comprenant :

- 1°) Continent Intercalaire (ou Indifférencié): grès, sables, argiles .
- 2°) Continental Terminal (au-dessus): grès argileux, ocre, bariolés rouges ou violets.

Ces deux étages sont puissants (jusqu'à 100 m), entièrement aquifères, et jouent un rôle fondamental dans l'hydrogéologie de la région.

Enfin, le Quaternaire est caractérisé par des sables, des sables grossiers, des graviers, des argiles (banco), des argiles noires (fonds de mare ou sols hydromorphes), des diatomites dans le fond de certains lacs. En plus des dépôts d'origine fluviatile, le relief est encombré d'apports éoliens (dus à l'harmattan, vent de saison sèche), constitués de sables fins et d'argiles poudreuses très colmatantes.

DESCRIPTION de la CUVETTE - (Carte N° II) (1)

1°) RIVE DROITE -

De KOULIKORO à NIAMINA, sous des dépôts argileux et sableux de faible épaisseur, 4 à 10 mètres, on trouve les sédiments primaires (grès horizontaux), dont les bancs apparaissent fréquemment dans le lit mineur du fleuve (GOUNI, NIENEBALE, SOW BOUGOU, entre DIANGUINE BOUGOU et DINAN). Ces affleurements sont toujours visibles dans le lit mineur sur la rive droite, et jamais sur la rive gauche, ce qui indique un pendage assez important des grès horizontaux. La ligne de séparation des grès traverse le BANI légèrement en amont de DOUNA. Puis, cet affluent longe la bordure primaire à très faible distance jusqu'au droit du lac DEBO. Jusque-là, le delta s'étendait entièrement sur la rive gauche du BANI, le NIGER lui-même étant excentré vers l'Est par rapport à sa cuvette lacustre. Le delta mort se trouvait nettement décalé vers l'Ouest. Il semble donc que, dans cette partie (jusqu'en amont de KONA), les écoulements superficiels (DLAKA - NIGER - BANI) subissent une migration vers l'Est pour venir buter sur le contrefort primaire.

Au-delà de KONA, le NIGER fait route au Nord-Ouest et s'éloigne du massif de BANDIAGARA en traversant sa cuvette de part en part; nous trouvons dans cette partie les plus grands lacs situés sur le cours même du fleuve (DEBO, OUALLADO-DEBO). Nous y trouvons également les sédiments récents

(1) Y figurent les noms les plus importants. On trouvera les autres sur les cartes au 1/200 000° de l'I.G.N.

les plus fins (vases grises et noires argileuses du fond du DEBO).

Restant sur la rive droite et vers l'aval, le radier primaire s'incurve nettement vers l'Est en direction de DOUMENTZA et HOMBORI, et laisse place au Nord au socle précambrien ou à une série supérieure appelée schistes d'YDOUBAN par les géologues (RADIER - PALAUSI - DEFOSSEZ). La délimitation topographique entre ces deux étages est imprécise. Ce vaste noyau contourné par le cours du NIGER constitue le GOURMA. Il apparaît dans le Sud décapé jusqu'au socle précambrien des IFOURS, sans doute par l'action du ruissellement. Au Nord des lambeaux de schistes plissés d'YDOUBAN, il a subi l'envahissement éolien sur une largeur diminuant de l'Ouest vers l'Est, variant de 50 à 15 km (les dunes atteignent IN AHARA au Sud de RHAROUS).

Ce noyau plongeant vers le Nord est franchi par le fleuve entre BARKAINA et TOSSAYE (1) à l'issue d'un long sillon dunaire. L'exutoire de la cuvette taillé par un lent travail d'érosion, sous forme d'un goulet sinueux long de 4 à 5 kilomètres, large de 250 à 400 mètres, permet le débouché du NIGER dans l'ancienne vallée du TILEMSI (ADRAR des IFORAS) en empruntant le fossé d'effondrement de GAO.

Sur la rive droite du défilé, la roche très dure du Birrimien est parfaitement visible jusqu'au sommet de la berge ; sur la rive gauche, au contraire, il est recouvert d'un manteau d'altération cuirassé très ferrugineux. Tout semble indiquer que le NIGER aurait pu se frayer plus facilement un passage plus septentrional. Il faut admettre que la déflexion puissante de l'envahissement dunaire l'en a empêché, ou encore qu'il a emprunté et agrandi une faille naturelle du massif. On rencontre d'ailleurs en amont de TOSSAYE vers CHABARIA une succession d'îlots rocheux dans le lit du fleuve indiquant des zones d'érosion plus facile .

2°) RIVE GAUCHE -

Vers l'aval la bordure du massif de grès longe sensiblement le NIGER, l'ancien cours du KALA (venant de SEGOU) le lit du FALA de MOLODO remis en eau par l'Office du NIGER.

(1) ou TAOUSSA, terme adopté dans la carte 1/200 000 GAO.

Au-delà de NIONO les bancs de grès se réhaussent sur la rive droite du FALA, dans la cuvette proprement dite (cotes inférieures à la cote 270 m I.G.N.). Cette remontée en surface du radier gréseux a donné les collines axées sur BOULEL, BONNDOU-BOUBOU, LOUGUEL, FARA, BOUGOU, fermant complètement la cuvette vers le Nord et obligeant l'ancien cours du FALA à s'incurver entièrement vers l'Est.

A l'Est de BOULEL, la cuvette communique de nouveau vers le Nord au moyen d'une chicane contournant les collines situées au Nord de BOUNDoubADI (cotes 270-275 absolues I.G.N.), entre NAMPALA et MEDALA.

Le sommet de ces collines culmine entre 300 et 370 mètres. On y retrouve successivement les grès de BANDIAGARA, les grès de KOUTIALA et, au pied, des affleurements de schistes.

Derrière la chicane NAMPALA - MEDALA, le socle primaire s'effondre brutalement pour former la fosse d'OUARTEMACHET qui s'étend sensiblement jusqu'à BASSIKOUNOU.

Cette fosse détectée par sondages électriques (Compagnie Générale de Géophysique) s'allongerait Sud-Ouest Nord-Est depuis NARA jusqu'au milieu du Lac FAGUIBINE. Très profonde (plus de 500 mètres), on y trouve les dépôts sédimentaires du Continental Terminal et du Continental Intercalaire très aquifère (sables argileux, argiles bariolées et ferrugineuses).

Le fenêtré de NAMPALA constitue un véritable débouché sur cette fosse emprunté par l'ancien bras de BASSIKOUNOU (voir tracé de la courbe de niveau 270 I.G.N.).

La carte au 1/200 000° de RAZ-EL-MA n'étant pas publiée, nous ne possédons aucun élément sûr quant au relief de cette région, mais il semble qu'un écoulement superficiel a pu être possible entre BASSIKOUNOU et RAZ-EL-MA dans l'axe du fossé d'effondrement. Nous pouvons rattacher cette hypothèse aux données historiques que nous possédons, relatives au recreusement au 14^{ème} siècle par SONI ALI, du marigot longeant vers l'Ouest le Lac FAGUIBINE dans l'espoir de restaurer un chenal navigable entre ce lac, BASSIKOUNOU et peut-être NARA.

BASSIKOUNOU se trouve à la cote 261, RAZ-EL-MA sensiblement à la cote 256, la communication était donc réalisable, dans le sens Ouest-Est.

Historiquement, cet écoulement a dû exister et constituer le bras le plus occidental de l'ancien delta nigérien.

Entre le lac FAGUIBINE et le NIGER actuel, les puits révèlent l'existence des schistes cambriens et cambro-diluviens; non aquifères en général après démantèlement des grès, ils sont recouverts d'alluvions et de dépôts du Continental Terminal.

Vers l'aval, les grès réapparaissent puissants pour former le massif de GOUNDAM :

- Mont KAROKAMBA au Nord de GOUNDAM protégeant le lac TELE et l'émissaire du FAGUIBINE.
- Mont FARACH à l'Est des lacs KOMANGUI et GOUBER.
- Mont BONKOR à l'Est du lac FAGUIBINE.
- Mont FATI à l'Est du lac FATI.
- Mont HORO à l'Est du lac HORO.

L'ensemble du massif est constitué par des grès de KOUTIALA, les sommets révèlent quelques bancs de grès conglomératique de BANDIAGARA.

Toutes ces montagnes formant écran au vent d'Est Nord-Est ont retardé l'ennoiement éolien et permis la survie de l'ensemble des lacs rive gauche.

A première vue, le massif de GOUNDAM semble se rattacher entièrement au massif de BANDIAGARA (Mont GOUNDOUROU vers le Nord), mais l'examen des directions de plissements (plissements Nord-Sud pour les collines de GOUNDAM et Sud-Ouest - Nord-Est pour le massif de BANDIAGARA) indique que les deux blocs ont subi des mouvements tectoniques différents. Il est probable que le massif de GOUNDAM a pivoté (peut-être au moment de l'effondrement de la fosse de OUARTEMACHET). Il faut en déduire que le radier gréseux au fond de la cuvette présente des zones de rupture et de dislocation qui ont peut-être favorisé le passage du fleuve (d'après PALAUSI).

Dans le Nord-Est du massif de GOUNDAM, nous trouvons sous le Continental aquifère un "haut-fond" gréseux. Les puits y atteignent le socle entre 40 et 110 mètres (c'est-à-dire que

le radier gréseux constituant ce haut-fond plonge lui-même vers le Nord-Est et rejoint sans doute le TIMETRIN à l'Ouest de l'ADRAR des IFORAS).

Au-delà de TONBOUCTOU, la rive gauche est formée par les dépôts du Continental Intercalaire recouverts de dunes de sable, souvent vives en bordure du fleuve ; la direction de ces dunes est parallèle à celle du fleuve.

3°) A l'INTERIEUR de la CUVETTE -

Région située entre le NIGER et le BANI
(SEGOU - MACINA - MOPTI - SAN - DOUNA)

La cote moyenne va en diminuant vers MOPTI (290 à 266 m). L'ensemble est formé de dépôts continentaux recouverts de sable et d'argile. Au Sud-Ouest, le pays est très cuirassé (témoin des cuirasses plus ou moins démantelées sur les collines). Au centre et au Nord-Est, le cuirassement a complètement disparu pour laisser place à une vaste plaine déboisée largement inondée assez riche et très peuplée. Les parties supérieures sont sableuses, les fonds de mares inondées trop longtemps donnent lieu à des sols noirs très hydromorphes, craquelant à la dessiccation. Les zones intermédiaires sont fertiles. Au delà de MOPTI, l'inondation en crue est presque totale et les villages sont souvent installés sur des buttes (toguérés) artificielles exhausées lentement, grâce à l'apport de nouvelle terre argileuse (banco) destinée à remplacer les murs des cases qui s'effondrent chaque année pendant l'hivernage. Ces villages sont souvent entourés de vastes mares pérennes, ces excavations marquent précisément les lieux de prélèvement de banco.

Région située entre le NIGER et le DIAKA
(DIAFARABE - MOPTI - Lac DEBO)

La vallée du DIAKA, tout au moins jusqu'au droit de TENENKOU, adopte sensiblement le tracé de plus grande pente. La plaine considérée se draine donc naturellement vers le Nord-Nord-Est en direction des lacs DEBO et OUALLADO DEBO. Les marigots de drainage orientés presque dans cette direction sont nombreux et bien tracés. Relativement au reste du SOUDAN, ces régions sont prospères et très habitées. Les sols y sont plus argileux et plus fins.

Région à l'Ouest du NIGER et DIAKA

a) Au Sud-Ouest

Cette région est appelée le "MACINA". La terre végétale recouvre des terrains surtout riches en argile, dessous on trouve un étage très rocheux, puis de nouveau de l'argile et enfin le grès (c'est la zone d'action de l'Office du Niger cultivée en riz).

b) Plus au Nord, les apports éoliens se font sentir, les sols sont beaucoup plus sableux (apparition des terres à coton). Le radier gréseux s'exhausse régulièrement (on le rencontre parfois à 28 m de profondeur) jusqu'aux affleurements des falaises de BOULEL formant la chicane de NIIPALA-MEDALA.

c) Au Nord-Est

Les dépôts éoliens sableux s'épaississent sur le Continental Terminal en allant vers le FARIMAKE.

d) A l'Est

La dépression de BASSIKOUNOU est une région de transition, elle annonce les dunes de l'IRRIGUI et l'AKLE, d'autre part, ses affleurements gréseux sont encore typiquement soudanais.

Son alimentation en eau peut se faire normalement par le FALA du MOLODO, mais il est difficile (absence de la carte au 1/200 000^e de RAZ-EL-MA) de préciser le sens de l'ancienne communication BASSIKOUNOU - FAGUIBINE. Jusqu'à plus ample informé, il paraît logique de supposer cet écoulement dans le sens Sud-Ouest - Nord-Est, c'est-à-dire vers le FAGUIBINE et sans doute dans le passé vers la fosse d'ARAOUANE. On rencontre habituellement l'hypothèse du sens inverse. Si cette communication s'est trouvée obstruée par les sables dans sa partie centrale, il est plausible que le chenal prolongeant à l'Ouest le FAGUIBINE en soit issu et qu'il ait été possible de le mettre en eau lors de cotes exceptionnelles atteintes dans ce lac.

Les DACUNAS

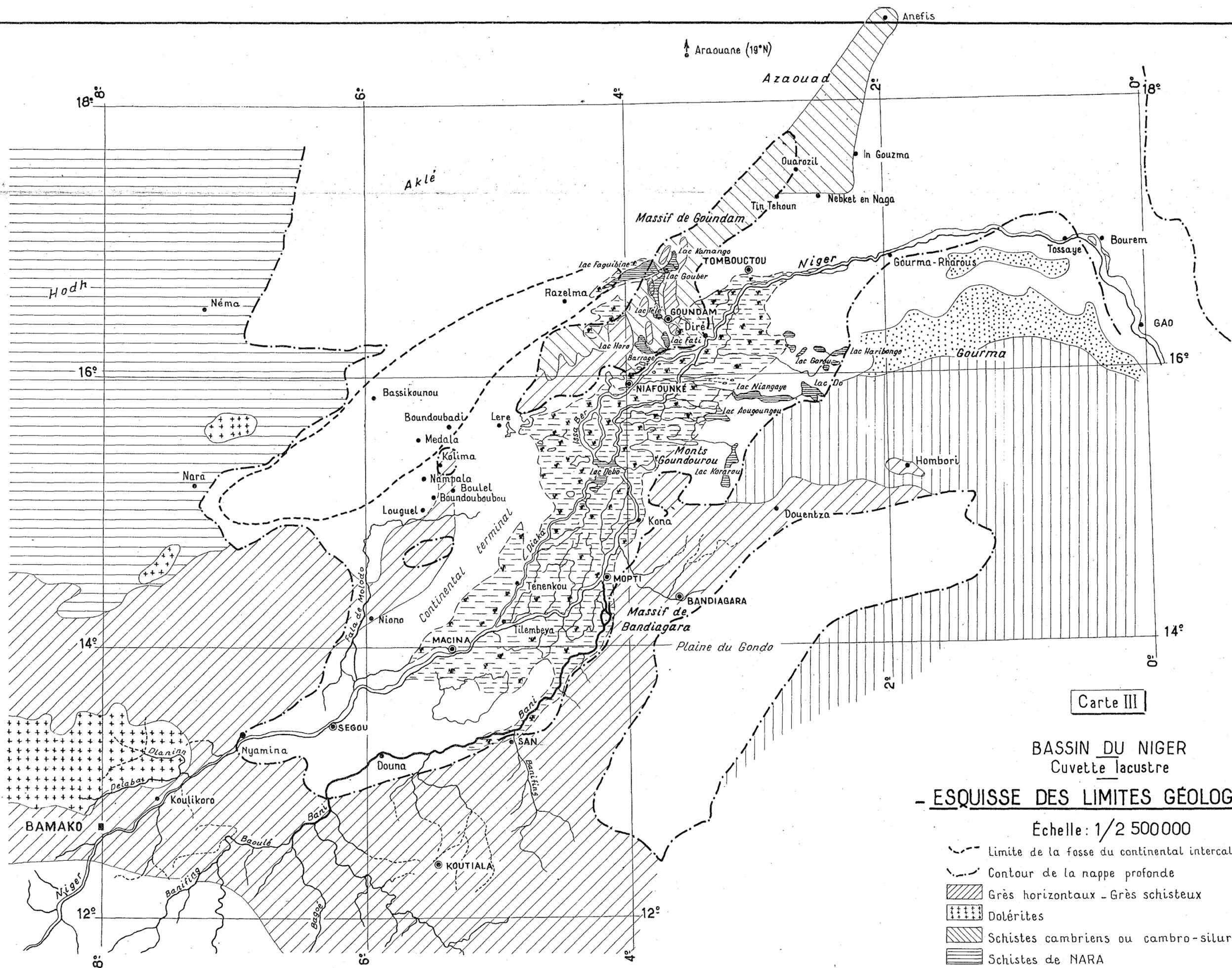
C'est une vaste dépression alimentée par le FAGUIBINE (émissaire de DIOULABOUGOU). C'est peut-être aussi une dépression éolienne créée par le massif de GOUNDAM. On y

rencontre de longues lignes affleurantes de rochers orientés Nord-Sud, rattachée au système tectonique du massif principal.

L'ensablement de l'émissaire qui s'est poursuivi pendant les cycles secs antérieurs à 1950 a empêché l'alimentation de cette plaine pendant les dernières années abondantes.

Région située au Nord du DEBO et à l'Est de l'ISSA-BER

Cette région est comparable à celle du NIGER-DIAKA, mais le relief sableux y est plus accusé. Les berges du fleuve se couvrent de dunes parfois vives. La direction générale de l'écoulement principal (ISSA-BER - BARA ISSA - KOLI-KOLI) est celle du NIGER lui-même. En outre, de nombreux marigots Ouest-Est coulent entre des dunes fixées (palmiers fourchus très caractéristiques) et sont susceptibles d'alimenter toute une série de lacs situés en bordure Est de la cuvette au pied du socle primaire. Les émissaires sont sinueux, très longs et très encombrés, en fait, l'alimentation de ces lacs est aussi dû au ruissellement local pour une bonne part (pluviométrie de 300 à 400 mm).



Carte III

BASSIN DU NIGER
Cuvette lacustre

- ESQUISSE DES LIMITES GÉOLOGIQUES -

Échelle: 1/2 500000

- Limite de la fosse du continental intercalaire
- - - Contour de la nappe profonde
- ▨ Grès horizontaux - Grès schisteux
- ++++ Dolérites
- ▧ Schistes cambriens ou cambro-siluriens
- ▩ Schistes de NARA
- ▤ Schistes plissés du GOURMA
- ▩ SoCLE pré-cambrien

NIG.9914

B - INTERPRETATION HISTORIQUE du COURS du FLEUVE -

Nous ne pouvons exposer les travaux importants qui ont été effectués sur cette question. Y. URVOY a donné une étude détaillée des différentes saisons sèches et humides qui se sont succédées ainsi que les accidents morphologiques correspondants. En fait, cette région est encore trop mal connue pour pouvoir y étayer des hypothèses aussi complètes.

Nous nous en tiendrons donc aux données simples, en interprétant peu. Le but est d'évoquer surtout le sens de variation des phénomènes hydrologiques de la cuvette lacustre dans l'avenir.

Nous avons tracé tout d'abord, soit d'après les cartes au 1/200 000° publiées et cotées, soit d'après les cartes géologiques (rapports de géologues), la courbe de niveau actuelle correspondant à la cote 270 m (I.G.N.) (Carte n° IV).

La cote maximale des hautes eaux est actuellement à TOSSAYE de 255. Supposons que la cote 270 corresponde sensiblement au niveau maximal de la cuvette lacustre dans les temps anciens. Pour une telle cote à cette époque, le véritable fond de la cuvette se trouvait dans les lacs de l'AKLE ou d'ARAOUANE. Elle était vraisemblablement alimentée par une série de bras situés beaucoup plus à l'Ouest que le delta actuel. Pourquoi pas, par exemple, le cours actuel du FALA, puis la chicane de NAMPALA, le fossé d'OUARTEMACHET, le tracé actuel du FAGUIBINE et la direction d'ARAOUANE, en passant au Nord du massif de GOUNDAM.

D'après P. VIGUIER (rapport sur les lacs rive gauche de 1941), on trouverait, sous le fond actuel du FAGUIBINE, des sables alluviaux, non éoliens, très différenciés ainsi que des coques de mollusques bivalves indiquant une "submersion très prolongée et un courant d'écoulement assez puissant".

La surface d'évaporation créée par une telle cuvette suffisait largement pour absorber les débits provenant des Massifs de GUINEE, même en admettant des périodes beaucoup plus humides qu'actuellement. Il n'est donc nullement nécessaire de faire appel à une évacuation possible vers la mer.

Les mouvements d'ensablement ont ensuite comblé petit à petit la partie la plus septentrionale de la cuvette et certainement encombré les chenaux d'accès les plus importants.

Conjointement à celà, les pertes par évaporation diminuant, le niveau de l'eau dans la cuvette a eu tendance à s'exhausser.

Arrêté vers le Nord, le plan d'eau s'est mis à déverser par-dessus le socle primaire aux environs de TOSSAYE. De même, le delta a commencé vers l'Est une lente migration.

L'érosion du seuil de TOSSAYE a alors diminué régulièrement le niveau maximal de retenue et a augmenté le volume évacué, laissant de moins en moins d'extension à la cuvette inondée. Des volumes de plus en plus importants ont emprunté l'ancienne vallée du TILÉMSI en la recreusant et modifiant son profil d'équilibre. De même en partant du seuil érodé, par voie régressive vers l'amont, le profil en long s'est affouillé et le niveau général de l'écoulement s'est abaissé dans le delta.

La fenêtre de NAMPALA étant bouchée, le NIGER délaissant son ancien bras s'est retourné vers l'Est, vers la frange orientale de son ancienne cuvette. Les débits déversés par le seuil de TOSSAYE restant encore faibles, les inondations dans la zone marginale se maintenaient très importantes. Les grandes dépressions et l'ancien delta du Nord s'assèchant faute d'alimentation massive, les eaux d'inondation se sont mises à déverser à travers le massif de GOUNDAM vers le lac FAGUIBINE, créant ainsi l'aspect actuel de cette région (marigots de TASSAKANT, KONDI - Noter l'inversion du sens général de l'écoulement entre le NIGER en amont de TOMBOUCTOU et l'émissaire de TASSAKANT - apparition des seuils de DJIN-DJIN et KAMAÏNA). Par ensablement, la cuvette Nord se réduisait de plus en plus, il n'en restait que le lac FAGUIBINE et la dépression des DAOUNAS protégés par le massif de GOUNDAM ; les surfaces d'évaporation diminuant le niveau a pu s'y exhausser et réalimenter à contre-sens le TILÉMSI de BASSI KOUNOU en partant cette fois du lac FAGUIBINE (pour la navigation de SONI ALI ?).

Les émissaires du massif de GOUNDAM ont commencé à se colmater (argiles éoliennes), les berges elles-mêmes du fleuve se sont élevées par suite des dépôts latéraux des eaux d'inondation, enfin le fond du lit s'affaisse inexorablement par suite de l'érosion rapide du défilé de TOSSAYE (apparition du seuil de TONDIFARMA). Ces trois facteurs, jouant dans le même sens, concourent à diminuer les volumes déversés vers l'ancienne cuvette pourtant située nettement en contre-bas, ces volumes déversés n'étant plus maintenant assurés qu'en période de crues et bientôt de fortes crues. Cet écoulement interrompu va évidemment accélérer le colmatage des émissaires.

Que peut-on déduire de ces hypothèses pour l'avenir, à une échelle géologique des temps, bien entendu ?

- a) Une donnée sûre : l'augmentation régulière du débouché du défilé de TOSSAYE, d'ou variation dans le même sens des débits d'exutoire de la cuvette, diminution régulière des zones inondées, et recreusement régressif du profil d'équilibre.
- b) Des conclusions fort probables :
- Les restes de la grande cuvette Nord (FAGUIBINE et DAOUNAS) sont voués rapidement à l'assèchement total.
 - Le réseau hydrographique s'acheminera vers la suppression du delta par pénurie grandissante d'eau destinée à l'évaporation (Action se propageant d'ailleurs du Nord vers le Sud) et suivant le principe du trajet le plus court.
 - Migration vers l'Est des chenaux principaux - Abandon possible du DIAKA - Emprunt éventuel d'un bras plus direct à l'aval de DEBO (BARA ISSA) permettant surtout de contourner le seuil de TONDIFARMA dont l'effet se fera de plus en plus sentir.
 - Fixation définitive du lit assurant le tracé le plus court et les moindres pertes.
- c) Conséquences possibles : remise en eau ou tout au moins amélioration du sort temporaire, des lacs de la rive droite.

Araouane (19°N)

Azaouad

18°

18°

6°

4°

2°

Aklé

Ouarzizil

In Gouzma

Tin Tehoun

Nebket en Naga

Massif de Goundam

270

Lac Kamango

TOMBOUCTOU

270

Niger

Gourma-Rharous

Tossaye

Bourem

Hodh

Néma

Rozelma

Lac Faguibine

Lac Gouber

GOUNDAM

Diré

Lac Horo

Lac Fati

Lac Haribongo

Gourma

GAO

16°

16°

Bassikounou

Boundoubadi

Medala

Kolima

Nampala

Boulet

Boundouboubou

Nara

Lere

Farimake

NIAFOUNKÉ

Lac Niangaye

Lac Aougoungou

Lac Do

Monts Goundourou

Lac Korarou

Douentza

Hombori

270

270

270

Macina

Diaka

MOPTI

Massif de Bandiagara

Plaine d'effondrement du Gondo

14°

14°

2°

Carte IV

BASSIN DU NIGER

LIMITES DE LA CUVETTE LACUSTRE

Echelle : 1/2 500 000

- Courbe de niveau 270 m I.G.N
- . - . - Limite des zones inondables actuelles

BAMAKO

Nyamina

SEGOU

Doua

SAN

Koulikoro

Bani

Baoulé

KOUTIALA

Niger

Banfing

Bazogé

12°

12°

6°

6°

4°

NIG. 9915

C - HYDROGEOLOGIE DE LA CUVETTE LACUSTRE -

Origine des nappes

Nous utiliserons l'excellente carte J. ROURE faisant la synthèse des différents rapports géologiques (G. PALAUSI) et hydrogéologiques (ARCHAMBAULT). Nous voulons surtout donner une vue d'ensemble car l'hydrogéologie de la cuvette lacustre pose le problème des infiltrations profondes des eaux du NIGER et de l'alimentation des nappes sahariennes.

On en connaît encore très peu de choses et on rencontre beaucoup de conjectures.

Le fait est que les nappes sahariennes sont extrêmement puissantes et s'étendent très loin vers le Nord. On a dit que le sous-sol du SAHARA était, entre autres, très riche en horizons aquifères, c'est parfaitement exact.

On sait, ou plus exactement, on pense qu'au-dessous d'une certaine pluviométrie (300 mm - certaines vont même jusqu'à 400 mm) en zone sahélienne, il est impossible aux eaux de précipitations de s'infiltrer naturellement dans le sol, pour la raison très simple que les pluies ne sont ni assez abondantes, ni assez fréquentes pour permettre l'humidification du sol, indispensable à la percolation vers les zones profondes protégées de l'évaporation. Un sable, ou sol sableux, rigoureusement sec, est, dans ces conditions, imperméable, la forte insolation et le pouvoir évaporant (degré hygrométrique faible même en hivernage) renvoient l'eau dans l'atmosphère, sans aucun profit pour la nappe profonde.

L'infiltration reste possible, cependant, si le ruissellement amène une concentration des eaux, soit dans les lits de rivières (bathas), soit dans les points bas, dans le cas de réseaux hydrographiques insuffisants (dégradation des lits). Mais là encore, tout n'est pas parfait, car, le plus souvent, les fonds de lits sont colmatés par les argiles fines (argiles loehmiques), les sols des mares sont devenus hydro-morphes et imperméables. L'infiltration, souvent, ne peut se faire que lors des crues exceptionnelles sur le lit majeur, ou sur les franges marginales perméables des mares, par conséquent, pendant toujours très peu de temps.

D'où vient donc l'eau des nappes profondes sahariennes ?

- Soit du NIGER et du SENEGAL par infiltration massive compensant les énormes pertes en volume causées par l'évaporation profonde de ces nappes sur des surfaces énormes. Notons que l'existence des phénomènes d'évaporation profonde des nappes reste d'abord à prouver, ensuite à évaluer (l'évaporation diminuerait de 9/10 à 1 mètre de profondeur seulement).
- Soit d'infiltrations fossiles lors d'époques géologiques beaucoup plus humides. Ces nappes fossiles, protégées, se conserveraient indéfiniment, si l'on admet que l'évaporation d'une nappe profonde est négligeable.

Vouloir trancher le problème en faisant un bilan hydrologique de la cuvette lacustre conduirait à faire semblant de vérifier l'hypothèse préférée. En effet, même en admettant des infiltrations profondes annuelles de 4 ou 5 milliards de m³, ce volume énorme ne représente que 10 % environ des pertes par évaporation. Il est impossible, actuellement, d'évaluer à moins de 10 % près, l'évaporation sur une cuvette inondée non homogène présentant des surfaces d'eau libre et des zones recouvertes de végétation aquatique.

Description de la nappe lacustre (Carte n° .V)

Dans la cuvette proprement dite, la nappe du fleuve est continue. Dans les puits, 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 l'angle du FALA, la nappe arase de très près le radier gréseux, la cote 210 est atteinte. C'est sensiblement à cette cote que la nappe franchit le seuil souterrain de KOLIMA pour déboucher dans la fosse du Continental Terminal et Intercalaire. 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).

Dans le centre du Delta actuel (Lac DEBO), le niveau de la nappe avoisine la cote 260 ; il s'abaisse rapidement en direction de la fosse à gauche du massif de GOUNDAM.

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 (PALAUSI).

Dans les DAOUNAS, les puits sont peu abondants et l'eau y est très salée (pour des raisons encore assez mal expliquées : évaporation de la nappe sous une grande profondeur ?).

Au Nord du parcours dunaire TOMBOUCTOU-TOSSAYE du NIGER, la nappe plonge également très rapidement vers le Nord-Ouest. Le problème qui se pose est 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 y être plus important car les courbes isopiézométriques se rapprochent rapidement les unes des autres indiquant une forte mise en vitesse.

En suivant le radier gréseux vers le Nord-Est, les puits y sont secs car la nappe se trouve à un niveau inférieur à celui du radier. Il y a donc bouchure. Entre ANEFIS et le TIMETRIN, il est probable que le socle est continu et l'écoulement de la nappe vers le Nord impossible.

Il semble donc que les pertes se localiseraient au Nord de la fosse d'effondrement NARA-BASSIKOUNOU-FAGUIBINE, jouant le rôle de collecteur d'épanchement dans les sédiments de l'ancienne cuvette centrée sur ARAOUANE. Plus au Nord, vers TAUDENI, le relief s'abaissant graduellement (cote 150 m environ), le niveau statique de la nappe se rapprocherait du terrain naturel. L'évaporation souterraine de cette nappe ainsi facilitée aurait donné naissance aux puissants dépôts salins exploités dans la région (selon ARCHAMBAULT).

Rappelons que nous n'avons exposé que des hypothèses qui s'affirmeront ou non au fur et à mesure du développement des connaissances de l'hydrogéologie de la Boucle Nigérienne.

Il suffit de retenir qu'une infiltration profonde dans les sédiments du Continental Terminal, vers les nappes puissantes du Nord, est possible, plutôt probable.

Pour en finir avec les données hydrogéologiques, nous indiquerons, d'après G. PALAUSI, les teneurs en extrait sec (110°) par litre, de différents échantillons d'eau prélevés dans le NIGER et dans les Lacs.

Teneur en extrait sec (110°) par litre :

- NIGER à BAMAKO	30 mg
- NIGER à MOPTI	80 mg
- Mare de LERE	188 mg
- NIGER à DIRE	87 mg
- Marigot de GOUNDAM	100 mg
- Lac FAGUIBINE	160 mg

REMARQUE : (PALAUSI)

Le lac FAGUIBINE constitue une vaste cuvette évaporatoire alimentée par le Marigot de GOUNDAM et l'émissaire du TELE.

Si nous estimons qu'en moyenne le volume évaporé avoisine $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ par an, le lac devrait s'enrichir d'un poids de 50 000 tonnes environ de sels dissous chaque année. Or, la salure actuelle du Lac (160 mg/litre) est anormalement faible et il paraît difficile d'en donner une explication scientifique séduisante. A moins qu'on ne retrouve un processus comparable à celui qui a été observé au lac TCHAD : filtration de l'eau du lac à travers une zone perméable de la rive pendant une période quelconque du cycle annuel ou des variations interannuelles, et concentration au-delà.

C'est ce qui tendrait à justifier le fait que l'eau des puits situés vers le Nord du FAGUIBINE se minéralise en général à mesure que la distance au fleuve augmente.

Degré hydrotimétrique

- Eau du FAGUIBINE	6 à 8
- Puits QUARTEMACHET	250
- Puits TIN ATARAYE	115
- Puits MOGADOUYOU	95

Les puits, au contraire, situés dans le Nord-Est de TOMBOUCTOU, ont un degré hydrotimétrique bien plus faible.

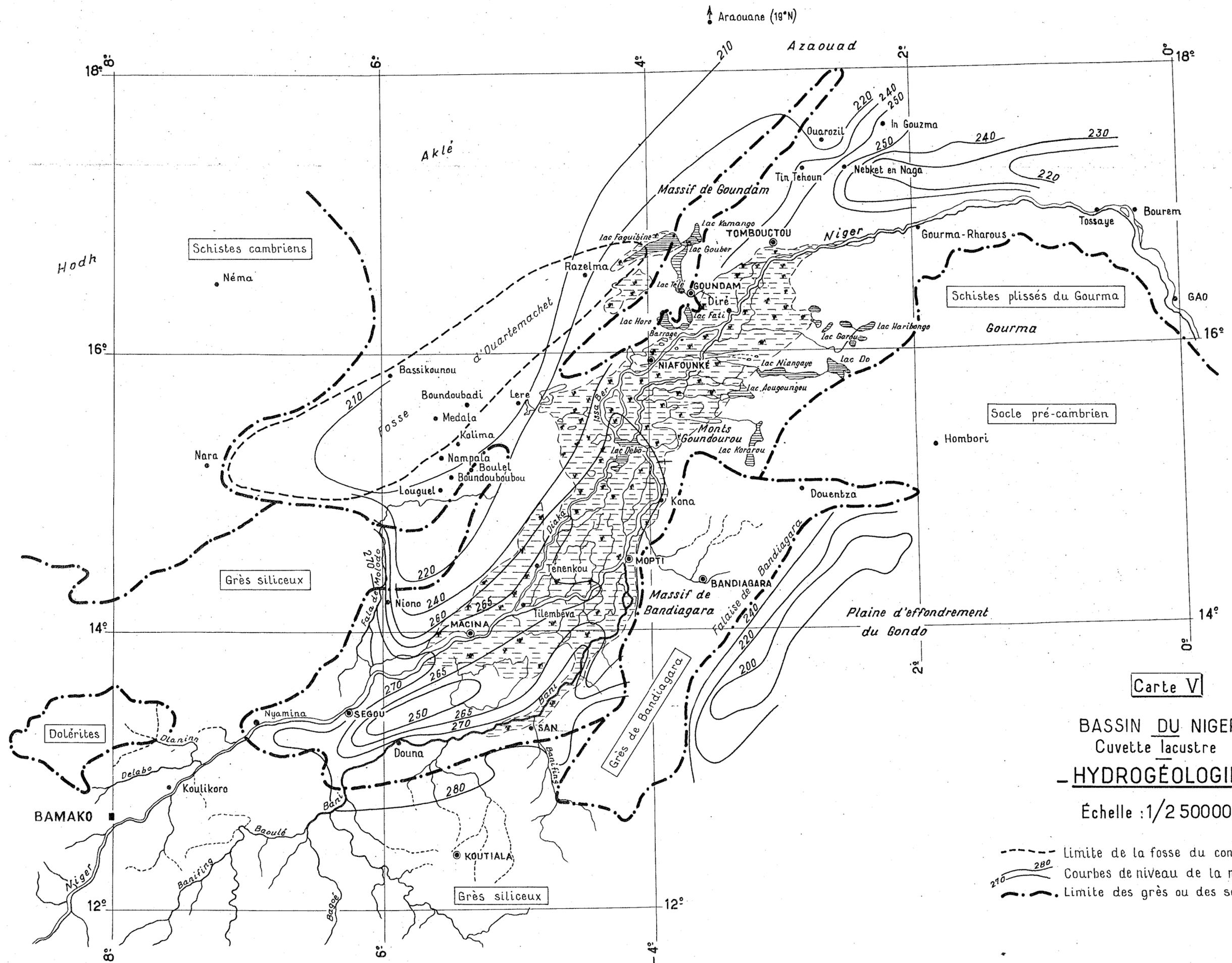
Degré hydrotimétrique

- Puits AGOUNIGÉFAL	15
- Puits TIN EGUELHAR	30
- Puits TIN TEHOUN	18
- - OUAREZIL	25
- - IN GARINE	12
- - IN BAKSA	18
- - EROUG	14
- - BOU DJEHIBA	105
- - IN GOUZMA	22

Toutes les indications hétérogènes que nous venons d'exposer rapidement ne permettent pas encore d'éclaircir entièrement le problème de l'écoulement de la nappe alimentée par le NIGER.

Nous conseillons de se reporter aux documents relatifs à ces questions que nous avons essayé de simplifier et de résumer.

- | | |
|--------------------------|--|
| G. PALAUSI | - Géologie et Hydrogéologie de la partie méridionale de la zone lacustre - Décembre 1954 - |
| G. PALAUSI | - Hydrogéologie profonde du Delta Central Nigérien - Octobre 1953 - |
| 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). |



Carte V

BASSIN DU NIGER
Cuvette lacustre
HYDROGÉOLOGIE

Échelle : 1/2 500000

- - - - - Limite de la fosse du continental terminal
- 210 280 Courbes de niveau de la nappe profonde
- · - · - Limite des grès ou des schistes

NIG.9916

C H A P I T R E I I I

LES SOLS ET LEUR VEGETATION NATURELLE

Le texte de ce chapitre est de notre collègue pédologue B. DABIN, Directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

Il faut distinguer la zone prédeltaïque en amont de SANSANDING et la zone deltaïque en aval de SANSANDING.

Dans la zone prédeltaïque, le flat alluvial actuel est constitué de sol gris limoneux à limono-sableux hydromorphes, moyennement humifères, formant le lit majeur du fleuve, ou des cuvettes n'excédant pas un kilomètre de large et bordant des bras ou des affluents du NIGER (exemple : BAGUINEDA, TAMANI) ; ces plaines ou cuvettes une fois aménagées sont consacrées à la culture du riz.

Au-delà du flat alluvial, 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 sur les latérites alluvionnaires), 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 Soudanien (*Parkia biglobosa*, *Guiera Senegalensis*, *Faidherbia albida*, différentes espèces de "Combretum" et Kapokiers).

La zone deltaïque s'étend sur une très vaste surface, depuis SANSANDING à 50 kilomètres en aval de SEGOU, et en direction Nord-Est jusqu'à la région lacustre. Cette plaine est bordée au Sud et à l'Est par le NIGER et à l'Ouest par le Fala de MOLODO. Ce marigot, qui est un ancien défluent du NIGER actuellement tari, coulait en direction Sud-Nord, inondant de grandes cuvettes lacustres, qui sont actuellement les provinces du KALA, du KOUROUMARY, du MEMA.

Au Nord du KOUROUMARY, une banquette gréseuse détourne le cours du marigot 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. Le delta Nigérien se subdivise en deux grandes parties, d'une part, les plaines basses qui bordent la rive gauche du NIGER et sont encore actuellement inondées en période de crue, c'est le delta vif, comprenant les zones du MACINA, du DIAKA, la région lacustre ; d'autre part, les plaines bordant le FALA de MOLODO et les plaines centrales, asséchées depuis longtemps et qui constituent le delta mort (provinces du KALA, KOUROUMARY, MEMA, FARIMAKE etc...).

La construction du barrage de SANSANDING et l'endiguement de certains marigots (MOLODO) ont permis l'irrigation et la mise en culture des sols du delta mort. Les sols du delta vif (Macina) sont protégés des crues du NIGER par une digue, et irrigués à partir de SANSANDING. En dehors de la zone d'action de l'Office du NIGER, des digues et aménagements de moindre importance permettent de régulariser l'inondation des plaines bordant le fleuve.

Nous avons insisté sur ces divisions régionales car les sols des différentes zones diffèrent sensiblement, il s'agit dans tous les cas de sols 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'hydromorphie déjà ancienne, ou sont soumis à un engorgement très temporaire ; ils ont subi en outre une évolution climatique complémentaire qui donne une mosaïque très complexe des sols.

LES FACTEURS DE PEDOGENESE -

Parmi les facteurs de pédogénèse, il faut considérer d'une part, les conditions de dépôts des matériaux d'origine, d'autre part, l'évolution subie par ces dépôts.

Pendant les périodes d'inondation, il se produit un triage des sédiments d'après leur grosseur, en fonction de la longueur du transport, de la rapidité du courant, de la profondeur à laquelle se fait le dépôt etc... C'est ainsi que se forment des bourrelets de berge limono-sableux (DANGA FING), puis l'on rencontre ensuite des sols limoneux dans les zones plates, et en s'éloignant encore du fleuve, des sols argileux dans les thalwegs.

En bordure des zones d'inondation, on retrouve la succession des sols limoneux, limono-sableux, sableux, suivant leur cote plus ou moins haute. Lorsque les sols sont exondés, les eaux de ruissellement entraînent les éléments fins par érosion 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 provoquant un manque d'aération ralentissant la minéralisation de ces matières organiques. De cette façon se forment certains sols argileux humifères du Delta vif (Sols BOI 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 provoquant par remontée une concentration d'éléments basiques, conduisant à la formation de certains sols riches en calcium (argiles noires tropicales ou sols "Moursis", à vocation cotonnière) mais qui, en revanche, n'ont qu'une teneur médiocre en matière organique.

Dans les sols limoneux ou limono-sableux hydromorphes (DANGA FING), le taux de matière organique est un peu moins élevé que dans les sols BOI FING, mais reste néanmoins assez bon; en profondeur on observe un horizon d'accumulation ferrugineuse, dû au balancement de la nappe phréatique, qui présente des taches ocres distinctes et une structure polyédrique. Dans le delta mort, les sols qui ont subi à l'origine une formation identique à ceux du delta vif, ne sont plus inondés périodiquement et évoluent vers des types subarides, seuls quelques bas-fonds imperméables constituent des mares temporaires en saison des pluies.

Cette 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 phénomènes de transport d'éléments fins et de sels minéraux vers les bas-fonds, et 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-rouge subarides, soit 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-rouge subarides) et les sols DANGA blé (sols ferrugineux tropicaux).

CLASSIFICATION ACTUELLE DES SOLS DU DELTA CENTRAL NIGERIEEN -

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.

A - DELTA MORT -

1°) SENO -

Sols ferrugineux tropicaux non lessivés, sols beiges sableux. Se rencontrent sur les hauteurs du relief, près des dunes.

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 (Adamsonia digitata) Acacia tortilis.

Sol à forte perméabilité, rétention d'eau et point de flétrissement très bas.

2°) DANGA -

Se rencontre dans des zones plates.

Sols brun rouge subarides, ou sols ferrugineux peu lessivés et non érodés.

- 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 ocres.
- 60 - 100 cm Horizon ocre plus foncé, nombreuses taches ocre rouge, parfois concrétions un peu durcies, tecture limono-argileuse, structure polyédrique.

Végétation : *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Boscia senegalensis*, *Acacia tortilis*, *Pterocarpus lucens*, *Adamsonia digitata*, *Commiphora africana*. Tapis herbacé de *Schonefeldia gracilis*, et *Pennisetum pedicellatum*.

Sols très peu perméables en surface, rétention d'eau moyenne. Ils se dispersent facilement quand il pleut ou après irrigation ce sont des terres battantes.

3°) DANGA blé -

Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, plus ou moins érodés. Ces sols se distinguent par une couleur ocre assez franche sur l'ensemble du profil, leur texture peut passer de limono-sableuse à limono-argileuse en surface, leur structure est grumeleuse à polyédrique, friable en surface; ils 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. L'infiltration des eaux y est possible et l'on observe souvent des zones privilégiées de l'écoulement en profondeur.

4°) DIAN -

Sol brun subaride. Il forme de larges zones plates uniformes entre les sols DANGA et MOURSI, entre lesquels il s'intercale dans le modelé.

- 0 - 25 cm Horizon brun, argilo-limoneux, très compact, quelques nodules calcaires rares.
- 25 - 50 cm Horizon brun, argilo-limoneux, très dur, fentes de retrait.
- 50 - 100 cm Identique.
- Végétation : Steppe très claire, Acacia seyal, tapis de Schonefeldia gracilis. Sol très peu perméable (surface et profondeur), rétention d'eau et point de flétrissement élevés. Sujet au ruissellement.

5°) MOURSI -

Argile noire tropicale - Sol de thalweg - Microrelief "Gilgai" (moutonnement superficiel dû à l'infiltration non uniforme).

- 0 - 10 cm Horizon noir, argileux, friable, structure polyédrique fine, gros nodules calcaires de 3 à 5 cm de diamètre nombreux.
- 10 cm à 1 m Horizon gris noir, très argileux, très compact, larges crevasses verticales, nodules calcaires répartis dans la masse.

Végétation assez dense, Acacia arabica, Acacia seyal. Perméabilité élevée en surface, moyenne en profondeur, rétention d'eau et point de flétrissement élevés. Même en plein hivernage, les sols MOURSI ne ruissellent pas, l'eau s'y infiltre grâce à leur structure (richesse en Ca).

6°) BOI -

Sols gris hydromorphes. Mares temporaires.

- 0 - 25 cm Gris ardoise, parfois taches ocres d'hydromorphie. Texture limono-argileuse, structure compacte, moyennement humifère.
- 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.

B - DELTA VIF -

1°) BOI FING -

Sol gris noir hydromorphe, à engorgement total prolongé.

- | | |
|------------|---|
| 0 - 25 cm | Horizon gris noirâtre, humifère, friable, structure grumeleuse, texture limoneuse à limono-argileuse. |
| 25 - 40 cm | Horizon jaunâtre, limono-argileuse, peu compact, trainées ocres. |
| 40 - 75 cm | Horizon gris, à nombreuses taches ocres, argilo-limoneuse. Structure polyédrique. |

Végétation : Dans les sols limoneux à engorgement de profondeur, on a une 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*).

Ce sol est très répandu dans toute la zone d'inondation du delta vif. La perméabilité est moyenne à bonne en surface, moyenne à faible, en profondeur, suivant l'engorgement.

- On rencontre également des sols de type BOI plus compacts.

2°) DANGA FING -

En bordure des zones d'inondation, sol brun gris à hydromorphie temporaire de profondeur. C'est souvent le sol des bourrelets de berge.

Végétation arbustive identique à celle des BOI FING.

- | | |
|------------|--|
| 0 - 10 cm | Horizon gris noirâtre, assez humifère, sablo-limoneux riche en éléments fins, (sable fin et limon), 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. |

Sols à Diatomées -

Pour terminer, nous signalerons l'existence des sols à Diatomées de la région lacustre, ce sont des sols gris hydromorphes formés de l'accumulation de test de Diatomées. Ces sols sont très poreux ; lorsqu'ils sont exondés en saison sèche, ils se crevassent intensément, certaines crevasses atteignent 1 mètre de large et plusieurs mètres de profondeur. En bordure des lacs, les terres à diatomées sont plus ou moins mélangées de sable et de limon, d'où une diminution progressive des fentes de retrait jusqu'à la bordure dunaire.

En conclusion, voyons, d'un point de vue hydrologique, comment les divers types de sols réagissent à l'eau de pluie (ou d'irrigation). Ils se comportent de 3 manières différentes. L'eau en général :

- a) ruisselle sur les DANGA, DANGA-FING et DIAN,
- b) stagne sur les BOA et BOA FING qui se trouvent dans les bas-fonds,
- c) s'infiltré dans les DANGA blé, MOURSI et SENO.

N.B. - Pour plus de détails, consulter "Contribution à l'étude des sols du Delta Central Nigérien" par B. DABIN - Revue "Agronomie Tropicale" n° 11 et 12 - Novembre-Décembre 1951.

C H A P I T R E I V

PROFIL EN LONG DU NIGER - PENTES SUPERFICIELLES

GENERALITES -

Le tracé des lignes d'eau instantanées du NIGER entre KOULIKORO et GAO met en évidence un vaste mouvement de pente dont le point d'inflexion semble situé aux environs de NIAFUNKE, à l'aval des grands lacs (DEBO et OUALLADO).

A l'aval de TOSSAYE (entre TOSSAYE et ANSONGO), on retrouve une pente superficielle rappelant celle du tronçon amont KOULIKORO-TAMANI.

La position du point d'inflexion, ou point de pente minimale, varie sans doute légèrement en fonction de l'époque dans le déroulement du cycle hydrologique. On peut penser qu'il se déplace vers l'aval au moment de la période des hautes eaux.

En outre, du fait de l'exhaussement du niveau des eaux en crue, plus important à l'amont qu'à l'aval de la cuvette, la valeur de la pente minimale à l'inflexion augmente nécessairement avec la montée des eaux.

En période d'étiage généralisé sur tout le cours qui nous intéresse (Avril à Juin par exemple), la pente à l'inflexion atteint sa valeur la plus faible, presque nulle, juste suffisante pour transiter dans le bief NIAFUNKE-DIRE quelques centaines de m^3/s dans une section mouillée de plusieurs

milliers de m². La vitesse moyenne de l'écoulement est alors insensible et pratiquement impossible à mesurer.

Ce fléchissement de la pente, qui se fait sentir sur plus de 400 kilomètres du cours (de MOPTI à KABARA), est créé par le delta intérieur du fleuve. Primitivement le débouché de TOSSAYE n'existait pas et la recherche du profil d'équilibre dynamique a d'abord entraîné, par dépôts, une élévation du lit du fleuve par rapport à l'ensemble de la cuvette.

Puis le creusement de l'exutoire aval de TOSSAYE a eu pour conséquence, par érosion régressive, d'abaisser de l'aval vers l'amont le niveau général du fond du lit. Il en a résulté l'endiguement caractéristique du NIGER lacustre le protégeant de plus en plus efficacement contre les pertes chroniques des lits surélevés.

L'acheminement à longue échéance vers une meilleure régularisation de la pente laisse prévoir un assèchement progressif de la cuvette par concentration croissante des écoulements dans les lits principaux. Ce sont là des conclusions qui ont été déjà souvent énoncées.

Signalons la rupture de pente après le passage du goulet de TOSSAYE. Elle correspond parfaitement à un accident morphologique (emprunt à l'aval de l'exutoire de la vallée du TILEMSI venant du Nord).

ANALYSE de la PENTE SUPERFICIELLE de l'AMONT vers l'AVAL -

Le tronçon KOULIKORO-TAMANI n'est pas affecté par le fonctionnement du barrage de SANSANDING. La pente moyenne y est de 7 à 8 cm par kilomètre. Elle est cependant un peu plus élevée dans la partie amont du bief (jusque vers DINAN) où s'effectue la transition entre les cours supérieur et moyen.

En hautes eaux, lorsque les hausses mobiles du barrage sont effacées, le bief SEGOU-KIRANGO marque une légère augmentation de pente moyenne. Il s'agit sans doute de l'influence localisée du radier du barrage implanté sur une passe latéritique. En basses eaux, le plan d'eau se maintient à SEGOU aux alentours de la cote 281.85 soit environ 1,50 mètre au-dessus de la cote naturelle d'étiage.

De KIRANGO (aval du barrage) à KE-MACINA, la pente moyenne est voisine de 6,2 cm/km. De KE-MACINA à TILÉMBEYA, les débordements et le blocage supérieur des cotes de hautes eaux commencent à se faire sentir et la pente fléchit (4,5 à 6,0 cm/km).

Elle diminue encore jusqu'à MOPTI à cause des apports du BANI (2,5 à 5,0 cm/km). De MOPTI à TONKA, la pente moyenne s'effondre et n'excède guère 1,5 cm/km en pleine crue.

Le Bief DEBO-DIRE est celui où les pentes sont les plus faibles (1 cm/km en crue).

Enfin, de DIRE à TOSSAYE, la pente croît de nouveau et s'établit entre 2,0 et 3,0 cm/km. Dans le bief TOSSAYE-GAO la pente remonte brusquement aux environs de 5,0 cm/km. Elle continue ensuite à augmenter vers l'aval.

VARIATIONS dans le TEMPS des PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES

La variation relative importante de la pente superficielle instantanée au cours d'un même cycle hydrologique est le caractère le plus marquant du passage dans le delta.

Nous examinerons, mois par mois et bief par bief, l'évolution des pentes du fleuve.

Nous avons rassemblé dans un tableau les pentes instantanées calculées au premier de chaque mois de l'année 1955, l'une des plus abondantes de la dernière décennie (graphique n° 2).

1°) Bief KOULIKORO-TAMANI -

En dehors des périodes d'influence du barrage, la pente varie très peu, 7,2 à 7,6 cm/km. Elle est d'autant plus forte que le débit est élevé (maximum en Août-Septembre et minimum en décrue à cause du décalage entraîné par le transfert de l'onde de crue).

2°) Bief TAMANI-KIRANGO -

Les pentes y sont artificielles 9 mois sur 12, par suite de la fermeture plus ou moins complète des hausses du barrage de SANSANDING. Elles valent entre 2 et 4 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 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 à l'amont, comme on peut le voir sur les pentes correspondant aux mois d'Août et Septembre.

4°) Bief KE-MACINA-TILEMBEYA -

La pente diminue avec le débit et atteint sa valeur minimale à l'étiage absolu. Puis elle remonte très brutalement à l'arrivée de la crue (lâchures soudaines du barrage de SANSANDING). En outre, en année très abondante, lorsque les cotes de hautes eaux sont bloquées supérieurement à TILEMBEYA par suite de l'effluence du DIAKA, toutes les pointes de crues secondaires sensibles encore à KE-MACINA entraînent des variations de pente, parfois un peu incohérentes, comme c'est le cas de Juillet à Octobre.

La pente diminue ensuite progressivement avec la décrue.

Pente de basses eaux	:	environ	4 cm/km
- de hautes eaux	:		5 à 6 cm/km

5°) Bief TILEMBEYA-MOPTI -

La pente varie déjà dans de grandes proportions (moins de 2 cm/km à plus de 5).

Elle est maximale pendant l'hivernage, mais commence à décroître avant le passage des plus hautes eaux à MOPTI, sans doute dès l'arrivée de la crue du BANI alors que les cotes supérieures amont (TILEMBEYA) sont bloquées.

Elle est minimale pendant fort peu de temps (1 à 2 mois par an), vers la fin de l'année à cause de l'accumulation des eaux dans la cuvette qui maintient des cotes élevées à MOPTI alors que le bief amont est déjà fortement avancé dans la décrue.

La pente remonte très vite dès Janvier, lorsque la décrue s'amorce plus franchement à l'aval de MOPTI.

Nous insistons sur la forte variation relative de la pente dans ce bief (du simple au double) qui confirme un régime d'accumulation et impose une double courbe de tarage en débits des stations hydrométriques.

6°) Bief MOPTI-TONKA -

La pente est toujours très faible mais ses variations relatives sont très fortes.

La variation de la pente affecte la forme d'une sinusoïde avec une légère dissymétrie en faveur des fortes valeurs. Croissance et décroissance s'effectuent sensiblement au même rythme.

Le maximum de pente correspond au maximum de la crue à MOPTI.

Le minimum de la pente se situe au contraire en cours de décrue - environ au tiers de la décrue au milieu du bief (Lac DEBO).

Le remplissage de la zone inondable à l'aval de MOPTI (DEBO, BARA-ISSA, KOLI-KOLI et lacs de rive droite) étant relativement lent, la pente monte et croît comme le niveau à MOPTI.

En début de décrue, le niveau baisse plus rapidement à MOPTI qu'à l'aval des grands lacs donc la pente diminue. Puis les niveaux à MOPTI et TONKA baissent parallèlement, la pente reste alors sensiblement constante (Mars) et atteint sa valeur minimale. Enfin, la décrue s'accélère dans la cuvette alors qu'elle est pratiquement terminée à MOPTI où les niveaux se stabilisent ; il en résulte une remontée de la pente jusqu'à l'arrivée de la prochaine crue.

Dans ce bief, le régime de la pente est donc entièrement commandé par le décalage dans le temps, existant entre la variation relativement rapide des cotes à MOPTI et la variation lente du niveau dans les régions lacustres.

7°) Bief TONKA-DIRE -

L'oscillation annuelle de la pente ressemble beaucoup à celle du bief précédent, mais avec un décalage dans le temps supérieur à un mois.

L'époque de la pente minimale est Mai-Juin soit peu de temps avant l'étiage absolu dans le tronçon.

La date de la pente minimale est également retardée (Novembre-Décembre) et se rapproche de celle des débits maximaux.

En Juin, la pente devient presque nulle. La cuvette, presque vide et ne transitant que des débits très faibles, se comporte alors comme un simple réservoir.

8°) Bief DIRE-TOSSAYE -

La variation relative annuelle a considérablement diminuée. La pente moyenne reste faible (aux environs de 2 cm/km) mais on retrouve le régime du cours supérieur.

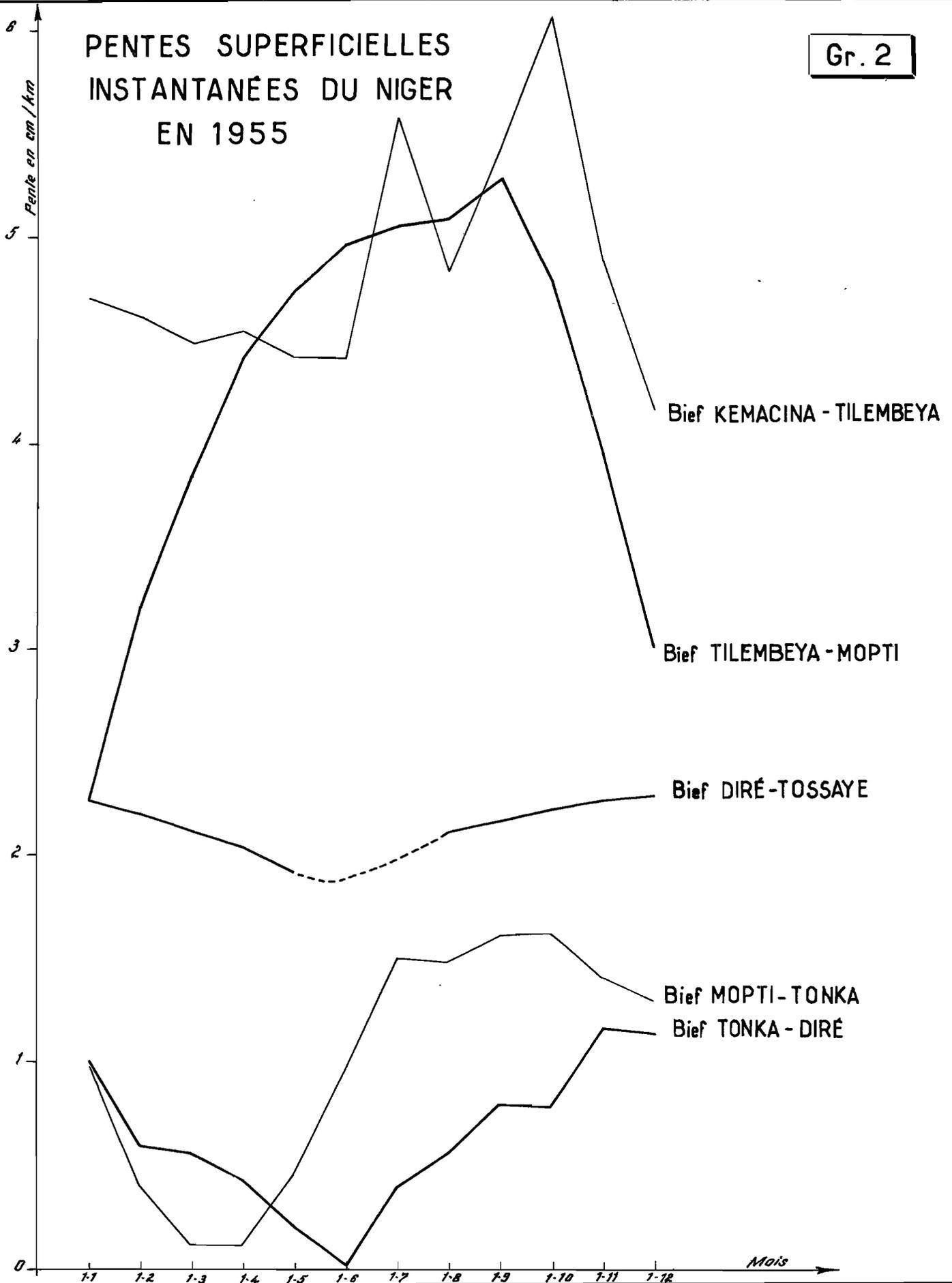
Le graphique n° 3 (1), représente ces lignes d'eau instantanées du NIGER de KOULIKORO à GAO pour 5 jours répartis dans l'année 1955. On y fait figurer également les lignes d'eau du BANI de DOUNA à MOPTI. On remarquera que les pentes de cet affluent sont nettement plus faibles que celles du NIGER. Dans les biefs allant de DOUNA à BENENY-KEGNY et à SOFARA, la variation annuelle des pentes superficielles y est comparable à celle des biefs KIRANGO-KE-MACINA et KE-MACINA-TILEMBEYA sur le NIGER. Quand au dernier tronçon SOFARA-MOPTI, sa pente varie un peu comme celle du NIGER entre TILEMBEYA et MOPTI.

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.

Après SOFARA, l'influence des écrêtements de l'onde de crue et de la confluence du NIGER conduit à une diminution de ces pentes vers 1,5 cm/km en étiage et 2,5 à 3 cm/km en crue.

(1) On remarquera que la distance entre SEGOU et KIRANGO Aval est de 37 km par le lit du fleuve et le barrage de SANSANDING. Par contre, l'échelle dite de KIRANGO Amont est distante de 42 km de SEGOU, car elle est située sur la porte de garde de l'écluse de TIO, à l'extrémité du canal de navigation.

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955



NIG 9920

Dans le triangle TILEMBEYA-MOPTI-BENENY-KEGNY, l'incidence relative des pentes joue un très grand rôle sur les conditions d'écoulement dans la Mésopotamie NIGER-BANI. Nous y reviendrons plus en détail au cours du chapitre consacré aux volumes écoulés par cycles hydrologiques (Chapitre X, 4ème partie).

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955

: KIRANGO Aval :			: KE-MACINA :			: TILEMBEYA :			: MOPTI :		
: Z = 274,99 :			: Z = 268,79 :			: Z = 266,82 :			: Z = 260,60 :		
Date :	Cotes à l'échelle :	Pente moyenne sur 93 km en cm/km :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 50 km en cm/km :	Cotes à l'échelle :	Pente moyenne sur 110 km en cm/km :	Cotes à l'échelle :	Pente moyenne sur 110 km en cm/km :	Cotes à l'échelle :	Pente moyenne sur 110 km en cm/km :	Cotes à l'échelle :
1-1 :	277,55 :	6,26 :	271,73 :	4,70 :	269,38 :	2,27 :	266,88 :				
1-2 :	276,79 :	6,40 :	270,84 :	4,62 :	268,53 :	3,21 :	265,00 :				
1-3 :	276,21 :	6,42 :	270,24 :	4,48 :	268,00 :	3,85 :	263,76 :				
1-4 :	276,17 :	6,61 :	270,02 :	4,54 :	267,75 :	4,42 :	262,89 :				
1-5 :	275,89 :	6,58 :	269,77 :	4,42 :	267,56 :	4,75 :	262,34 :				
1-6 :	275,84 :	6,53 :	269,77 :	4,42 :	267,56 :	4,96 :	262,10 :				
1-7 :	278,05 :	6,70 :	271,82 :	5,58 :	269,08 :	5,04 :	263,54 :				
1-8 :	278,79 :	5,95 :	273,26 :	4,84 :	270,84 :	5,09 :	265,24 :				
1-9 :	280,87 :	5,99 :	275,30 :	5,54 :	272,58 :	5,27 :	266,78 :				
1-10 :	281,91 :	6,58 :	275,79 :	6,08 :	272,75 :	4,77 :	267,50 :				
1-11 :	280,37 :	5,84 :	274,94 :	4,88 :	272,50 :	4,20 :	267,88 :				
1-12 :	278,29 :	6,14 :	272,58 :	4,42 :	270,37 :	2,53 :	267,59 :				

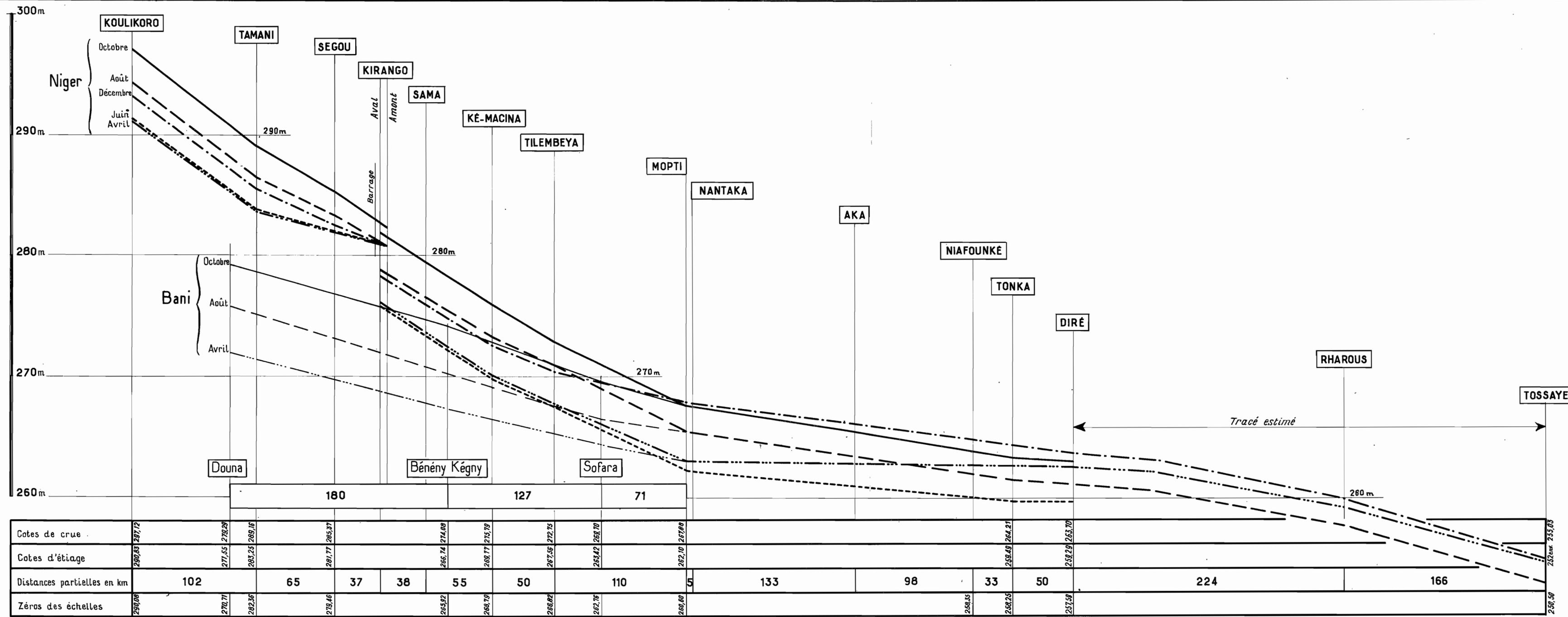
: MOPTI :			: TONKA :			: DIRE :			: TOSSAYE :		
: Z = 260,60 :			: Z = 258,25 :			: Z = 257,59 :			: Z = 250,50 :		
Date :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 269 km en cm/km :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 50 km en cm/km :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 390 km en cm/km :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 390 km en cm/km :	Cotes échelle :	Pente moyenne sur 390 km en cm/km :	Cotes échelle :
1-1 :	266,88 :	0,99 :	264,21 :	1,02 :	263,70 :	2,26 :	254,87 :				
1-2 :	265,00 :	0,41 :	263,90 :	0,60 :	263,60 :	2,20 :	255,03 :				
1-3 :	263,76 :	0,12 :	263,45 :	0,56 :	263,17 :	2,12 :	254,89 :				
1-4 :	262,89 :	0,12 :	262,58 :	0,42 :	262,37 :	2,03 :	254,46 :				
1-5 :	262,34 :	0,46 :	261,09 :	0,20 :	260,99 :	1,93 :	253,47 :				
1-6 :	262,10 :	0,96 :	259,52 :	0,02 :	259,51 :	:	:				
1-7 :	263,54 :	1,51 :	259,49 :	0,40 :	259,29 :	:	:				
1-8 :	265,24 :	1,49 :	261,23 :	0,56 :	260,95 :	2,12 :	252,69 :				
1-9 :	266,78 :	1,61 :	262,45 :	0,80 :	262,05 :	2,17 :	253,59 :				
1-10 :	267,50 :	1,62 :	263,14 :	0,78 :	262,75 :	2,23 :	254,04 :				
1-11 :	267,88 :	1,53 :	263,77 :	1,16 :	263,19 :	2,26 :	254,38 :				
1-12 :	267,59 :	1,30 :	264,10 :	1,14 :	263,53 :	2,28 :	254,62 :				

PENTES SUPERFICIELLES INSTANTANÉES DU NIGER EN 1955

Date	KOULIKORO Z = 290,08 Cotes à l'échelle	Pente moyenne sur 102 km en cm/km	TAMANI Z = 282,36 Cotes échelle	Pente moyenne sur 65 km cm/km	SEGOU Z = 279,47 Cotes échelle	Pente moyenne sur 42 km cm/km	KIRANGO Amont Z = 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	293,24	7,6	285,51	4,7	282,42	3,9	280,80

N.B. 1 - Les cotes sont arrondies à 5 cm près, de TAMANI à KIRANGO Amont.

N.B. 2 - Les pentes sont affectées 9 mois sur 12, de TAMANI à KIRANGO Amont, par la fermeture plus ou moins complète du barrage de MARKALA.



2ème PARTIE

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

La cuvette lacustre s'inscrit dans une bande de 400 kilomètres de large, comprise entre les isohyètes 700 mm au Sud et 150 mm au Nord, toutes deux sensiblement rectilignes, parallèles et orientées Est-Ouest.

A l'intérieur de ces limites de pluviométrie, les hydrologues distinguent deux régimes, tant du point de vue climatique qu'hydrologique :

- Au Sud, le régime sahélien, de l'isohyète 700 mm à l'isohyète 300 mm,
- Au nord, le régime subdésertique, de l'isohyète 300 mm à l'isohyète 100 ou 50 mm.

Rappelons les critères qui indiquent le passage du régime tropical au régime sahélien (1) :

- Pluviométrie annuelle moyenne de 700 à 800 mm,
- Disparition des karités et apparition des épineux,
- Disparition des marigots à écoulement permanent,
- Apparition de vastes zones inondables,
- Tendance à l'endoréisme.

(1) ou, si l'on se réfère à la classification des climatologues, le passage de la variante méridionale à la variante septentrionale du climat soudanien (voir ci-joint le tableau de correspondance des deux classifications).

Le régime sahélien commence donc approximativement à la latitude de la partie méridionale de la cuvette.

Le régime subdésertique, qui lui fait suite à partir de l'isohyète 300 environ (1), en diffère par le caractère presque exceptionnel des écoulements superficiels, la plus grande rareté des crues et la vitesse des phénomènes de dégradation ; il n'intéresse que la partie la plus septentrionale de la cuvette et s'étend vers le Nord à plus de 100 km au-delà de TOMBOUCTOU, jusqu'aux isohyètes 100 ou 50 mm, à partir desquelles on n'est plus certain d'avoir de la pluie chaque année (2).

Les données climatiques variant graduellement et toujours dans le même sens (diminution de la pluviométrie et de l'humidité, concentration de la saison des pluies, accroissement des températures), le passage de l'un à l'autre de ces régimes est insensible.

Il a paru cependant nécessaire de les différencier par suite des modifications importantes que subissent les caractéristiques hydrologiques de l'extrémité Sud à l'extrémité Nord de la zone étudiée.

Cycle des saisons -

De même que sur les bassins du NIGER supérieur et du BANI, le cycle des saisons est régi, dans le delta intérieur par le mouvement alternatif des deux masses d'air "harmattan" et "mousson".

Rappelons très sommairement les origines de ces masses d'air et le mécanisme de leur circulation :

- L'harmattan, ou air tropical continental, relativement chaud et sec, est originaire du champ de pression du SAHARA (anticyclone continental boréal en hiver, et sa direction principale est Nord-Est.

(1) Le régime sahélien des hydrologues correspond donc sensiblement, dans la classification des climatologues, à l'ensemble des deux variantes de climat :
- soudanien-Nord (700-800 à 400-500 mm),
- sahélien-Sud (400-500 à 200-300 mm).

(2) Le subdésertique des hydrologues correspond à peu près au sahélien-Nord des climatologues, qui règne entre 250 et 100 mm.

- La mousson, ou air maritime équatorial (humide et relativement frais), est issue de l'anticyclone semi-permanent de Sainte-Hélène, donc 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 (F.I.T., ou surface de contact harmattan-mousson).

De Mai à Octobre, la dépression saharienne remplace progressivement l'anticyclone précédent, tandis que l'anticyclone de Sainte-Hélène se renforce et remonte de quelques degrés vers le Nord ; la mousson envahit alors le NIGER supérieur, puis la zone lacustre, en repoussant le F.I.T., vers le Nord-Est. Ce 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, enfin des "pluies de mousson", moins intenses, mais plus longues. Sur la cuvette lacustre, l'épaisseur de la mousson n'est jamais suffisante pour que ce type de pluie se produise.

L'étude des caractéristiques climatiques de plusieurs stations échelonnées le long du fleuve, va nous permettre de définir le climat de la cuvette lacustre, et d'analyser les modifications qu'il subit du Sud au Nord de cette cuvette.

Equipement météorologique du bassin -

De SEGOU à TOMBOUCTOU, le bassin du NIGER, très pincé dans sa largeur, se réduit presque à la zone lacustre ; celle-ci ne contient qu'une seule station météorologique : celle de NOPTI-SEVARE.

On a ainsi dû faire appel à trois autres stations situées aux extrémités de la zone étudiée ; SEGOU et SAN au Sud, TOMBOUCTOU au Nord ; par ailleurs, les caractéristiques climatiques, surtout la pluviométrie, qui nous intéresse au premier chef, variant avec la latitude, les stations de NEMA et HOMBORI ont également donné des renseignements utiles, malgré leur éloignement de la cuvette (200 km environ).

On trouvera ci-après les coordonnées, altitudes et dates de mise en service de ces six stations principales.

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, 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.

CLIMATS

RÉGIMES HYDROLOGIQUES

Classification des climatologies

CLIMATIQUES

Classification des hydrologues

Pluviométrie annuelle en mm
 0
 100
 200
 300
 400
 500
 600
 700
 800
 900
 1000
 1100
 1200

SAHEL IEN	SAHEL IEN N O R D	Gourma-Rharous 180 Tombouctou 220 Kabara 217
	SAHEL IEN S U D	Goudam 287 Gao 274 Saraferé 300 Niafunké 323
SOUDAN IEN	SOUDAN IEN N O R D	Dago 500 Mopti 580 Djenné 595 Sofara 625
	SOUDAN IEN S U D	Merkala 730 Segou 740 San 749
GUINÉE	GUINÉE S E P T E N T R I O N A L E	Nouba 827 Banamba 832 Kalibougou 952
	GUINÉE S E P T E N T R I O N A L E	Koufiata 1002 Bamako 1102

SUBDESERTIQUE	Crues rares Écoulement superficiel presque exceptionnel Phénomènes de dégradation très rapide
SAHEL IEN	Apparition des épineux Disparition des karités Plus de marigots à écoulement permanent VASTES ZONES INUNDABLES TENDANCE A L'ENDORÉISME
TROPICAL PUR	

C H A P I T R E I

VENTS - TEMPERATURE - HYGROMETRIE

A - REGIME DES 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.

Les graphiques n° 4-5 et 6 donnent, pour les six stations principales, en saison sèche et en hivernage (Années 1954-1955), les fréquences des directions du vent suivant les huit caps de la rose ; ces fréquences sont les rapports (donnés en pourcentage) entre le nombre de jours pendant lesquels le vent souffle d'une direction donnée et le nombre de jours total de la saison considérée ; de même qu'au chapitre "Données climatologiques du NIGER supérieur et du BANI" (1), nous avons ramené la saison sèche et l'hivernage à deux périodes de six mois, Novembre à Avril pour la première, Mai à Octobre pour la seconde ; on peut constater, en se reportant ci-après au diagramme des variations mensuelles de la pluviométrie (Graphique n° 10), que cette hypothèse simplificatrice se justifie correctement tant pour le Nord que pour le Sud de la cuvette.

(1) 1er volume de la Monographie.

Les six diagrammes présentent un aspect analogue.

Celui de SEGOU, avec une fréquence de 45 % du Nord-Est en saison sèche, et de 20 % du Sud-Ouest à l'hivernage, est le plus représentatif de l'opposition générale de direction entre l'harmattan et la mousson.

Les roses de SAN et MOPTI diffèrent peu l'une de l'autre ; on remarquera que l'axe harmattan-mousson n'est plus exactement N.E. - S.W. comme à SEGOU, mais plutôt N - N.E. - S - S.W.

Sur ces trois premiers diagrammes, la prédominance très nette des vents Nord à Est en saison sèche, et Sud à Ouest en hivernage, montre que le découpage des saisons adopté est très satisfaisant pour les stations de la moitié Sud de la cuvette.

Pour la moitié Nord, on a recoupé les renseignements donnés par la station unique de TOMBOUCTOU, avec les éléments fournis par les stations de NEMA et HOMBORI.

On remarque, sur les graphiques de ces trois stations, que si les diagrammes de saison des pluies présentent une prédominance des vents Sud à Ouest, ils laissent toutefois apparaître des fréquences non négligeables de vents d'Est et de Nord-Est ; ces fréquences sont d'ailleurs plus fortes à NEMA et TOMBOUCTOU qu'à HOMBORI, station de latitude moins élevée, où l'hivernage est plus long et plus marqué.

Les déformations correspondantes sont dues au fait qu'en Mai et Octobre, début et fin de l'hivernage dans le Nord de la cuvette, le vent, encore mal établi, oscille entre l'harmattan et la mousson. Dans le Sud, au contraire, la période d'harmattan se termine plus tôt (fin Avril) et reprend plus tard (début Novembre), de telle sorte que la distorsion des diagrammes d'hivernage est faible.

Celle des diagrammes de saison sèche est également négligeable, bien que les vents du Sud et du Sud-Ouest commencent, dans le Sud de la cuvette, dès le mois de Mars ; ceci est dû à la fréquence très élevée des vents du Nord et Nord-Est.

On remarquera en outre que, dans le Nord de la cuvette, les directions prédominantes de l'harmattan en saison sèche sont celles du secteur E - N.E., alors que ces directions affectaient surtout le N - N.E. à MOPTI et le N.E. à SEGOU.

B - VITESSE DES VENTS -

Le tableau ci-dessous donne, pour les six stations précitées, les fréquences des vents de diverses forces, en saison sèche et à l'hivernage, pour la période Novembre 1954 - Octobre 1955.

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
MOPTI	65	64	33	20	1
TOMBOUCTOU	76	103	4	1	0
NEMA	30	93	23	38	0
HOMBORI	43	128	10	3	0

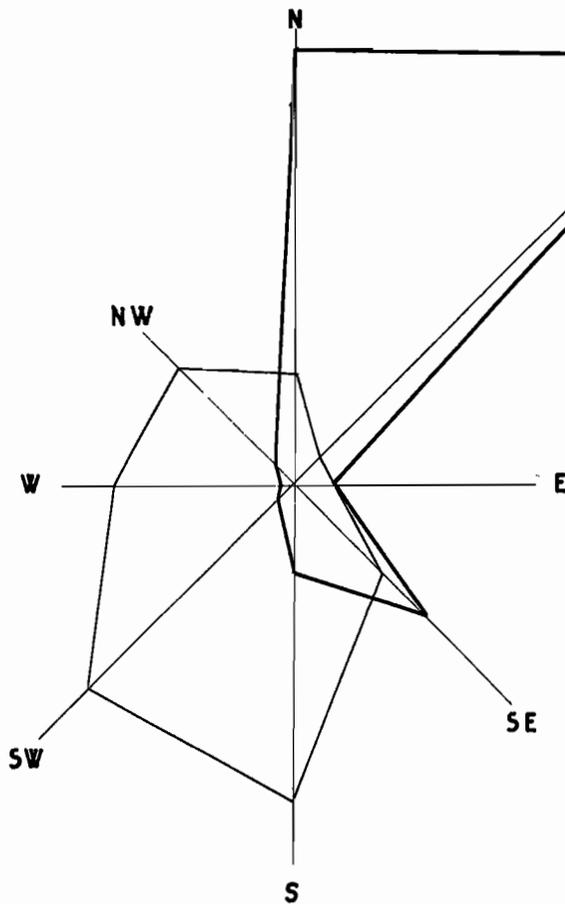
Comme dans le bassin du NIGER supérieur, la dispersion est assez forte ; elle diminue toutefois si l'on excepte les résultats de NEMA et HOMBORI, donnés seulement à titre de recoupement, et qui se distinguent en toutes saisons par la prédominance des vents moyens et forts pour NEMA, par celle des vents faibles pour HOMBORI (l'exposition des stations peut expliquer ces écarts).

Parmi les quatre stations principales, les vents moyens (2 à 4 m/s) sont plus fréquents à SEGOU et à SAN qu'à MOPTI, ce dernier poste étant souvent battu par des vents forts ; enfin TOMBOUCTOU ne connaît que des vents faibles et moyens, à l'exclusion presque totale de vents supérieurs à 5 m/s, mais la station est située en contrebas des dunes de la ville, et se trouve très abritée de ce fait.

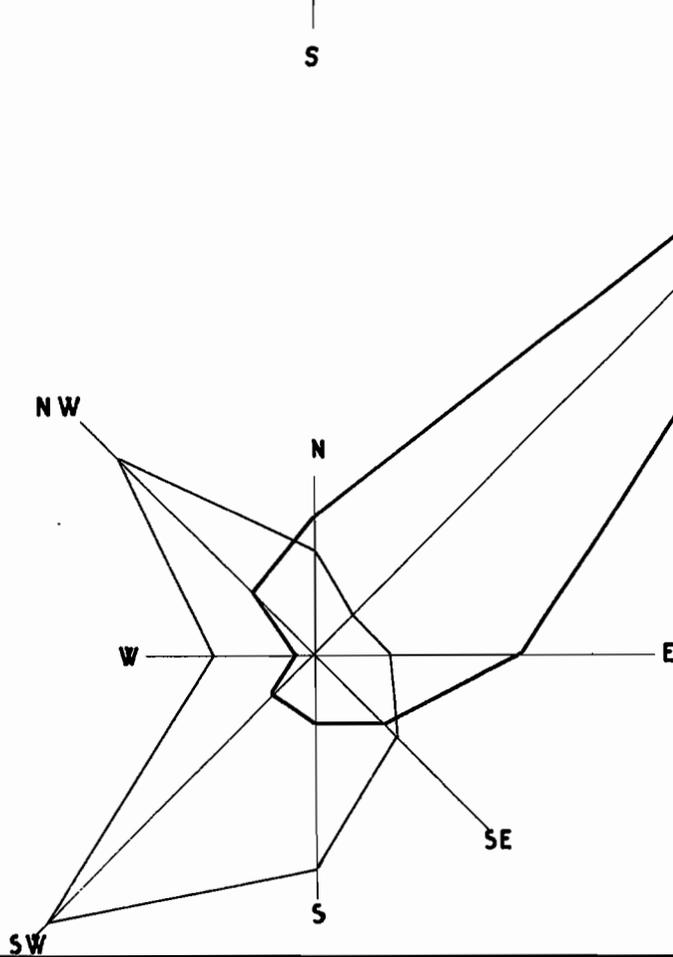
La comparaison générale des deux tableaux montre que la mousson et l'harmattan sont tous deux des vents de vitesse généralement assez faible, inférieure à 4 m/s. On voit, par ailleurs, qu'en hivernage les vitesses de 2 à 4 m/s sont plus fréquentes qu'en saison sèche, tandis que celles de 5 à 6 et 7 à 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.

FRÉQUENCE DES DIRECTIONS DES VENTS

Gr. 4



SAN (1954 - 55)



SÉGOU (1954 - 55)

Saison sèche
 Saison des pluies

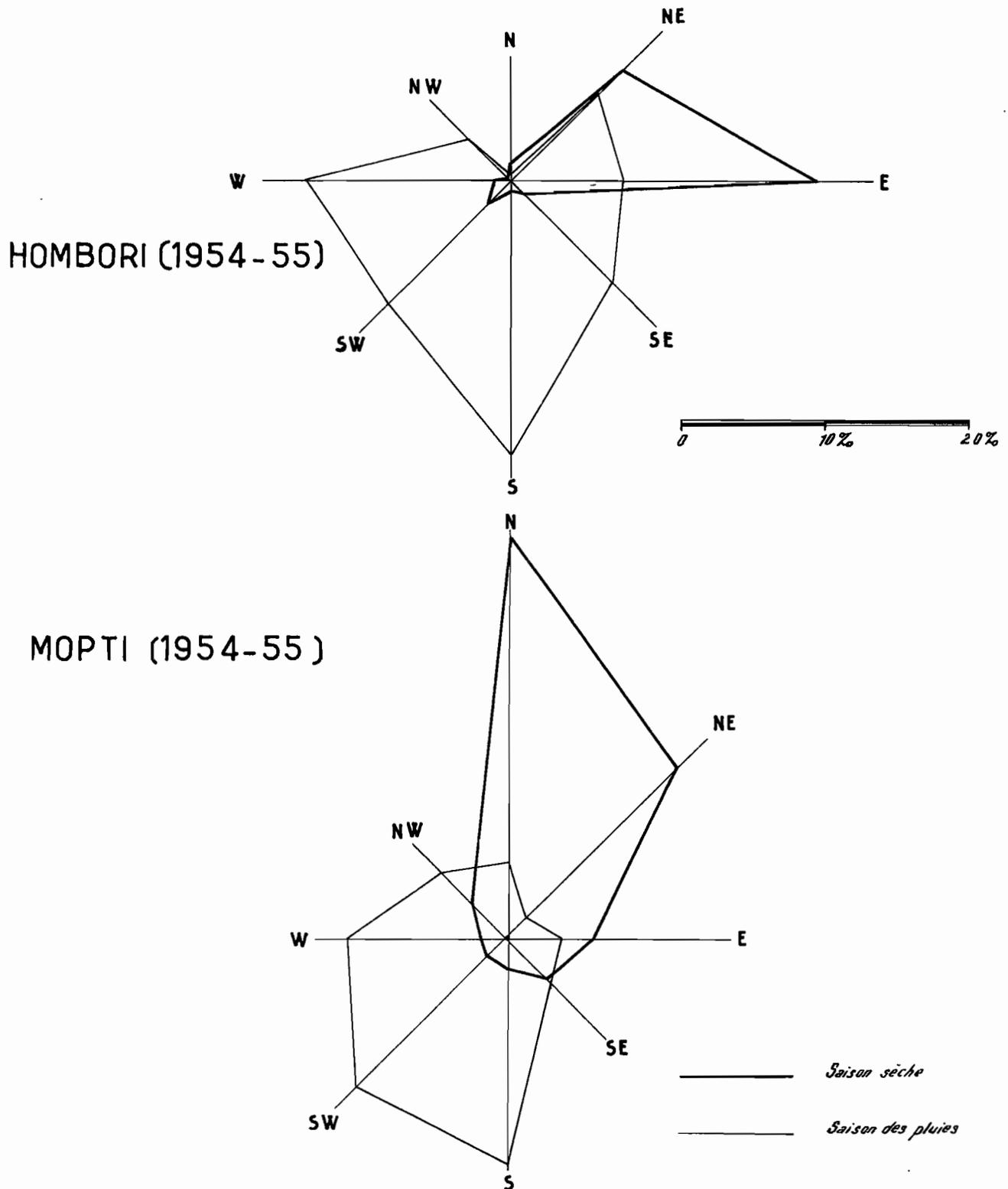
NIG 9922

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED: LE: *AL-MEMAX* DES: *J-P. Kollisch* VISA: TUBE N°: A1

FRÉQUENCE DES DIRECTIONS DES VENTS

Gr. 5



NIG_9923

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

11-NCMLX

DES:

J.P. Hoffrèch

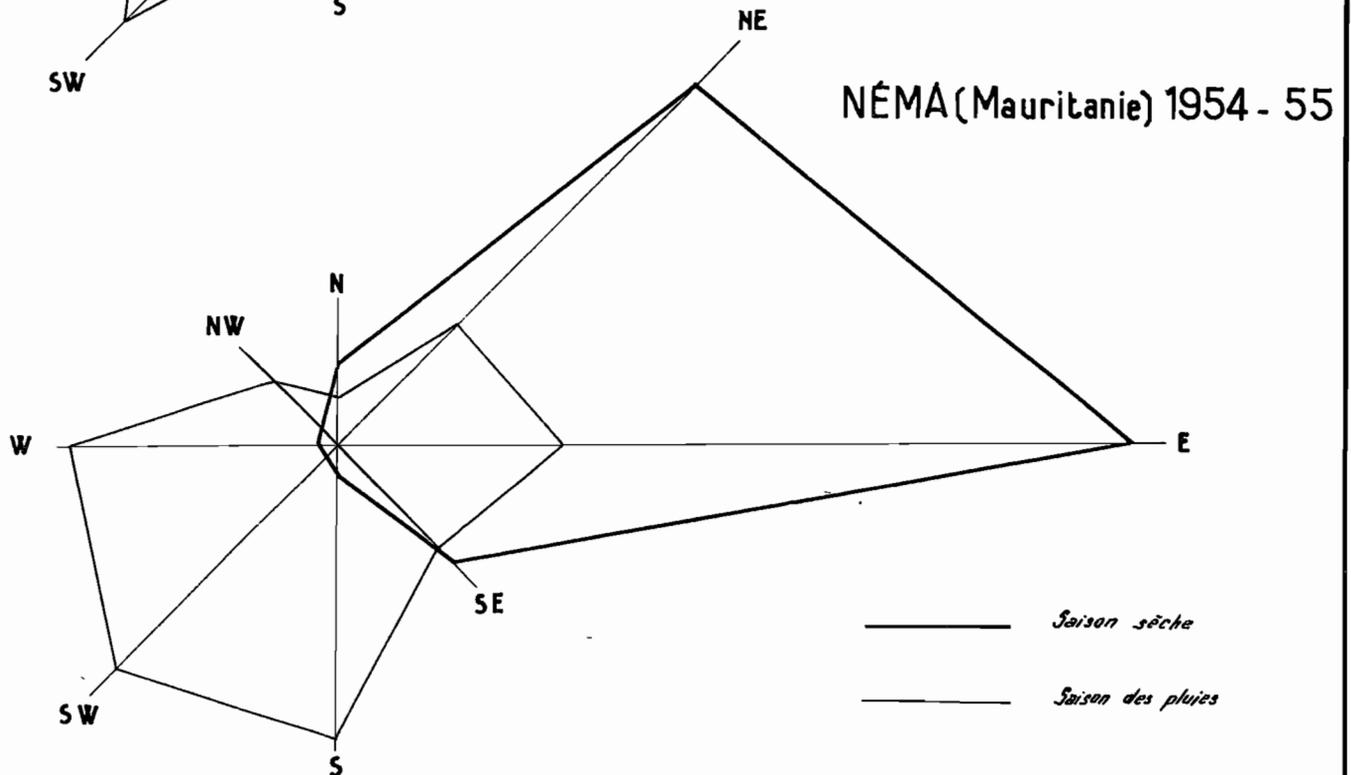
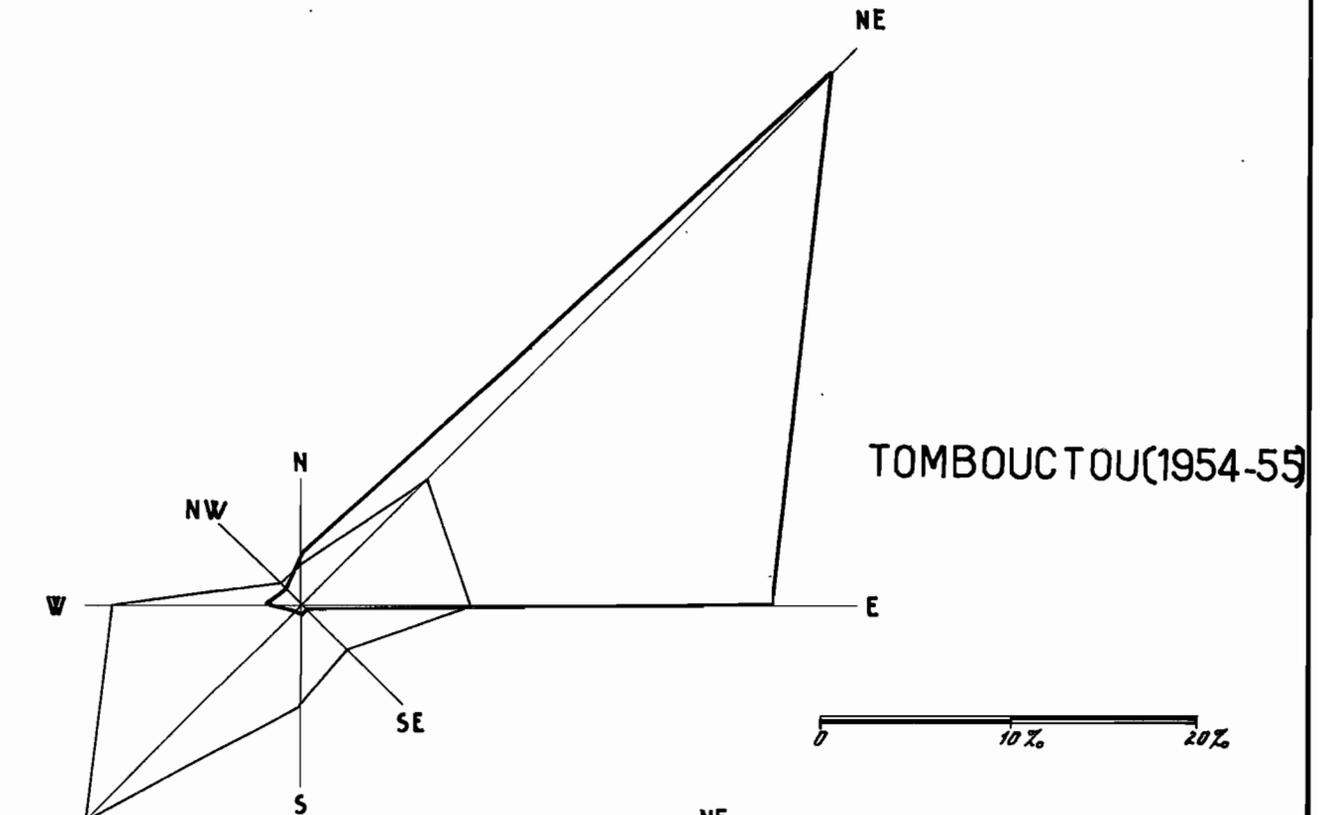
VISA:

TUBE N°:

A1

FRÉQUENCE DES DIRECTIONS DES VENTS

Gr. 6



NIG 9924

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: XII - MCMLV

DES: J-P. Hoeltich

VISA:

TUBE N°:

A1

C - LES TEMPERATURES -

De même que dans le bassin du NIGER supérieur, la température moyenne dans la zone 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	Période
SAN	287	28° 3	1940 - 1949
SEGOU	288	28° 6	1936 - 1949
MOPTI	268	27° 7	1935 - 1949
TOMBOUCTOU	299	29° 1	1950 - 1954
NEMA	269	30° 2	1932 - 1949
HOMBORI	299	30° 0	1940 - 1949

On remarquera immédiatement que, malgré la latitude plus élevée de MOPTI, sa température moyenne est inférieure à celle de SEGOU ; nous verrons plus loin que cette anomalie provient de l'influence rafraichissante de la cuvette lacustre.

Nous avons rassemblé, sur le graphique n° 7, les variations des moyennes mensuelles des températures maximales et minimales journalières et de leurs écarts, aux stations de SEGOU, MOPTI et TOMBOUCTOU.

Les trois diagrammes sont similaires et se modifient assez régulièrement avec la latitude des stations ; celui de TOMBOUCTOU en particulier se situe normalement par rapport aux autres, malgré la faible période d'observations à cette station ; celui de MOPTI, par contre, s'intercale assez mal entre SEGOU et TOMBOUCTOU en raison de la situation spéciale de ce poste.

1°) VARIATIONS SAISONNIERES des TEMPERATURES -

A toutes les stations, les températures passent par leur minimum en Janvier. On remarque toutefois que l'échelonnement, suivant la latitude des stations, des valeurs maximales de Janvier, comporte une irrégularité : le Tx de MOPTI n'est que de 29° 8 alors que celui de TOMBOUCTOU est de 30° 2. Cette irrégularité s'inscrit d'ailleurs dans un phénomène général : la courbe de MOPTI demeure la plus basse durant toute la saison sèche, d'Octobre à Avril ; ce décalage est dû, de façon évidente, à une évaporation beaucoup plus forte qu'aux autres stations ; MOPTI se situe, en effet, au milieu de plaines encore inondées au coeur de la saison sèche. SEGOU est bâtie sur le bord du NIGER, mais nettement en amont de la cuvette ; TOMBOUCTOU se trouve à 13 km du fleuve à vol d'oiseau.

L'évaporation et son effet rafraîchissant étant beaucoup plus faibles de nuit que de jour, la courbe des valeurs minimales (Tn) de MOPTI s'inscrit normalement entre celles de SEGOU et TOMBOUCTOU, de Décembre à Avril (SEGOU 15° 3, MOPTI 14° 1, TOMBOUCTOU 12° 8).

Après une remontée régulière des températures en Février et Mars, les plus fortes chaleurs ont lieu en Avril dans le Sud du MALI (SEGOU 40° 9), en Mai dans les régions subdésertiques (TOMBOUCTOU 43°) ; ce décalage d'un mois s'explique par le début des pluies plus tardif à TOMBOUCTOU qu'à SEGOU.

Aux stations intermédiaires, en plein régime sahélien on observe un palier en Avril et Mai ; ce palier est d'ailleurs plus faible à MOPTI (39° 6 - 39° 8) qu'à SEGOU (40° 9) ; en effet, la cuvette lacustre, encore gorgée d'eau, est le siège d'une évaporation intense atténuant sensiblement les températures diurnes.

Les températures nocturnes (Tn) passent par leurs valeurs les plus fortes en Mai ; ces valeurs, très groupées, oscillent entre 25° 4 (MOPTI) et 26° 3 (SEGOU).

A partir de Juin, la remontée du F.I.T. ayant atteint le Nord de la cuvette, les pluies entraînent un rafraîchissement général et progressif de la température, se traduisant, sur les graphiques des Tx, par une descente très rapide ; un minimum relatif est atteint en Août : 31° 6 à SEGOU 30° 8 à MOPTI, 34° 4 à TOMBOUCTOU.

On remarquera qu'en Juillet la Tx de MOPTI (34°) devient supérieure à celle de SEGOU (33° 2) ; ceci se conçoit aisément : l'étiage ayant lieu en Juillet dans le centre de la cuvette, l'évaporation et son effet rafraîchissant y redeviennent du même ordre de grandeur qu'à l'extérieur de la cuvette, tandis que la répartition des pluies dans le temps aux divers points du territoire reprend son influence prépondérante sur les températures diurnes.

L'évaporation nocturne étant relativement très faible, le creux des Tn durant l'hivernage est bien moins marqué que celui des Tx ; les valeurs minimales, en Août, varient peu d'une station à l'autre : SEGOU 22°, TOMBOUCTOU 23° 8.

En Septembre s'observe, avec la diminution de la pluviométrie, une remontée générale des températures diurnes ; un second maximum, inférieur de trois à cinq degrés à celui d'Avril-Mai, se produit en Octobre dans le Nord et le centre, en Novembre dans le Sud ; il est de 40° à TOMBOUCTOU, en Octobre, de 36° 3 à SEGOU en Octobre-Novembre (palier), et est minimum à MOPTI avec 33° 8 en Octobre.

La remontée correspondante des températures nocturnes est à peine sensible (un degré au maximum) ; en fait les Tn gardent pratiquement les mêmes valeurs d'Août à Octobre : SEGOU 22°, MOPTI 22° 8 - 23° 8, TOMBOUCTOU 24°.

En Novembre, débute la saison sèche et froide ; les températures amorcent leur descente vers le minimum absolu de Décembre-Janvier.

Cette baisse des températures diurnes et nocturnes est d'autant plus accentuée que la station considérée est plus élevée en latitude ; à MOPTI la courbe des Tx recommence toutefois, dès Novembre, à s'infléchir en dessous des autres courbes, par suite de la reprise de l'incidence de l'évaporation dans la cuvette.

2°) VARIATIONS SAISONNIERES des ECARTS DIURNES - NOCTURNES -

Elles se présentent en gros, aux trois stations situées à l'intérieur ou au voisinage de la cuvette, sous la forme d'oscillations simples, relativement parallèles, mais comportant des irrégularités dues aux positions géographiques respectives de ces stations.

Les écarts passent par un point haut vers la fin de la saison sèche, de Février à Avril, soit deux à quatre mois après les valeurs minimales de saison sèche.

Ce point haut est en général un maximum absolu (SEGOU 18°, en Février, MOPTI 17° en Mars - Avril) ; mais, il peut être également un maximum secondaire (TOMBOUCTOU 19° 4, en Mars).

Il est suivi d'une diminution progressive des écarts, qui s'étend d'Avril ou Mai jusqu'à Août, époque de leur minimum ; cette décroissance est due à la différence de fléchissement des températures diurnes et nocturnes à l'hivernage, déjà expliquée ci-dessus. On notera que, d'Avril à Août, les courbes des écarts de SEGOU, MOPTI et TOMBOUCTOU se groupent en un faisceau relativement étroit.

Les écarts passent en Août par leur minimum absolu à toutes les stations. Ce minimum croît en principe avec la latitude, il est en effet à SEGOU de 9° 4 et à TOMBOUCTOU de 10° 7 ; à MOPTI, par suite de la chute des températures diurnes, plus accusée qu'aux autres stations, il est de 8° seulement.

De Septembre à Novembre, les écarts augmentent régulièrement, d'abord par suite de la remontée des températures diurnes liée à la diminution de la pluviométrie, ensuite à cause de la chute des températures nocturnes, qui commencent à diminuer avant les températures diurnes (Novembre).

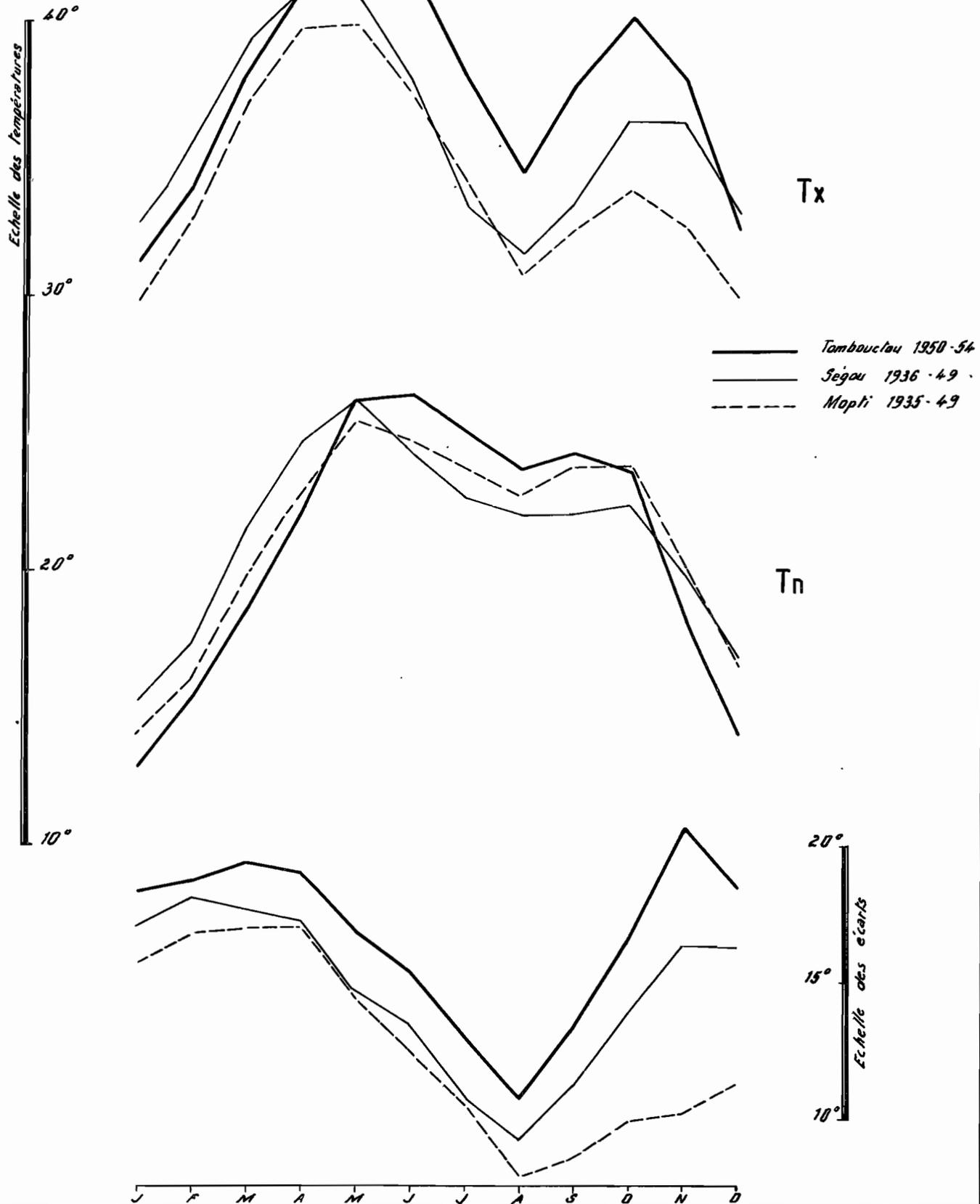
En Novembre et Décembre, les écarts varient de façon très différente suivant les stations : à TOMBOUCTOU, ils passent par un maximum absolu de 20° 6 en Novembre, puis redescendent à 18° 4 en Décembre ; à SEGOU, les courbes des Tx et des Tn deviennent sensiblement parallèles, de sorte que l'écart apparaît constant voisin de 15° et 16° ; à MOPTI, les températures diurnes ayant amorcé leur descente, par suite du jeu de l'évaporation, avant celles des autres stations, le palier de Novembre - Décembre n'existe pas ; d'Août à Avril, la courbe des écarts est comparable à une demi-sinusoïde ascendante ; elle monte d'abord lentement jusqu'en Décembre (8° à 11° 3), puis très vite de Décembre à Janvier (11° 3 à 15° 6), enfin lentement de nouveau de Janvier à Avril (15° 6 à 17°).

Aux autres stations les écarts augmentent également régulièrement à partir de Décembre ou Janvier, jusqu'au coeur de la saison fraîche, soit Février-Mars.

CUVETTE LACUSTRE

VARIATIONS MENSUELLES DES TEMPÉRATURES

Gr 7



NIG 9925

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: VII. MEMLE

DES: J.-P. Herblin

VISA:

TUBE N°:

A1

La conclusion de cette analyse est qu'à SEGOU et TOMBOUCTOU, stations éloignées du microclimat de la cuvette, les écarts entre les températures maximales et minimales sont nettement supérieurs à ceux que l'on observe dans le microclimat de la cuvette, à MOPTI par exemple. Il y a là un premier motif pour l'évaporation d'être plus faible dans la cuvette lacustre, que sur les bords.

D - HYGROMETRIE -

1°) HUMIDITE RELATIVE -

Les moyennes interannuelles des humidités relatives journalières maximales et minimales pour la période 1951 à 1955 sont les suivantes aux stations principales du MALI :

Stations	Humidité relative en %	
	Moyenne des maxima "Ux"	Moyenne des minima "Un"
TOMBOUCTOU	54	21
NEMA	49	22
HOMBORI	50	21
MOPTI	75	30
SEGOU	74	32
SAN	79	32

Elles décroissent d'une manière générale du Sud au Nord :

- Les valeurs Ux de SAN, supérieures à celles de SEGOU, sont dues aux plaines d'inondation qui s'étendent le long du BANI sur les deux cents derniers kilomètres de son cours.

- Les valeurs des Ux de MOPTI, très fortes pour la latitude, sont évidemment fonction de sa position sur le bord oriental de la cuvette lacustre.
- Les moyennes interannuelles des Ux de NEMA et HOMBORI, (49 et 50), stations situées en dehors de l'influence de tout plan d'eau, mettent en relief la valeur Ux de TOMBOUCTOU, (54), plus forte malgré la latitude plus élevée de cette ville ; l'examen des graphiques montre d'ailleurs que les valeurs mensuelles maximales de TOMBOUCTOU station qui n'est pas très éloignée du fleuve, sont effectivement supérieures à celles de NEMA et HOMBORI en saison sèche.

Variations saisonnières -

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)

On constate qu'en hivernage, l'humidité diminue lentement du Sud au Nord ; il existe cependant une différence nette entre les courbes des stations de SEGOU, MOPTI, et celles de TOMBOUCTOU en régime subdésertique.

En saison sèche, les valeurs minimales (humidité diurne) sont sensiblement les mêmes à toutes les stations ; les valeurs maximales (humidité nocturne) sont relativement élevées dans la cuvette et faibles en dehors (TOMBOUCTOU).

Les variations des écarts journaliers de l'humidité relative dans le Sud de la cuvette diffèrent peu de celles observées à SEGOU ; considérées au cours de l'année, elles ont la forme d'une oscillation double avec deux maximums à peu près égaux en début de saison sèche (Novembre) et d'hivernage (Mai-Juin), et deux minimums en fin de saison sèche (Mars-Avril), et au coeur de l'hivernage (Août).

A TOMBOUCTOU, elles ne comprennent plus qu'une oscillation simple, avec un maximum à l'hivernage (Septembre) et un minimum en saison sèche.

Les tensions de vapeur d'eau sont les suivantes :

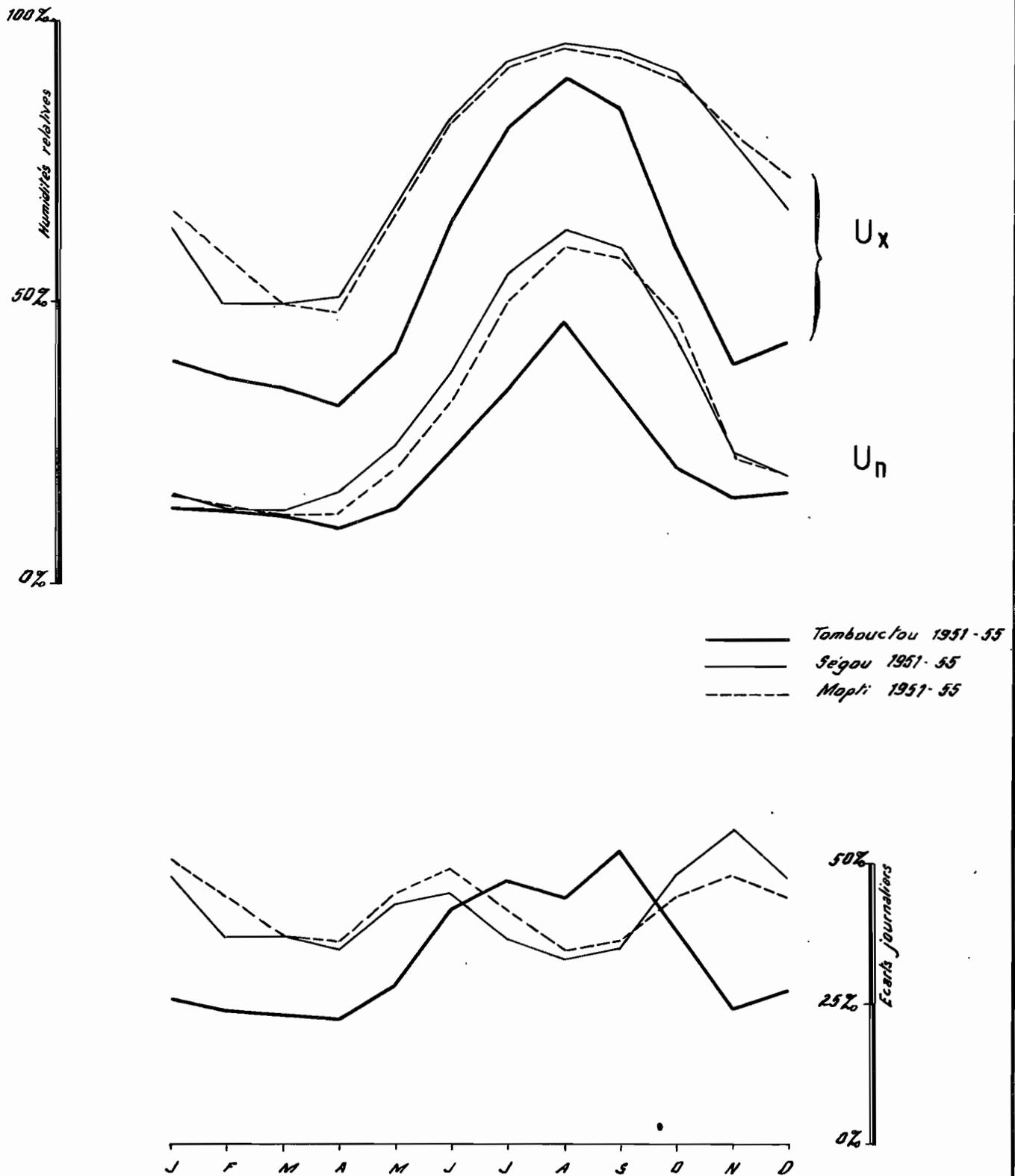
Stations	Moyennes annuelles (mb)	
	\bar{e}_x	\bar{e}_n
BAMAKO	27,1	12,1
SEGOU	26,4	10,9
MOPTI	26,8	10,2
TOMBOUCTOU	22,7	8,2

En allant vers le Nord, les tensions de vapeur minimales décroissent régulièrement ; les tensions de vapeur maximales restent constantes dans le Sud de la cuvette et ne subissent une baisse franche qu'à TOMBOUCTOU. On constate, ici aussi, que MOPTI doit à sa position en microclimat humide d'avoir des tensions de vapeur équivalentes à celles de SEGOU, alors qu'à cette latitude et en microclimat sec, des chiffres de 25 mb et 9,5 mb seraient normaux.

CUVETTE LACUSTRE

Gr 8

VARIATIONS MENSUELLES DE L'HUMIDITÉ RELATIVE



2°) EVAPORATION -

L'évaporation sur bac Colorado a été observée en 4 points bien répartis :

- Au voisinage des rapides du KENIE, entre BANAKO et KOULIKORO, donc en amont de la cuvette lacustre.
- A KOUMBAKA, à une cinquantaine de kilomètres au Sud de MOPTI.
- A TIN ADJAR, en plein coeur du GOURMA à la latitude de DIRE, sensiblement.
- A M'BOUNA, sur le bord du lac FAGUIBINE.

Les 3 premières stations évaporométriques sont situées hors de la cuvette lacustre ; bien que le bac du KENIE et celui de KOUMBAKA soient dans les lits majeurs du NIGER et du BANI, ils ne bénéficient pas d'un microclimat très humide, surtout celui de KOUMBAKA. Le bac de M'BOUNA, par contre, est situé à quelques mètres du bord du plus grand lac de la cuvette et jouit toute l'année d'un microclimat qui incontestablement est très humide.

Aux stations du KENIE (1954-55) et de TIN-ADJAR (1956-58), on dispose de relevés sur plusieurs années ce qui permet de considérer les chiffres obtenus comme sûrs. Les résultats fournis pendant 4 et 10 mois par les 2 autres stations sont en harmonie avec les précédentes (Graphique n° 9).

D'une manière générale, l'évaporation croît du Sud au Nord, à mesure que l'on s'éloigne des zones de riche végétation pour se rapprocher du désert. Sa hauteur totale annuelle est de 2 550 mm au KENIE et de 3 170 mm à TIN ADJAR.

Les variations mensuelles ont une allure sinusoidale et les courbes des diverses stations sont sensiblement parallèles. Le minimum absolu se produit, quelle que soit la station considérée, en Août, mois de pluviométrie maximale. Il vaut :

3,5 mm au KENIE
4,1 mm à KOUMBAKA
6,5 mm à TIN ADJAR.

Dès Septembre, l'évaporation croît jusqu'au départ du F.I.T. vers le Sud (Octobre dans le Nord, Novembre dans le Sud de la cuvette). Elle reste constante en Novembre et Décembre dans le Sud de la cuvette (6,4 mm) mais redescend dès Novembre, par suite de la baisse sensible des températures, dans la partie septentrionale de la cuvette (8 mm environ).

C'est pour cette raison que de Décembre à Avril, l'évaporation est plus faible à TIN ADJAR qu'au KENIE. L'évaporation croît dès le début de l'année jusqu'aux mois les plus chauds, qui terminent la saison sèche.

10,7 mm en Avril au KENIE
11,3 mm en Juin à TIN ADJAR.

Nous n'avons pas parlé jusqu'ici de M'BOUNA car, située à la même latitude que TIN ADJAR, mais dans le microclimat humide de la cuvette lacustre, cette station permet de saisir la diminution considérable de l'évaporation due à son exposition particulière.

Sa courbe des variations mensuelles reste presque constamment en-dessous de celle de TIN ADJAR de 2 mm par jour, sauf lors des mois très chauds (comme Juillet) où l'influence microclimatique s'amenuise. L'évaporation à M'BOUNA est connue pour 10 mois (Janvier-Avril et Juillet-Décembre) et vaut 1 942 mm pour ces 10 mois ; bien qu'il faille extrapoler les valeurs des 2 mois les plus chauds (Mai et Juin), on peut, en prenant des chiffres légèrement inférieurs à ceux de TIN ADJAR, arriver à une estimation correcte de l'évaporation annuelle : 2 500 mm environ.

Il est particulièrement intéressant de constater la similitude des relevés d'évaporation effectués au MALI et au TCHAD, dans les zones subdésertiques. L'évaporation est du même ordre de grandeur :

- a) A TIN ADJAR et BOL-DUNE (1) stations de microclimat sec : on trouve respectivement 3 170 mm et 3 300 mm.
- b) A M'BOUNA et BOL-ILE (1) stations de microclimat humide : on trouve respectivement 2 500 mm et 2 600 mm.

Par ailleurs, A. BOUCHARDEAU a pu déterminer l'évaporation du lac TCHAD indirectement par l'analyse fine du bilan hydrologique, et il a trouvé 2 280 mm c'est-à-dire une valeur correspondant à :

85 à 90 % de l'évaporation mesurée sur bac Colorado en microclimat humide.

66 % de l'évaporation mesurée sur bac Colorado en microclimat sec.

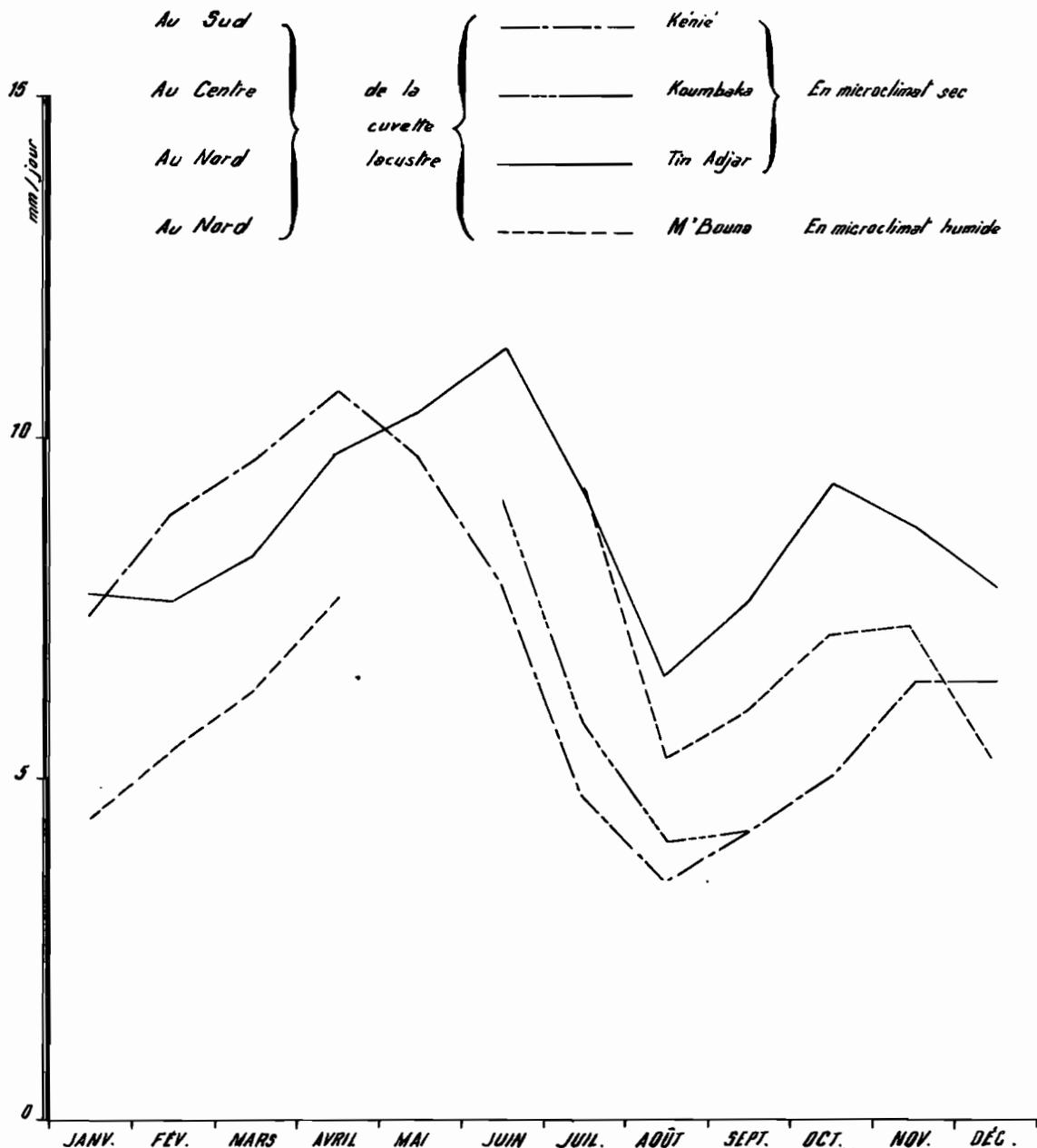
(1) Ces 2 stations sont situées sur la rive Nord du Lac TCHAD.

La similitude des 2 régions permet de supposer que l'évaporation sur la cuvette lacustre proprement dite, c'est-à-dire considérée comme une grande étendue d'eau, doit être voisine de 2 200 mm dans sa partie septentrionale. Cette évaporation descendrait vers le Sud jusqu'à 1 800 mm, chiffre correspondant retenu pour la région de BAMAKO.

Des chiffres compris entre 2 200 mm et 3 100 mm pourraient s'appliquer aux régions de la cuvette septentrionale non inondées et jouissant de ce fait d'un microclimat semi-humide dû à la proximité des zones inondées. Tous les intermédiaires entre 2 200 mm (nappe d'eau) et 3 100 mm (microclimat sec) peuvent vraisemblablement être observés. Dans la partie méridionale de la cuvette, la fourchette de variation s'établirait entre 1 800 et 2 400 mm.

CUVETTE LACUSTRE

VARIATIONS MENSUELLES DE L'ÉVAPORATION sur Bac Colorado



C H A P I T R E I I

PRECIPITATIONS

A - HAUTEURS ANNUELLES -

Dans la Monographie du NIGER Supérieur et du BANI, les moyennes des hauteurs pluviométriques ont été calculées pour la période de 1923 inclus à 1957 inclus, en vue de la mise au point du réseau d'isohyètes.

Pour tout le bassin du NIGER en amont de MOPTI, ces isohyètes ont donc déjà été tracées; nous les avons reportées sur notre carte n° VI.

Pour continuer le réseau au Nord de MOPTI, nous avons fait appel à 17 stations pluviométriques :

- à 7 d'entre elles, la période 1923-1957 ayant été observée, nous avons pu calculer une moyenne vraie,
- aux 10 autres stations observées depuis au moins dix ans, nous avons pu déterminer une moyenne sur la même période en effectuant une correction d'hydraulicité sur la moyenne observée.

Nous donnons, à la suite, les hauteurs moyennes à toutes ces stations classées suivant les variantes de climat.

a) Climat soudanien Nord - (1)

BANDIAGARA	594 mm	(DOUENTZA)	516 mm
MOPTI	560 mm	(DOGO)	500 mm
NARA	527 mm		

b) Climat sahélien Sud -

(HOMBORI)	434 mm	(SARAFERE)	300 mm
NIAFUNKE	323 mm	(EL OUALADJI)	300 mm
(TIMBEDRA)	316 mm	GAO	274 mm
(NEMA)	302 mm	GOUNDAM	267 mm

c) Climat sahélien Nord -

(TOMBOUCTOU)	220 mm	(GOURMA-RHAROUS)	180 mm
KABARA	217 mm	(BOUREM)	179 mm

La carte n° VI montre le réseau d'isohyètes tracé d'après ces hauteurs. Pour la cuvette lacustre, 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 1 000 mm à 560 mm, aussi la hauteur d'eau moyenne sur l'ensemble du bassin du NIGER qui était de 1 600 mm à KOULIKORO n'est-elle plus que de 1 450 mm à MOPTI. Le bassin du BANI, moins favorisé dans sa partie amont, ne totalise que 1 170 mm de pluie moyenne annuelle à MOPTI.

L'ensemble du bassin NIGER-BANI limité à MOPTI bénéficie d'une pluviométrie moyenne de 1 310 mm. La totalité du bassin prise à DIRE ne reçoit plus que 1 160 mm.

(1) Entre parenthèses les stations ayant fait l'objet de corrections d'hydraulicité.

B - VARIATIONS SAISONNIERES -

On peut les suivre facilement sur le tableau ci-dessous, où figurent les hauteurs mensuelles moyennes pour la période 1923-1957 à 4 stations bien réparties du Sud au Nord de la cuvette lacustre, chacune représentant une variante de climat.

- Soudanien Sud : SEGOU
- Soudanien 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

Reproduites sur un graphique (n° 10), 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 5 mois par an, du 15 Juin au 15 Octobre ; l'hivernage survient en Avril, mais les mois d'Avril et de Mai sont forts peu arrosés.

Les premières pluies attendent Mai et même Juin pour se produire en région sahélienne. La saison des pluies n'y dure effectivement plus que 3 mois: de Juillet à Septembre.

Si la phase ascendante de la saison des pluies s'inscrit différemment dans le temps suivant la zone climatique considérée, le maximum de pluviométrie se produit pratiquement toujours en Août sur toute l'étendue du delta central. La hauteur de ce mois varie de 1 à 2,5 entre KABARA et SEGOU : 93 à 244 mm.

La saison sèche dure sept à huit mois en climat soudanien 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, ce phénomène disparaît ; mais, certaines années (1) on y observe des pluies fines fin Décembre - début Janvier ; il s'agit toujours de précipitations très faibles (quelques millimètres au plus), sans influence sur le régime hydrologique du NIGER. Ces pluies sont connues dans toute la zone subdésertique de l'Afrique Occidentale.

C - PRECIPITATIONS JOURNALIÈRES -

La région étudiée dans ce volume de la Monographie se trouve en-dessous de l'isohyète 1 000 mm, et pour la cuvette lacustre en-dessous de 750 mm. 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 moyenne (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 de tornade peut se dédoubler assez souvent au-dessus de l'isohyète 500 mm.
- Une traîne longue de $\frac{1}{2}$ h à 2 h environ, dont l'intensité tombe rapidement de 10 à 20 mm/h 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.

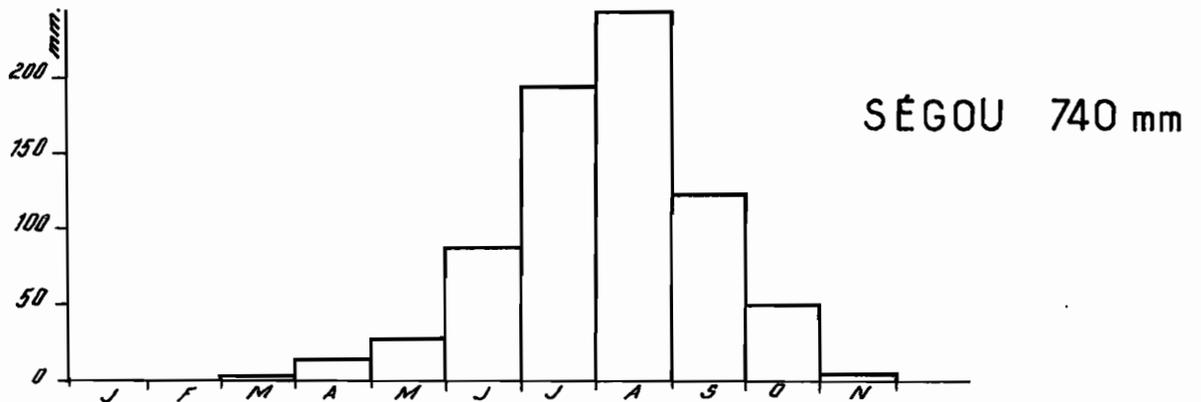
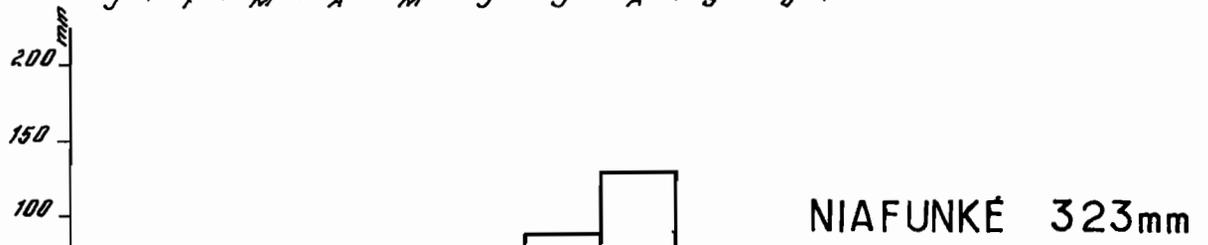
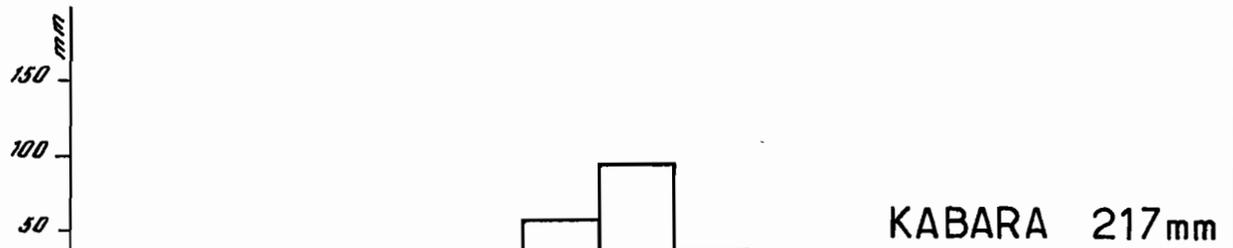
Au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Nord, la durée des différentes phases de la tornade diminue, mais les intensités ne subissent pratiquement pas de modification. En outre, le nombre d'averses doubles ou à pointes multiples se réduit aussi fortement, en-dessous de l'isohyète 500 mm.

(1) En particulier, le souvenir des pluies de l'hiver 1883-1884 s'est perpétué dans la tradition Maure, qui appelle l'année 1884 : "L'an de la pluie bienheureuse et de la terre renaissante".

CUVETTE LACUSTRE

Gr 10

VARIATIONS SAISONNIERES DE LA PLUVIOMETRIE



NIG_9928

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: XII - MCMXX

DES: J.P. Huet

VISA:

TUBE N°:

A1

On peut donc, en simplifiant quelque peu, dire que l'étude des averses individuelles se ramène à celle des averse de 24 h.

Comment se répartissent les hauteurs de précipitations des tornades au cours d'une année ?

Le nombre de jours de pluie diminue du Sud au Nord de 56 à SEGOU jusqu'à 19 à RHAROUS en passant par 41 à MOPTI, 28 à NIAFUNKE et 22 à KABARA.

La plus grande partie de ces pluies sont de faible hauteur, comme le montre l'analyse effectuée sur un grand nombre de stations des climats sahélicien et soudanien pour lesquelles on a calculé les valeurs moyennes des précipitations de fréquences : 10 %, 30 % et 50 %,

Pour la cuvette lacustre, comprise entre les isohyètes 200 et 750mm, ces valeurs sont sensiblement les mêmes :

6 à 7,5 mm	pour la pluie de fréquence	50 %
11 à 16 mm	- - -	30 %
24 à 34 mm	- - -	10 %

L'augmentation de la hauteur des précipitations annuelles du Nord au Sud résulte non pas d'averses plus fortes, mais d'averses plus fréquentes.

D - PRECIPITATIONS EXCEPTIONNELLES -

Les pluies de fréquence 10 % représentent les grosses tornades. On voit que, par exemple, une averse supérieure à 50 mm se produit rarement, en général, avec une fréquence de 2 à 3 % c'est-à-dire 1 à 1,5 fois par an.

La détermination statistique exacte de la hauteur de précipitation décennale pour la zone sahélo-soudanienne n'est pas encore effectuée. On en connaît malgré tout l'ordre de grandeur qui en place les valeurs entre 90 mm et 120 mm, du Nord au Sud de la cuvette lacustre.

Ces averses sont des tornades doubles ou triples qui durent 2 à 3 h. Elles se présentent sous un schéma assez homogène dans toute l'AFRIQUE de l'Ouest, et l'on peut dire que le corps de ces tornades correspond en hauteur de précipi-

tations à 85 % de la pluie totale et dure environ 90 minutes, si l'on élimine la pluie préliminaire et la traîne pour des intensités inférieures à 10 mm/h. Ce résultat est extrait d'une étude comparative (1) d'un très grand nombre d'averses observées en régions sahélo-soudaniennes et présentée à la Conférence Interafricaine de l'Hydrologie (NAIROBI 16-26/1/61).

On y apprend aussi que la relation intensité-durée revêt les aspects moyens suivant pour le corps d'une tornade décennale :

220 mm/h	pendant	5	minutes
180 mm/h	-	10	-
150 mm/h	-	15	-

Des averses de fréquences plus rares ont pu être observées par les services météorologiques depuis 1920. Signalons la pluie de 12-8-1950 à FORT-LAMY (TCHAD) : 180,9 mm dont 135 mm en 2 h, chiffres dont la valeur ne fait pas de doute.

Au MALI, pour la période 1920-1949, on a les maximums suivants moins sûrs que le précédent.

95 mm	à	KABARA	le	16-7-1933
142 mm	à	NIAFUNKE	le	5-8-1925
103,5 mm	à	MOPTI	le	27-5-1932

(1) "Essai de détermination des caractéristiques principales des averses décennales dans les régions sahélo-soudanaises de l'AFRIQUE de l'Ouest" par J. RODIER.

E - IRREGULARITE INTERANNUELLE -

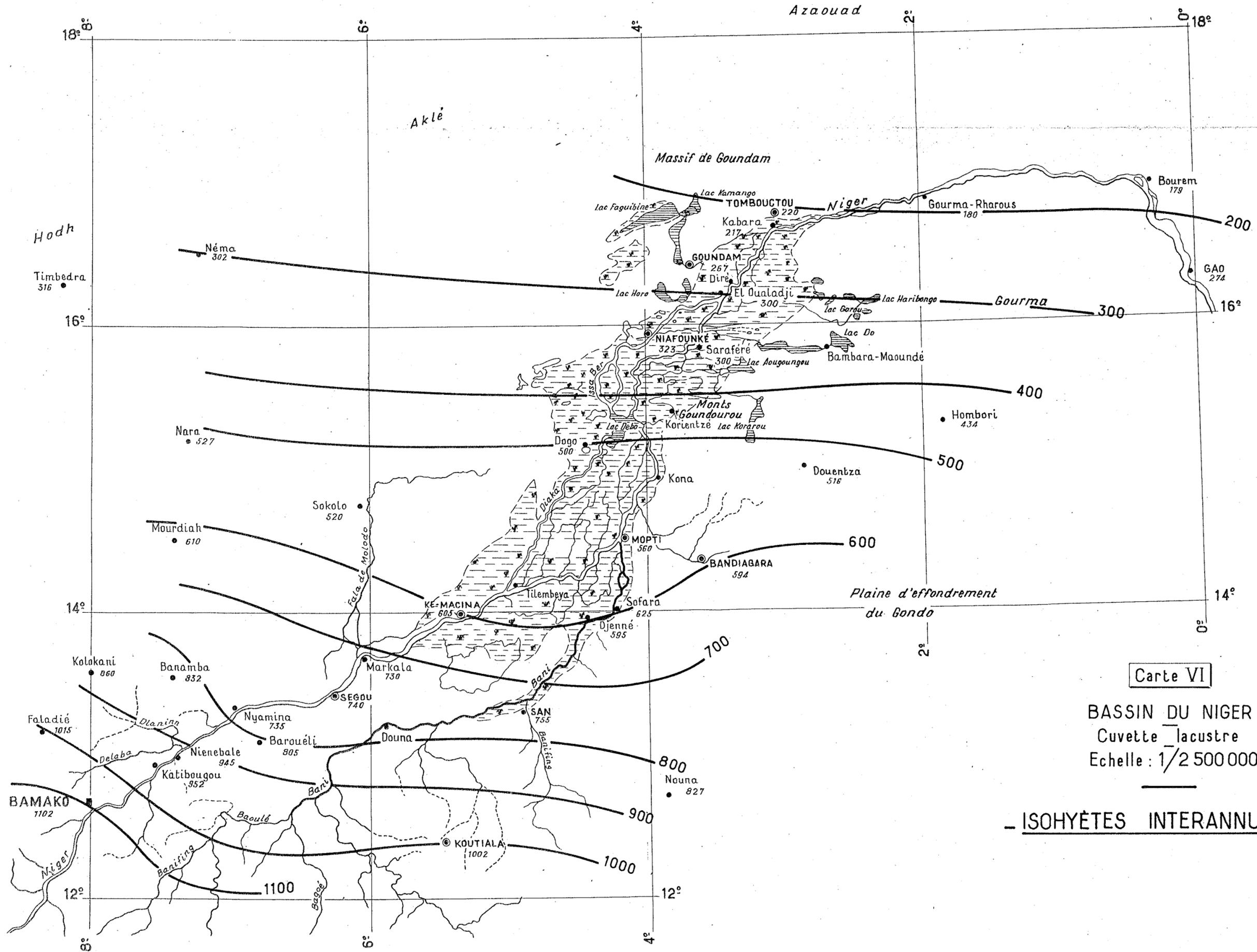
On peut la caractériser par le coefficient K_3 , qui est obtenu, pour chaque station, après classement des hauteurs de précipitations annuelles par ordre décroissant, en faisant le rapport de la plus faible valeur du premier décile à la plus forte valeur du dernier décile.

Sur la période d'observation de 1923 à 1957, on trouve les coefficients d'irrégularité ci-dessous.

SEGOU	1,84	GOUNDAM	2,26
MOPTI	1,89	GAO	2,63
BANDIAGARA	1,90	RHAROUS	2,50
NIAFUNKE	2,21	KABARA	2,82

Ces coefficients K_3 restent sensiblement voisins de SEGOU et de MOPTI, c'est-à-dire entre les isohyètes 750 et 500 mm, bande couvrant la variante Nord du climat soudanien.

Pour des précipitations annuelles inférieures à 500 mm, le coefficient K_3 croît rapidement de 2 à 2,5 qui semble une valeur moyenne pour le climat sahélien.



Carte VI

BASSIN DU NIGER
 Cuvette lacustre
 Echelle : 1/2 500 000

ISOHYÈTES INTERANNUELLES

NIG-9917

3ème PARTIE

DONNEES HYDROLOGIQUES

EQUIPEMENT HYDROLOGIQUE et MESURES HYDROMETRIQUES -

Nous allons passer en revue, dans cette partie, tous les éléments d'observation dont nous disposons : relevés d'échelle et mesures de débits.

Nous examinerons successivement les stations du NIGER d'amont en aval, puis celles de ses affluents et effluents. Leur liste figure dans le tableau suivant, où les bassins versants n'ont plus de signification réelle en aval de SEGOU ; les superficies mentionnées englobent les parties versantes et les parties inondées par la crue dans le bassin.

<u>NIGER</u>	TAMANI	130 250 km ²
	SEGOU	134 000
	KIRANGO Amont	
	KIRANGO Aval	137 000
	SAMA	
	KE-MACINA	141 000
	TILEMBEYA	143 000
	KOUAKOUROU	
	MOPTI	281 600
	NANTAKA	
<u>ISSA-BER</u>	AKA	
	NIAFUNKE	
	TONDIFARMA	
	TONKA	
	TINDERMA	

<u>NIGER</u>	DIRE RHAROUS	340 000 km ²
<u>Affluents - Effluents et Lacs -</u>		
BANI	DOUNA	101 600
DIACA	KARA DIAKERA	
BARA ISSA Lac FATI Marigot de GOUNDAM	SARAFERE TONDIGAME GOUNDAM	

(Voir la Carte au 1/2 500 000° n° VII).

C H A P I T R E I

LE NIGER

A - STATION DE TAMANI -

Bassin versant = 130 250 km²
Distance KOULIKORO-TAMANI = 102 km
Coordonnées géographiques Latitude 13° 20' Nord
Longitude 6° 50' Ouest.

L'échelle est placée dans le village de TAMANI sur la rive droite, au droit du magasin de la SOCIETE de PREVOYANCE.

Elle a été installée en Juillet 1952 (4 éléments de hautes eaux) et complétée en Mai 1953 (3 éléments de basses eaux).

Elle était destinée à :

- Préciser la pente du fleuve entre KOULIKORO et la zone de remous du barrage de SANSANDING.
- Faciliter les travaux de levés hydrographiques du fleuve commencés en 1953.
- Permettre l'étude des débits dans ce tronçon en vue d'améliorer les conditions de navigation sur les seuils sableux entre KOULIKORO et SEGOU, où s'effectue le maximum du trafic fluvial.

Le zéro de l'échelle est à la cote 282,36 m (nivellement Service Hydraulique rattaché au nivellement général).

Le repère SH 39 de l'échelle est à la cote 289,75 soit 7,39 mètres au-dessus du zéro de l'échelle.

A l'aval de KAMINI, le relief des fonds de berges s'estompe, l'aspect habituel des grès horizontaux disparaît et la vallée devient beaucoup plus plate.

On peut dire que le cours supérieur du NIGER se termine dans la région de TAMANI.

Le fleuve s'élargit et plusieurs bras se partagent le débit de hautes eaux, notamment au droit de la station.

Cette particularité fait de TAMANI une station de jaugeage médiocre où il est nécessaire de déplacer l'emplacement du profil de mesures et parfois de jauger plusieurs bras.

C'est ce qui explique que les jaugeages ont été limités à un débit inférieur à 2790 m³/s.

Jaugeages à la station de TAMANI.

<u>Date</u>	<u>Hauteur à l'échelle (m)</u>	<u>Débit m³/s</u>
3-12-1951	4,205	2 790
4- 5-1952	0,62	92
13- 6-1952	0,90	140
20- 7-1952	2,48	1 070
4- 3-1954	1,31	249

Les points se rangent correctement sur une courbe d'étalonnage dont la partie supérieure est déterminée par correspondance de cotes avec la station de KOULIKORO. Il est donc sans intérêt de comparer les volumes écoulés à KOULIKORO et à TAMANI.

Les apports dans ce tronçon ne sont pas négligeables. Ils sont surtout fournis par la rivière KODA dont la confluence se trouve perpendiculairement au NIGER au droit de DINAN, entre les collines caractéristiques DOLO KOULOU et DIANA KOULOU.

Son bassin versant de 6 300 km² environ s'étend parallèlement au NIGER et remonte jusqu'au Nord de KATI.

Le débit moyen de crue du KODA (formé du DELABA et du DLANINN) est certainement de l'ordre de 150 à 200 m³/s. Le volume total écoulé par cet affluent doit se situer aux environs de 0,5 milliard de m³. En se basant sur un volume annuel moyen écoulé de l'ordre de 45 milliards de m³, cet apport est de l'ordre de grandeur des erreurs de mesures entre les stations.

Sur la rive droite, le relief est un peu plus mou et la bande constituant le bassin versant légèrement plus étroite.

L'amplitude annuelle des eaux varie entre 6 et 7 m. En aval de KENINKOU, la largeur de la zone inondée en crue atteint 2 à 3 fois la largeur moyenne du lit majeur (1 500 m). Cette aire d'inondation se trouve plus souvent sur la rive convexe. Elle ne donne pas lieu à un écoulement visible. Les vitesses n'y sont pas en effet mesurables au moyen d'un moulinet hydrométrique. L'aire inondée est recouverte de végétation (vetiver) et de cultures (rizières) qui freinent considérablement l'écoulement. De plus, cette aire est souvent alimentée par l'aval au moyen d'une échancrure du bourrelet de rive.

En étiage, le lit mineur est constitué d'une série de mouilles reliées par des seuils sableux. Au droit de ces seuils, l'écoulement est rapide, il y a auto-érosion du seuil pour former un chenal plus ou moins bon. La ligne d'eau superficielle prend l'aspect d'une courbe décroissante en escalier.

La largeur du lit mineur au passage d'un seuil se situe entre 100 et 200 m au minimum de l'étiage.

La station de TAMANI n'est pas retenue comme station principale, c'est-à-dire que les hauteurs d'eau n'y seront pas systématiquement transformées en débits.

B - STATION DE SEGOU -

Bassin versant = 134 000 km²
Distance KOULIKORO-SEGOU = 167 km
Coordonnées géographiques : Latitude 13° 27' Nord
Longitude 6° 07' Oues

L'échelle se trouve sur la rive droite au droit de la concession de l'Agriculture.

Elle comprend un tronçon incliné gradué de 0,00 à 4,56 m (pente environ 1/11) et un tronçon vertical gradué de 4,56 à 7,06 m.

Le zéro de l'échelle est à la cote 279.467 m (nivellement général).

SEGOU se trouve à 35 km en amont du barrage de MARKALA, qui maintient le plan d'eau en basses eaux aux environs de la cote 281,75 m (soit environ 2,30 m à l'échelle de SEGOU).

A l'étiage absolu, le remous du barrage remonte jusque vers DIONGOLO (36 km en amont de SEGOU). A la crue, les manoeuvres des hausses du barrage se font à la demande suivant la variation du plan d'eau, sans prévision fournie à l'avance ; d'après les débits enregistrés aux stations amont, il en résulte une oscillation du plan d'eau entre les cotes 2,00 m à 2,80 m à l'échelle de SEGOU.

Avant la mise en eau du barrage, les cotes d'étiage à SEGOU variaient entre 0,00 et 0,40 m à l'échelle.

Entre TAMANI et SEGOU les apports du bassin sont faibles, la pente générale de la rive gauche vers le Nord-Est draine les eaux de ruissellement vers le FALA du MOLODO qui constitue l'ancien bras sahélien du NIGER.

Sur la rive droite, les eaux du bassin de BAROUELI sont drainées par le marigot de SONA qui longe le NIGER et le rejoint au droit de KONIDIMINI, à travers la forêt classée de GARA.

Donc très peu d'apports, à part les ruissellements immédiats des zones de berges. Au contraire, il est possible que les pertes en volume commencent dans cette région, soit par remplissage des aires inondables du lit majeur, soit même par infiltration massive dans l'ancienne vallée du FALA. Signalons, à ce sujet, dans la région de KALA légèrement en amont de SEGOU, un déversement en hautes eaux vers le MOLODO. Les débits de

cet effluent n'ont jamais été mesurés.

Toujours sur la rive droite, les eaux provenant de l'inter-zone NIGER-BANI profitent surtout au BANI.

Il n'y a eu que très peu de jaugeages à SEGOU :

- Un jaugeage OFFICE du NIGER, effectué le 1er Juin 1945 a donné un débit de 53 m³/s pour une cote de 0,22 m à l'échelle (pour un débit d'environ 60 m³/s à KOULIKORO à la même époque).
- Un jaugeage SERVICE HYDRAULIQUE le 17 Août 1951 donnant un débit de 3 210 m³/s (cote à l'échelle de 3,98 m).

Or, le 15 Août 1951, nous trouvons un débit à KOULIKORO de 3 600 m³/s environ. Ceci donne une idée déjà de l'aplatissement naturel de la crue et de l'absorption par la nappe du fleuve.

L'amplitude annuelle à SEGOU varie de 2,30 m à 5,86 m.

Il est possible de tracer une courbe d'étalonnage de la station de SEGOU par comparaison avec les stations de TAMANI et KIRANGO, valable entre les cotes 3,00 et 6,00 m. Cette courbe ne présente pas beaucoup d'intérêt.

Pour la station de SEGOU, nous possédons des relevés anciens de 1915 à nos jours, avec de nombreuses interruptions. Ils ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis la mise en eau du barrage de MARKALA qui perturbe à SEGOU le régime de basses eaux. Cette station reste utile, du point de vue limnimétrique (fonctionnement du port de SEGOU et besoins de la navigation) et pour l'étude des lignes d'eau.

C - STATION de KIRANGO-AMONT -

Coordonnées géographiques : Latitude 13° 43' Nord
Longitude 6° 02' Ouest

Cote du zéro de l'échelle 271,67 m (I.G.N.)

Cette échelle est installée en amont des postes de garde de l'écluse de TIO, dans le canal de navigation contournant le barrage de MARKALA. Elle a été lue sporadiquement depuis la construction de ces ouvrages (1936) ; les relevés continus ont repris en Février 1954.

Son intérêt est strictement limité à l'étude des pentes superficielles du NIGER, dans le bief amont de la retenue de MARKALA. Les variations de cotes, entre 8,50 m et 10,60 m, sont presque uniquement fonction des lâchures effectuées au barrage.

On n'y a évidemment procédé à aucune mesure de débit.

D - STATION de KIRANGO-AVAL -

Superficie du bassin : 137 000 km²

Coordonnées géographiques : Latitude 13° 42' Nord
Longitude 6° 04' Ouest

KIRANGO est situé à 3 km environ à l'aval du barrage de MARKALA. C'est une station hydrométrique importante car elle tient compte des prélèvements effectués pour les besoins des irrigations de l'Office du NIGER.

Dès 1925, une échelle a été installée et observée correctement. Ses relevés ont servi de base aux études hydrologiques de l'aménagement de MARKALA. Dans les archives, elle porte parfois le nom de DIAMARABOUGOU, village situé à l'amont du barrage, où étaient effectuées les mesures de débit.

En 1925, les relevés sont incomplets mais comprennent les périodes de hautes eaux (Juillet à Décembre).

Ils sont complets et d'excellente qualité jusqu'en Novembre 1938 (à part une douzaine de jours de Juillet et Septembre 1936). Ils reprennent en Avril 1938 jusqu'en Octobre 1939. L'étiage 1939 présente cependant des trous (du 15 Avril au 10 Juin, et la deuxième quinzaine de Juillet).

De l'année 1940, les relevés ne comprennent qu'une période allant du 15 Mai au 9 Septembre.

A partir de cette date, les observations de cette ancienne échelle ont été abandonnées.

En 1949-1950, le Service des Travaux Publics du SOUDAN a procédé à l'installation d'une seconde échelle, au droit du cimetière de KIRANGO. Elle est constituée d'éléments en fonte, coulés à MARKALA, scellés dans des pilots de béton. Les observations ont repris à partir du 16 Juillet 1950, elles se sont poursuivies sans interruption jusqu'à maintenant.

Jusqu'en 1954, la cote des zéros des deux échelles (l'ancienne et la nouvelle) était connue dans le système de nivellement P.C.S. (plan de comparaison de SANSANDING). Par la suite, le zéro de l'échelle de KIRANGO a été donné par rapport au nivellement général I.G.N.

Cote des Zéros

Zéro échelle de	Nivellement Service Hydraulique rattaché au nivellement I.G.N.	Planche de comparaison de SANSANDING
KIRANGO (Anc.) 1925 - 1940		294,04 m
KIRANGO (Nouv.) 1949 - 1958	<u>274,988 m</u>	293,86 m

Il y a donc un décalage absolu de 0,18 m entre les deux zéros.

- Etalonnage de KIRANGO (ancienne échelle) -

En 1931-1932 (du 27 Avril 1931 au 20 Septembre 1932), le Service Temporaire des Irrigations du NIGER (S.T.I.N.) effectua 56 jaugeages pour des débits variant de 130 m³/s à 6 560 m³/s (voir tableau des résultats).

La section de jaugeage choisie se trouvait en amont de l'emplacement actuel du Barrage au droit du village de DIAMARABOUGOU. L'ensemble de ces jaugeages a certainement été exécuté par le même personnel technique. Les mesures de vitesse étaient effectuées au moyen de moulinets OTT. Nous n'avons pu, personnellement, vérifier le procédé de dépouillement. Les points se placent d'une manière satisfaisante sur une courbe de tarage.

- Etalonnage de KIRANGO (nouvelle échelle) -

Depuis le mois de Juillet 1954, le Service de l'Hydraulique du SOUDAN a repris les jaugeages du NIGER, à l'aval du barrage. La section de mesures choisie se trouve au droit même du village Africain de KIRANGO, à l'aval immédiat d'un coude décrit par le fleuve, après l'échelle actuelle de KIRANGO.

Les 12 jaugeages récents s'étalonnent entre 12,1 et 5 606 m³/s. Ils permettent de préciser convenablement la courbe d'étalonnage.

Liste des jaugeages récents :

	Date	Hauteur à l'échelle en mètres	Débit m ³ /s
1	26- 7-1954	3,78	2 140
2	25-11-1954	4,24	2 540
3	30-12-1954	2,68	1 095
4	17- 2-1955	1,57	384
5	24- 4-1955	1,01	148
6	25- 5-1955	0,83	127
7	2-12-1955	3,30	1 818
8	20- 3-1956	0,92	121
9	13- 2-1957	0,84	116
10	11- 5-1957	0,07	12,1
11	10- 8-1957	4,68	3 114
12	18- 9-1957	6,46	5 606

Comparaison des 2 courbes d'étalonnage -

Nous avons reporté les 2 courbes sur un même graphique (n° 12) sans tenir compte du décalage des zéros d'échelle (0,18 m). Le nouvel étalonnage se trouve en dessous de l'ancien et correspond à des débits plus faibles. L'écart varie entre 0,12 m et 0,20 m suivant la hauteur à l'échelle, autour d'une valeur moyenne proche de 0,15 m.

Cet écart de 0,15 m, provenant de la différence entre les calages des deux échelles (0,18 m), peut sembler un peu faible mais il est possible que l'ancienne échelle ait été installée légèrement en amont de l'emplacement actuel. La pente naturelle du fleuve étant de 6 à 7 cm par kilomètre, la distance entre les deux sites peut être modeste en comparaison des 3 800 mètres existant entre l'échelle actuelle et le barrage.

D'autre part, un jaugeage effectué à BANANKORO (situé entre SEGOU et MARKALA) le 17 Août 1951 donne un débit de 3 210 m³/s pour une cote à l'échelle de KIRANGO de 4,65 m. Le point représentatif de cette mesure se place correctement sur l'ancien étalonnage résultant des jaugeages à DIAMARABOUGOU.

En outre, un léger comblement du lit, à l'aval du barrage, depuis sa mise en eau, agirait dans le même sens que l'hypothèse que nous avons faite au sujet de l'emplacement exact de l'ancienne station limnimétrique.

La modification pure et simple des relevés anciens par addition de 0,15 m ne nous paraît pas une opération très rigoureuse. Nous ne connaissons pas la précision avec laquelle ont été effectués les jaugeages de 1931-1932 qui, pour les basses eaux par exemple, conduisent à des débits très surestimés.

Ne subissant aucune action de par la présence du barrage dont toutes les hausses sont alors baissées, les cotes maximales du NIGER à KIRANGO doivent être en étroite corrélation avec celles de KOULIKORO, sans hiatus. Le graphique n° 11 présente ces maximums pris en valeurs brutes pour KIRANGO, c'est-à-dire sans tenir compte des zéros d'échelle. On constate que les relevés récents se groupent au-dessus de la courbe de corrélation des cotes maximales anciennes ; l'écart est inférieur à 0,15 m et proche de 0,10 m.

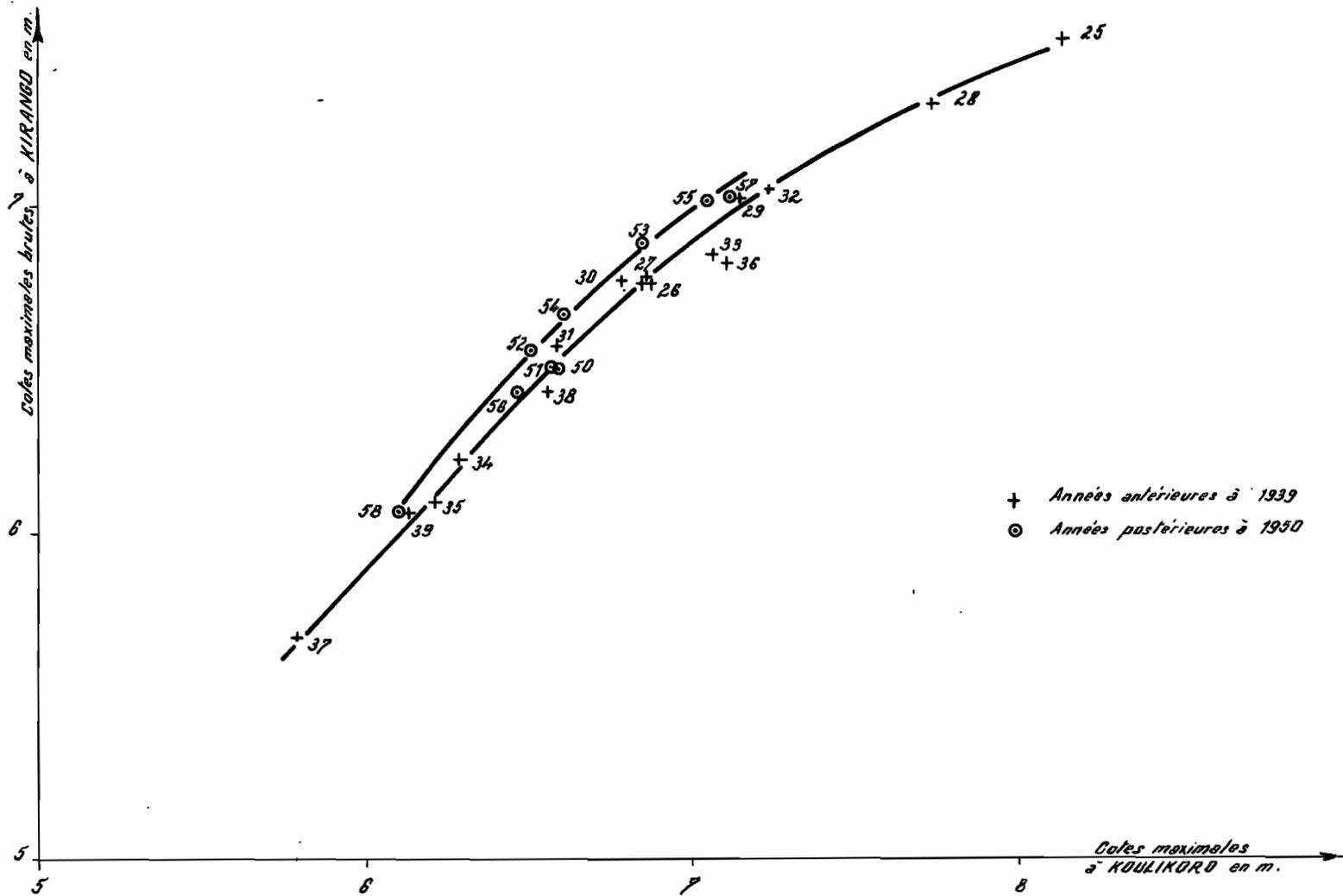
NIG-9929

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER
 LE: M. MONAY
 DES: J.-P. HACHIG
 VISA:
 TUBE N°:
 A1

Gr 11

CORRELATION ENTRE KOULIKORO ET KIRANGO

(Crues maximales brutes)

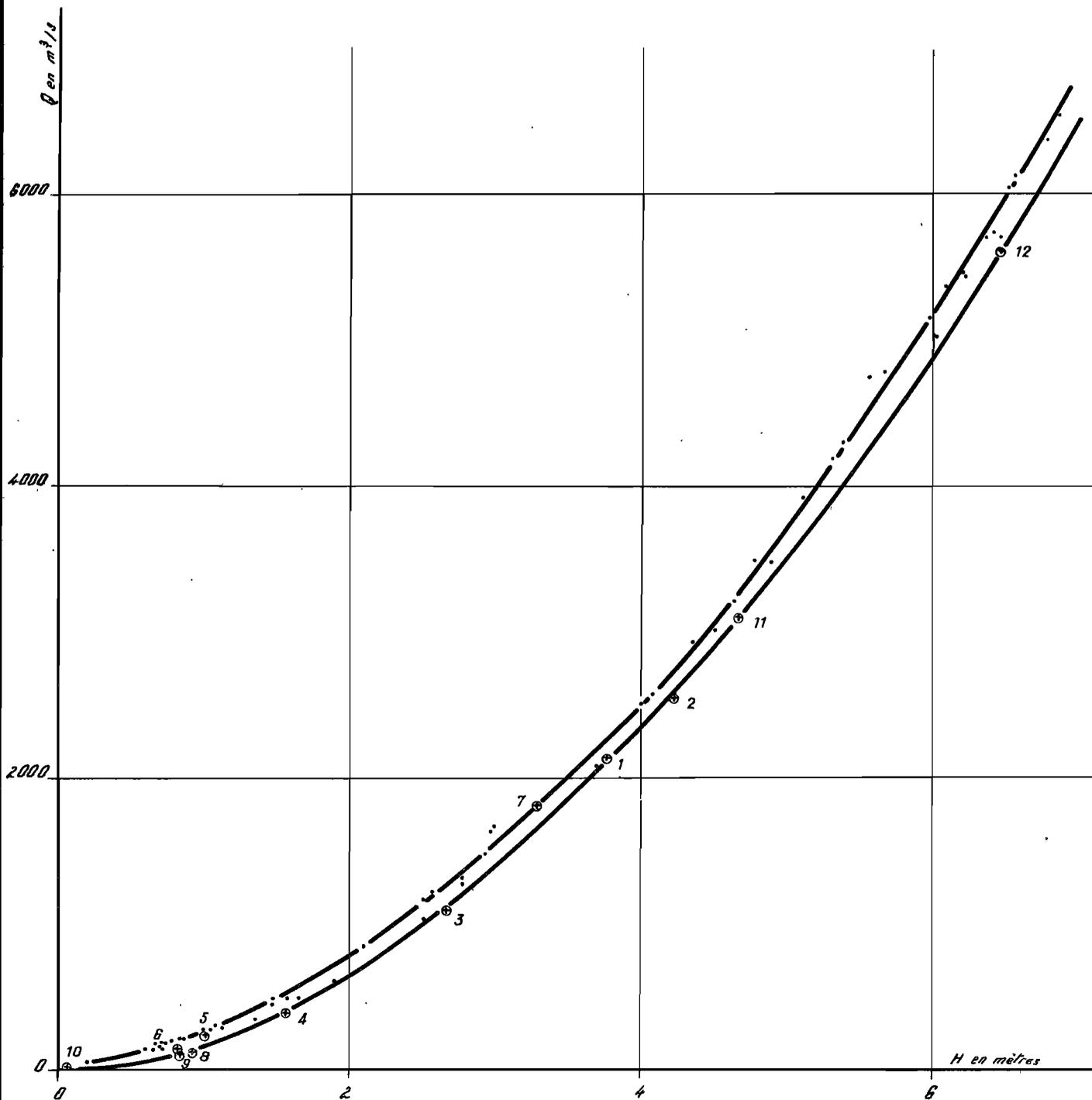


LE NIGER A KIRANGO

. Diameribougou 1931-33

⊙ Hydraulique 1954-59

(Zéro hydraulique = Zéro Diameribougou + 0,18)



NIG 9930

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: 10-10-1954

DES: J.P. HORTIC

VISA:

TUBE N°:

A1

La conservation de l'homogénéité dans le temps des observations de KIRANGO nous conduit à choisir cet écart de 0,10 m comme le plus vraisemblable et à l'adopter pour revaloriser les relevés anciens.

Après addition de 0,10 m, ces relevés anciens seront, comme ceux de la période 1950-1958, traduits à l'aide de la nouvelle courbe d'étalonnage.

Nous verrons, dans la 4ème partie de ce volume (Chapitre II - Le régime à KIRANGO -), que cette solution est la moins mauvaise et la plus honnête.

Les variations du plan d'eau à l'aval du barrage dépendent des manoeuvres des hausses mobiles. Dès l'arrivée de la crue du NIGER, les hausses sont successivement abattues, (partiellement d'abord), afin d'assurer l'évacuation du débit naturel du fleuve tout en maintenant la stabilité du plan d'eau amont. Il y aurait intérêt à ce que les manoeuvres soient effectuées d'après la lecture des cotes sur une station amont, KOULIKORO par exemple. On assurerait ainsi une croissance plus régulière des débits à l'aval du barrage, en évitant des lâchures trop brutales causées par l'effacement d'un nombre trop important de hausses.

La station de KIRANGO est une station importante dont le contrôle rigoureux et le tarage, aussi précis que possible, permettent l'évaluation des débits écoulés à l'aval de la zone d'action de l'Office du NIGER.

Etant donné les possibilités de variations assez rapides du plan d'eau, des lectures bi-quotidiennes de l'échelle peuvent être insuffisantes. Nous pensons qu'il serait intéressant d'équiper cette station d'un limnigraphe.

En étiage absolu, le débit évacué par le barrage, compte tenu des prélèvements indispensables opérés par les canaux de dérivation de l'Office du NIGER, peut devenir très faible (entre 0 et 15 m³/s); il correspond sensiblement aux fuites du barrage. La cote correspondante est voisine du zéro de l'échelle.

En hautes eaux moyennes, la cote varie entre 6 et 7 mètres à l'échelle.

DEBITS du NIGER MESURES à DIAMARABOUGOU

PENDANT la PERIODE du 17 AVRIL 1931 au 20 SEPTEMBRE 1932

Date	Lecture échelle de: KIRANGO	Débit m ³ /s
27 Avril 1931	0,60	131
29 -	0,65	136
3 Mai	0,72	169
6 -	0,70	161
8 Mai	0,74	180
9 -	0,78	196
11 -	0,85	212
14 -	0,85	212
16 -	0,84	215
19 -	1,00	279
22 -	1,05	281
26 -	1,08	316
30 -	1,36	377
1 Juin	1,59	508
4 -	1,89	610
20 -	1,48	451
27 -	2,98	1 635
5 Juillet	2,95	1 479
12 -	2,76	1 325
15 -	2,58	1 208
18 -	2,52	1 173
21 -	3,00	1 645
3 Août	4,08	2 567
6 -	4,37	2 946
10 -	4,78	3 508
13 -	5,13	3 935
25 -	5,33	4 198
5 Septembre	5,38	4 297
9 -	5,68	4 783
17 -	5,98	5 163
21 -	6,20	5 462
26 -	6,42	5 736

DEBITS du NIGER MESURES à DIAMARABOUGOU
 PENDANT la PERIODE du 17 AVRIL 1931 au 20 SEPTEMBRE 1932

Date	Lecture échelle de: KIRANGO	Débit m ³ /s
1 Octobre 1931	6,56	6 140
6 -	6,45	5 691
10 -	6,37	5 699
13 -	6,22	5 450
16 -	6,01	5 022
21 -	5,63	4 368
26 -	4,91	3 476
3 Novembre	4,00	2 487
10 -	3,50	1 855
24 -	2,78	1 271
5 Décembre	2,52	1 034
13 -	2,10	844
30 -	1,67	514
7 Janvier 1932	1,48	482
28 -	1,15	296
19 Février	0,72	160
29 Juillet	3,70	2 070
13 Août	4,52	3 020
25 -	5,57	4 744
8 Septembre	6,07	5 380
13 -	6,53	6 050
16 -	6,78	6 380
20 -	6,85	6 552
1 Juin 1945	0,20	53 (1)

(1) Débit mesuré à SEGOU 45 km à l'amont des précédents.

E - STATION DE SAMA -

Coordonnées géographiques : Latitude : 13° 44' N
Longitude : 5° 45' W

Cette échelle est installée en rive droite ; elle n'est pas rattachée au nivellement général qui passe sur la rive gauche du fleuve.

Son intérêt, purement limnimétrique, se limite à l'étude éventuelle du seuil de NAKRY et à l'utilisation du canal de MACINA pour la navigation. Depuis Juin 1953, date d'installation par le Service Hydraulique du SOUDAN, les observations continuent avec certaines lacunes, par suite de la difficulté de recruter un lecteur sérieux.

Il existe dans les archives des graphiques de hauteurs d'eau pour la période 1923-1935, vraisemblablement issus de relevés effectués par la Compagnie Générale des Colonies. La position de cette échelle (C.G.C.) par rapport à l'actuelle, ne nous est pas connue.

Aucun jaugeage n'a été effectué à cette station.

F - STATION DE KE-MACINA -

Superficie du bassin : 141 000 km²

Coordonnées géographiques : Latitude : 13° 58' N
Longitude : 5° 21' W

L'échelle de KE MACINA fonctionne depuis le 5 Juillet 1952. Elle se trouve sur la rive du pays MACINA (à gauche), au droit de la concession de l'Agriculture. Il n'existe pas de relevés anciens. Sa place dans le delta est intéressante car elle marque la fin de la zone d'action de l'Office du NIGER et le début de la zone des grands déversements latéraux.

Cette échelle a été rattachée au nivellement général par le Service de l'Hydraulique.

Cote de zéro : 268,795 m
Cote de repère : 277,435 m

En aval de SAMA, le lit du fleuve s'exhausse nettement par rapport au delta de la rive droite, on voit apparaître du Sud de la boucle de MACINA un fouillis de marigots et d'aires inondées drainées par un cours d'eau plus important (le FALA). On trouve à 40 km du fleuve des zones dont la cote est inférieure à celle des basses eaux à MACINA. Cette Mésopotamie NIGER-BANI, surtout dans les régions basses, est très pittoresque, on y rencontre une savane arbustive dense et de belles rônèraies (forêt classée de WANI).

Les débordements latéraux présentent d'abord un réseau chevelu, perpendiculaire aux rives du fleuve, recoupé dans les parties basses par un drain plus important écoulant les eaux dans le sens de la vallée. Il est possible que ce drain, recoupant le NIGER, y ramène une partie des eaux prélevées, en se transformant alors en bras. Ces nouveaux bras exhausent alors également leurs lits par comblement et, par suite, s'assèchent. On rencontre parfois dans les régions basses des mares dont la forme rappelle des méandres d'anciens bras remblayés.

L'étalonnage de la station de KE MACINA a exigé des jaugeages sur grande largeur, au cercle hydrographique. En hautes eaux, la largeur du lit d'eau vive dépasse 1 200 mètres. En très basses eaux, l'ensemble du débit s'écoule sur la rive droite dans un chenal de 100 à 200 mètres de large - la rive gauche étant occupée par un vaste banc de sable gravillonneux.

Jaugeages à la station de KE MACINA -

N°	Date	Cote échelle en m	Débit en m ³ /s
1	19 Août 1951	5,365	3 033
2	28 Novembre -	6,435	4 330
3	12 Avril 1952	0,835	144
4	11 Juin -	0,685	101
5	17 Juillet -	2,685	1 020

Ces points sont bien répartis mais trop peu nombreux pour établir une bonne courbe de tarage définitive (graphique n°13) La station de KE MACINA apparaît comme une station hydrométrique secondaire, c'est la raison pour laquelle les jaugeages ne furent pas poursuivis au-delà de 1952.

Le jaugeage le plus bas correspond à $101 \text{ m}^3/\text{s}$ (0,685 m); or, nous avons eu en Mai 1953 des observations inférieures à 0,20 m, il faut donc extrapoler la courbe obtenue pour les très faibles débits.

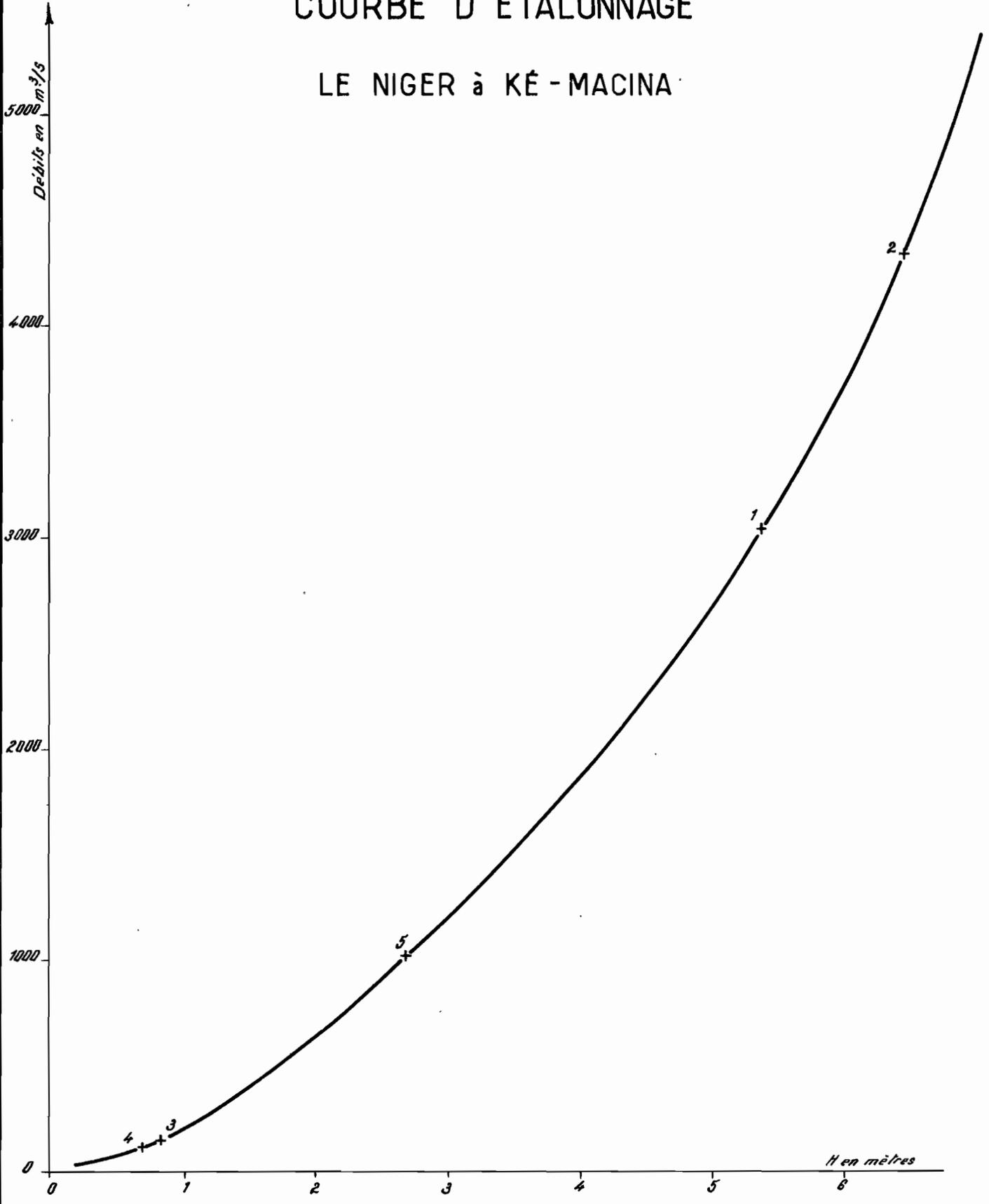
Partant du profil en travers utilisé pour le jaugeage $101 \text{ m}^3/\text{s}$, nous avons extrapolé la valeur de la vitesse moyenne dans la section mouillée, mais pour des cotes trop basses, cette extrapolation devient hasardeuse.

Nous pouvons dire que les chiffres annoncés pour des hauteurs supérieures à 0,45 m/ 0,50 m sont sûrement acceptables à 5 ou 10 % près ; au-dessous, l'erreur effectuée augmente certainement - nous estimons que cette erreur est par excès, les très bas débits étant surévalués. Cette incertitude ne pèsera vraiment que pour transformation en débits des observations des mois d'Avril et Mai 1953. Pour les autres années plus abondantes, il est rare que la cote à KE MACINA descende au-dessous de 0,45 m.

Les hautes eaux normales varient entre 6,50 m et 7,05 m à l'échelle. Les cotes maximales subissent un effet de palier à cause de la proximité en aval de la défluence du DIAKA, qui draine le tiers du débit en direction de la cuvette lacustre.

COURBE D'ÉTALONNAGE

LE NIGER à KÉ - MACINA



G - STATION DE TILEMBEYA -

Superficie du bassin : 143 000 km²

Coordonnées géographiques : Latitude : 14° 09' N
Longitude : 4° 59' W

Cette station se trouve sur le NIGER, rive gauche, à environ 3,5 km en aval de la confluence avec le DIAKA, au droit du village de BARKEDAGA.

L'échelle actuelle a été installée en Mai 1952.

La première échelle semble avoir été posée par la Compagnie Générale des Colonies en 1923 à DIAFARABE, c'est-à-dire juste à la confluence NIGER-DIAKA. Les relevés y ont été poursuivis jusqu'en 1929.

M. REFFAY (1) a écarté ces relevés parce qu'ils lui paraissaient tronqués et limités supérieurement quelle que soit l'importance de la crue. Il ignorait forcément en 1947 que les débordements latéraux et les prélèvements du DIAKA avaient cette conséquence et attribuait les longs paliers de hautes eaux au fait que l'observateur reportait l'indication d'une échelle trop courte pendant toute la crue (voir plus loin le paragraphe concernant la revalorisation de ces relevés).

Les relevés reprennent en 1939 à TILEMBEYA, sans doute à cause des affouillements intenses en face de DIAFARABE qui emportèrent l'échelle de 1923.

De 1939 à 1946 (31 Août), les relevés sont rattachés à une échelle A dont la cote du zéro était 286,90 (P.C.S.).

A partir de 1946, une autre échelle B est utilisée dont le zéro était à la cote 285,50 m (P.C.S.), les observations s'y poursuivent.

En Mai 1949, les Travaux Publics installent une nouvelle échelle à l'emplacement de la première, sans changement de zéro d'après un procès-verbal d'installation de l'époque.

Les relevés sont interrompus du 1er Janvier au 5 Juin 1950, les nouveaux éléments posés en 1949, trop lourds

(1) Dans, "Le régime du NIGER" Novembre 1948.

pour leur fondation s'affouillant très rapidement. A la décrue 1950, l'échelle est pratiquement détruite, les relevés sont de nouveau interrompus du 31 Mars 1951 au 17 Mai 1952, date de la réinstallation, par le Service Hydraulique du SOUDAN, de la nouvelle échelle déplacée vers l'aval dans une zone moins affouillée et dont le zéro se trouve à la cote 285,64 m (P.C.S.) (vers le village de BARKEDAGA). A vrai dire, il n'existe aucun emplacement parfait le long de cette rive très affouillée et à chaque décrue, l'échelle nécessite un entretien sérieux.

Rattachement des échelles entre elles

L'échelle T.P. de 1949 ainsi que les anciennes échelles A et B se trouvaient légèrement en amont de la concession de l'Aire Grégarigène de TILEMBEYA. La nouvelle est placée à l'entrée du village de BARKEDAGA ; une dépression alimentée en crue permet les observations sans crainte d'affouillements des éléments supérieurs d'échelle. La distance entre les deux emplacements n'excède pas 800 mètres.

Entre les deux nivellements (plan de comparaison de SANSANDING et nivellement Hydraulique), nous avons admis une différence de 18,82 m établie en mettant à jour près du campement de DIAFARABE une borne de nivellement de l'Office du NIGER enterrée sous 50 cm de terre. La cote P.C.S. étant connue dans les cahiers de l'Office du NIGER, le raccordement entre les deux plans de nivellement a été aisément établi en rattachant la borne retrouvée au réseau de nivellement actuel.

C'est ainsi que nous avons pu déterminer que le zéro de l'échelle A de 1939-1946 devait se trouver calé à 1,26 m au-dessus du zéro de l'échelle actuelle. L'échelle B, de 1946 à 1949, pour sa part, était à 0,14 m au-dessous du zéro de l'échelle actuelle. Bien entendu, il ne restait aucune trace de ces deux anciennes échelles au moment de l'installation de la nouvelle.

Tableau de rattachement d'après le calage des échelles (écart entre les deux nivellements : 18,82 m).

	Plan de comparai- son de SANSANDING P.C.S.	Nivellement "Service Hydraulique" rattaché au Nivellement Général I.G.N.
Borne campement de DIAFARABE	292,332 m	273,512 m
Zéro échelle A 1939	286,90 m	268,08 m
Zéro échelle B 1946	285,50 m	266,68 m
Zéro échelle T.P. 1949	idem	idem
Zéro échelle Hydraulique 1952	285,64 m	<u>266,819 m</u>

Notons que les conditions dans lesquelles a été retrouvée la borne de campement de DIAFARABE ne permettent pas de considérer ces écarts comme sûrs sans autres moyens de vérification. Nous ferons donc appel à la comparaison de l'ancienne courbe d'étalonnage avec la nouvelle.

Jaugeages -

D'Octobre 1944 à Octobre 1945, l'Office du NIGER a fait exécuter 50 jaugeages du NIGER à l'aval des prélèvements de DIAKA. Les jaugeages sont tous rapportés à l'échelle A cotée 286,90 dans le P.C.S. (Tableau n° 2).

Si nous appliquons aux cotes d'échelles de chaque jaugeage la correction + 1,26 mètre, nous obtenons une première courbe d'étalonnage que nous comparerons avec la courbe d'étalonnage obtenue en partant des jaugeages récents effectués à TILIMBEYA depuis 1954, dont le tableau ci-après donne la liste.

Date	Hauteur à l'échelle actuelle mètres	Débit m ³ /s
17- 2-54	1,135	228
23- 7-54	3,66	1 330
26-12-54	2,83	870
13- 1-56	1,92	509
21- 3-56	0,88	160
25- 5-56	0,46	76
15- 2-57	0,95	157
12- 5-57	0,26	39,5
28- 7-57	3,46	1 251
1- 8-57	3,83	1 674
2- 9-57	5,71	3 021
5- 9-57	5,75	3 149
8- 9-57	5,80	3 238
11- 9-57	5,82	3 256
29- 1-58	1,57	402
11-12-59	2,33	602

Nous constatons que les deux courbes sont décalées suivant l'axe des hauteurs de 0,15 m, la courbe nouvelle présentant pour un même débit des cotes inférieures (Graph. n° 14)

Si nous tenons compte de la différence de niveau due à la pente superficielle du fleuve entre les deux échelles que nous pouvons estimer en moyenne à 0,05 m, il reste encore un décalage de 0,10 m à expliquer.

Afin de confirmer cet écart, nous avons dressé des graphiques de corrélation entre la cote maximale brute à TILÉMBEYA et l'importance de la crue correspondante à KOULIKORO.

1°) Cote maximale brute TILÉMBEYA en fonction de la cote maximale à KOULIKORO (graphique n° 14) -

Malgré une discordance en 1939, qui laisse supposer une erreur dans les observations, nous retrouvons un décalage d'environ 0,10 m entre les points anciens (1940 à 1950) et les points figuratifs des années récentes observés sur la nouvelle échelle (1952 - 1956).

JAUGEAGES de l'OFFICE du NIGER

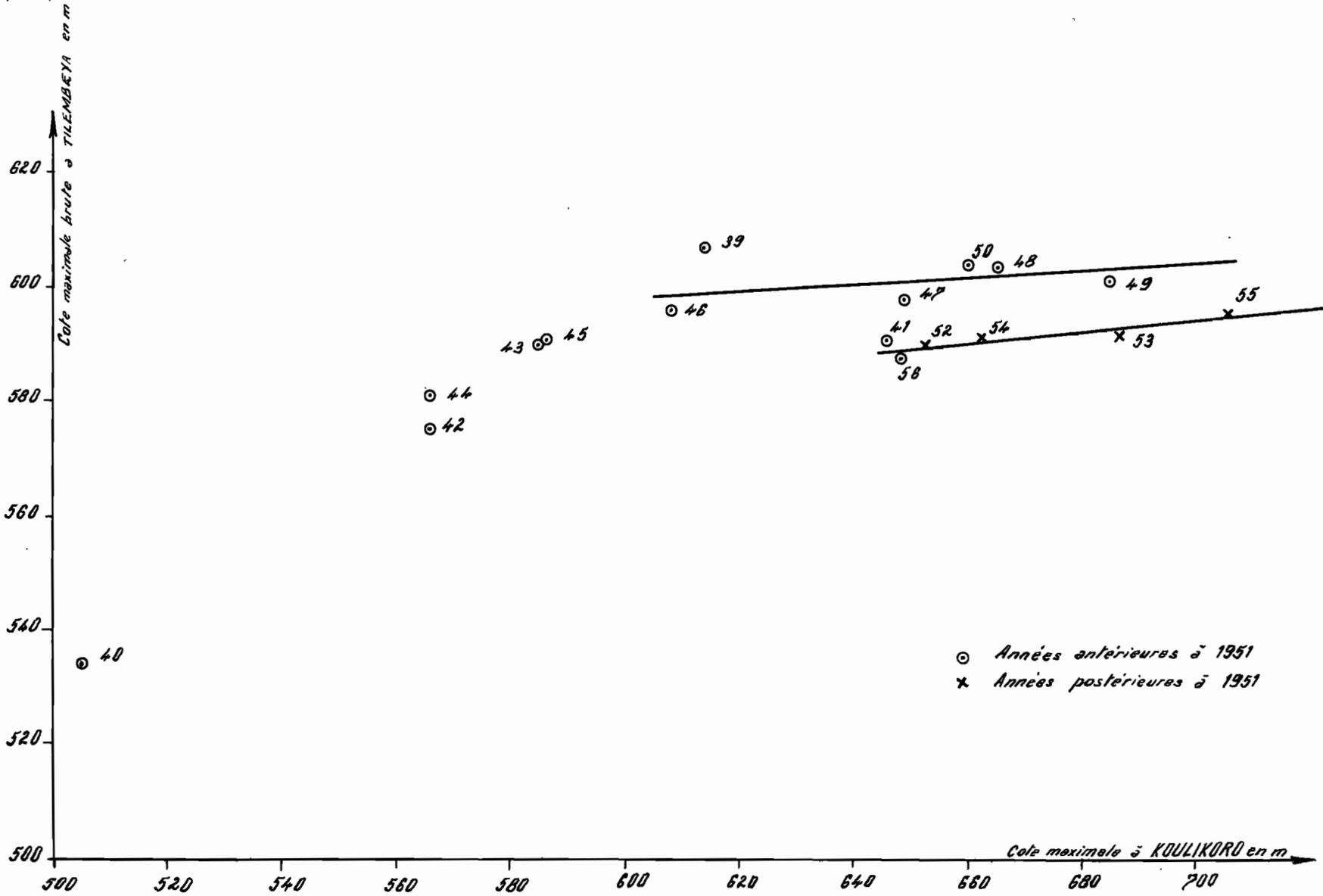
Date	Hauteur à l'échelle actuelle mètres	Débit m ³ /s
18-10-1944	4,63	1 851
22-10	4,18	1 504
26-10	3,96	1 304
31-10	3,72	1 216
5-11	3,40	1 102
12-11	3,39	1 069
19-11	2,90	845
23-11	2,62	714
27-11	2,38	631
1-12	2,18	531
7-12	1,93	421
13-12	1,74	370
20-12	1,70	350
27-12	1,53	287
3-1-1945	1,36	257
10-1	1,31	186
17-1	1,10	181
24-1	0,99	124
31-1	0,91	135
7-2	0,83	94
14-2	0,76	83
20-2	0,70	75
27-2	0,61	55
6-3	0,53	37
13-3	0,46	33
20-3	0,41	27
27-3	0,37	23
3-4	0,32	22
17-4	0,21	16
1-5	0,09	6
15-5	0,02	3
30-5	0,09	9
5-6	0,37	30
25-7	1,44	318
30-7	1,88	470
4-8	2,26	529
9-8	2,63	783
12-8	3,06	993
15-8	3,53	1 210
18-8	4,01	1 416
21-8	4,65	1 806
30-8	5,22	2 220
4-9	5,35	2 180
7-9	5,49	2 390
12-9	5,48	2 395
18-9	5,44	2 403
25-9	5,63	2 686
2-10	5,74	2 765
9-10	5,77	2 815
17-10	5,67	2 605

NIG 9932

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER
LE: M. NORD
DES: J. P. HEDRICH
VISA:
TUBE N°: A1

Gr.14

RECTIFICATION DES COTES BRUTES A TILEMBEYA



2°) Afin de faire intervenir la forme de la crue à KOULIKORO qui peut, compte tenu de l'effet d'atténuation, influencer sur la cote maximale atteinte à TILEMBEYA, nous avons étudié la corrélation existante entre les cotes maximales à TILEMBEYA et un débit fictif calculé comme suit :

$$Q = \frac{1}{3} (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

Q_1 = Débit maximal à KOULIKORO au jour J

Q_2 = Débit au jour J - 20 à KOULIKORO

Q_3 = Débit au jour J + 20 à KOULIKORO

Mise à part l'année 1939, la répartition des points est satisfaisante et met encore plus nettement en évidence le même décalage de 0,10 m que précédemment (graphique n° 15).

Conclusions -

Nous éliminerons les observations de l'année 1939 qui sont certainement erronées ; nous appliquerons la transformation suivante aux relevés antérieurs à la crue 1950-1951 incluse :

Relevés rapportés à l'échelle A :

Ajouter 1,26 m

Retrancher 0,10 m

Au total ajouter 1,16 m

Relevés rapportés à l'échelle B :

Retrancher 0,14 m

- 0,10 m

Retrancher au total 0,24 m

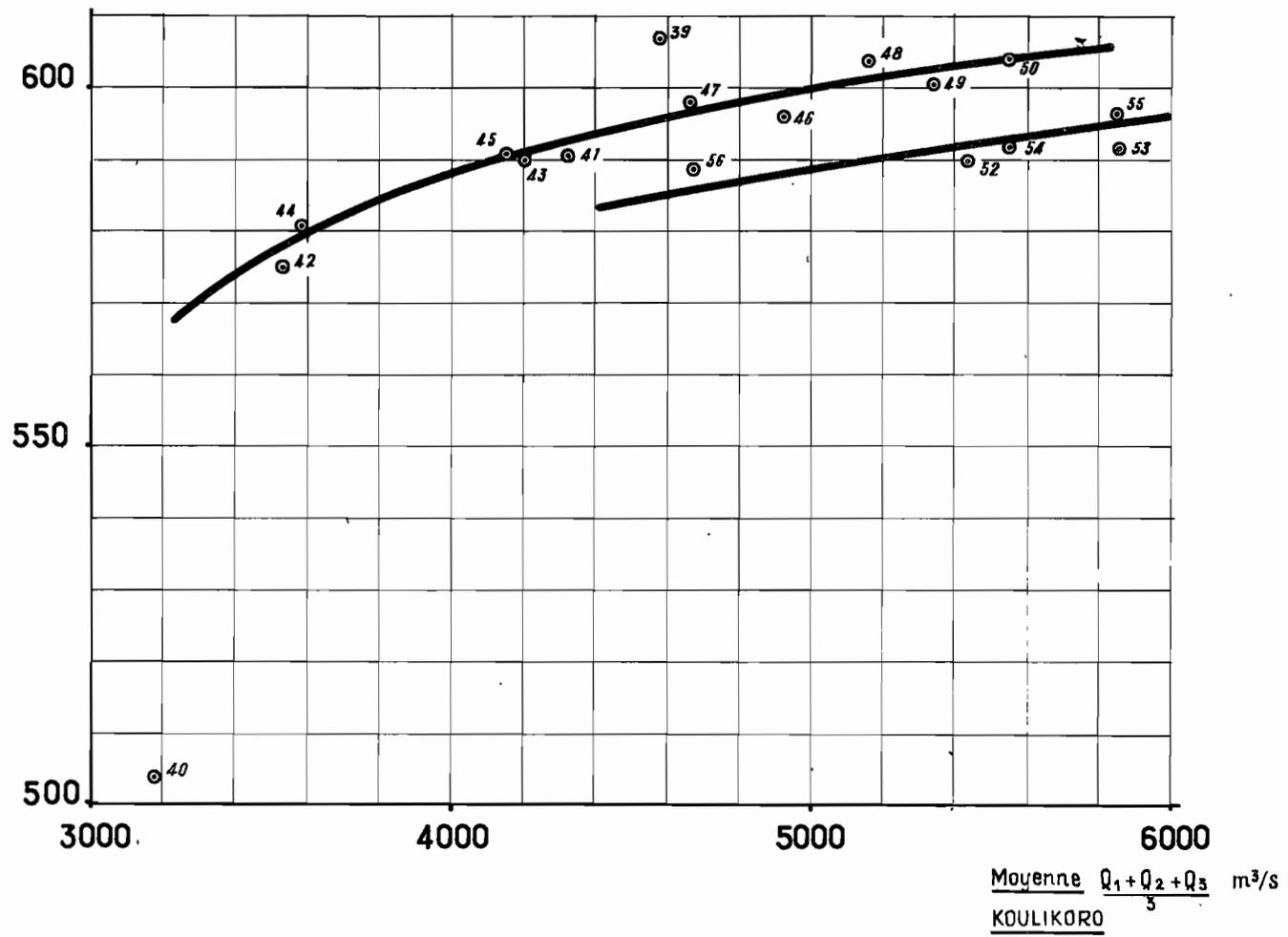
Tous les relevés, anciens et nouveaux, peuvent ensuite être traduits en débits à l'aide de la courbe d'étalonnage de 1954-1958.

Les correspondances KOULIKORO-TILEMBEYA montrent que la cote maximale à TILEMBEYA est pratiquement limitée aux environs immédiats de 6,00 mètres. Dans les fortes crues amont, les débordements latéraux, le débit dérivé par les effluents augmentent très rapidement et stabilisent le plan d'eau à l'aval du DIAKA.

BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre

RECTIFICATION DES COTES BRUTES A TILEMBEYA

Cotes maximales brutes à TILEMBEYA



On peut considérer que le débit correspondant (3 400 m³/s) est le maximum possible écoulé par le lit du fleuve en direction de MOPTI, à l'aval du DIAKA.

Revalorisation des relevés à DIAFARABE de 1922 à 1929 -

Comme nous l'avons expliqué, M. REFFAY a signalé ces relevés mais, ne connaissant pas le mécanisme de blocage supérieur de la crue à la confluence avec le DIAKA (mis en évidence nettement pendant le cycle humide 1950-1958), il a estimé qu'ils étaient sans valeur parce que tronqués, la cote maximale semblant indépendante de la crue amont. Nous avons tenté de revaloriser ces relevés afin d'évaluer les débits à TILEMBEYA pendant le cycle humide 1923-1925.

Tout d'abord, nous avons estimé que les variations de niveau à DIAFARABE et à TILEMBEYA sont parallèles. En fait, nous ignorons où se trouvait exactement cette échelle, probablement au droit du village de DIAFARABE dans une zone d'écoulement à fortes vitesses et où l'affouillement est important; il est évidemment possible que les variations en cote des plans d'eau à DIAFARABE et TILEMBEYA ne restent pas rigoureusement parallèles (influence des fortes vitesses, du vent, etc...).

Le problème revient donc à caler les observations anciennes par rapport à l'échelle actuelle de TILEMBEYA.

Nous pouvons nous appuyer sur deux méthodes :

1°) Correspondance entre hauteurs maximales à KOULIKORO et TILEMBEYA (correspondance établie avec les relevés connus d'une manière certaine de 1941 à 1956).

2°) Correspondance entre les débits moyens mensuels à KOULIKORO et à TILEMBEYA (crue et décrue).

Il est arrivé qu'une cote maximale satisfaisante donnait un calage rendant les débits moyens mensuels de crue trop forts à TILEMBEYA par rapport à ceux de KOULIKORO et inversement.

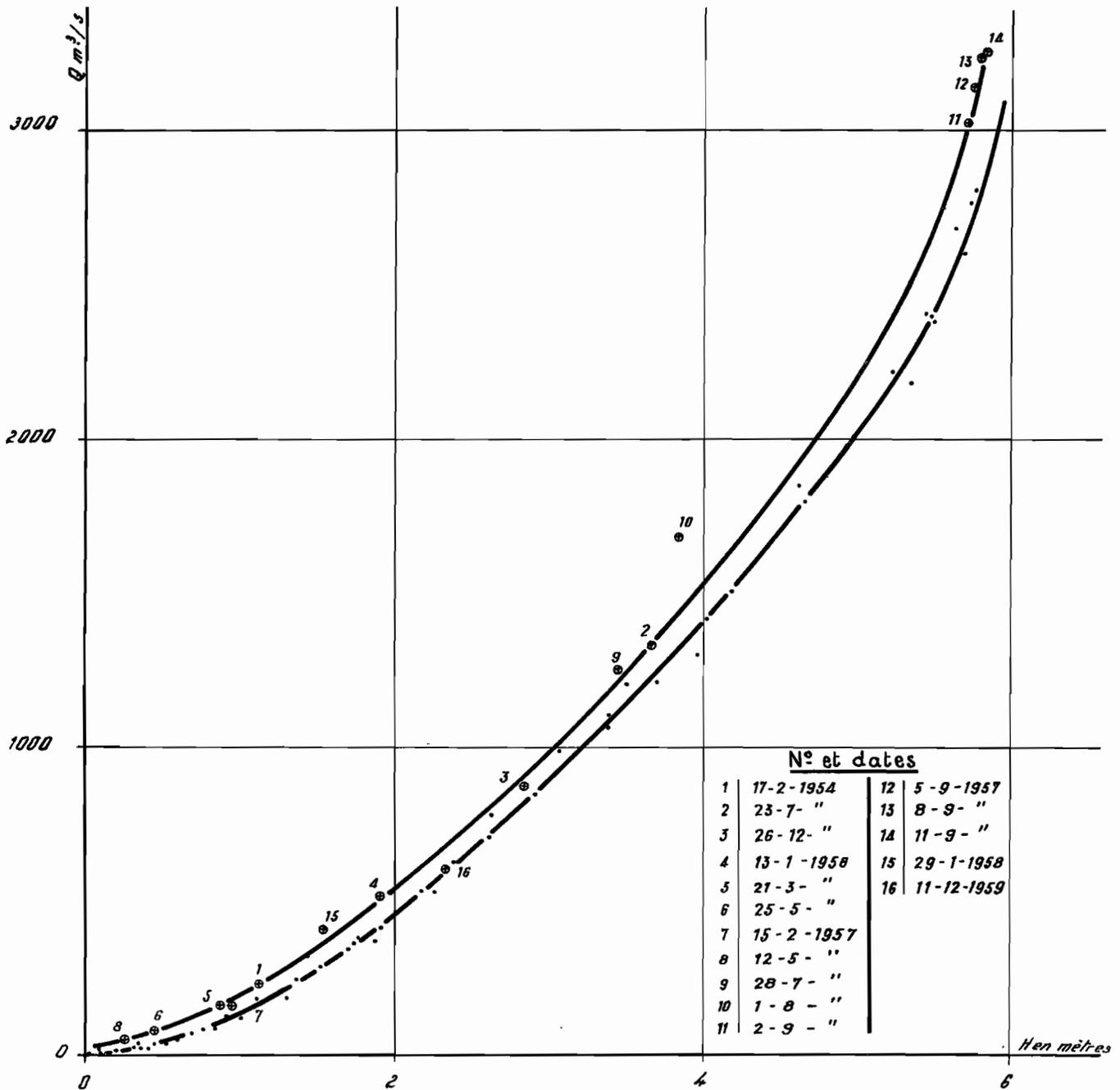
Nous avons adopté finalement les valeurs suivantes :

Année 1922 - 1923	Ajouter 0,25 m aux relevés anciens
Année 1923 - 1924	- 0,06 m - - -

LE NIGER A TILEMBEYA

⊙ Jaugeages S.H. : 1954-58

• Jaugeages O.N. : 1944-45



En mètres

NIG 9934

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: XII-NOV-58

DES: J.-P. Hecquet

VISA:

TUBE N°:

A1

Année 1924 - 1925	Ajouter 0,02 m aux relevés anciens
Année 1925 - 1926	- 0,48 m - - -
Année 1926 - 1927	- 0,40 m - - -
Année 1927 - 1928	- 0,40 m - - -

Il est difficile, historiquement, de justifier parfaitement ces écarts, d'autant plus que les relevés de crue restent concordants de part et d'autre du maximum, ce qui indiquerait que l'échelle apparaissait détruite par affouillement à la décrue et réinstallée à l'étiage, tous les éléments étant recalés par rapport à l'élément inférieur.

Toutes ces suppositions sont hasardeuses et nous pensons que ces relevés ont été plus ou moins arrangés pour concorder pendant la durée de l'étiage.

Nous les avons transformés en débits en utilisant la courbe d'étalonnage actuelle, malgré les changements possibles du fond du lit depuis 30 années.

Il est donc recommandé de ne pas donner trop de valeur à ces débits.

H - STATION DE KOUAKOUROU -

Coordonnées géographiques : Latitude 14° 13' N
Longitude 4° 30' W

Cette échelle est installée sur la rive droite du fleuve, à proximité du village de KOUAKOUROU, depuis Avril 1955 ; des lectures continues y sont effectuées depuis. Située à mi-chemin entre TILLEMBEYA et NOPTI, elle est intéressante pour l'étude des variations de pente dans ce bief et de la transmission de l'onde de crue du NIGER.

Accessible seulement par le fleuve, 9 mois par an, elle n'a fait l'objet d'aucun étalonnage. Son rattachement au nivellement général, opération utile, nécessitera un cheminement de 6 km après la traversée du fleuve jusqu'à OURO-MODI où passe le nivellement SEGOU-MOPTI.

L'amplitude des variations annuelles est d'environ 6,50 m.

I - STATIONS DE MOPTI ET DE NANTAKA -

Superficie du bassin : 281 600 km²

Coordonnées géographiques :

MOPTI : Latitude 14° 30' N NANTAKA : Latitude 14° 32'
 Longitude 4° 12' 0 Longitude 4° 12'

La station de MOPTI doit son importance à la confluence du NIGER avec le BANI, seul affluent important du cours moyen.

L'échelle de MOPTI proprement dite se trouve devant les Etablissements BUHAN et TEISSEIRE, sur la rive droite du BANI à environ 1 800 mètres de la confluence, les observations sont correctes sauf en ce qui concerne l'élément de basses eaux placé plus en aval dans un endroit exposé au passage des chalands. Pour prévenir toute interruption de lecture, une autre échelle a été installée légèrement en aval de l'embouchure du BANI sur la rive gauche du NIGER au droit de NANTAKA. Ces deux stations donnent le niveau du plan d'eau de la confluence NIGER-BANI.

Elles sont distantes de 5 km, à part les erreurs de lectures dues au clapot (vent) les relevés concordent parfaitement.

Cotes des zéros des échelles actuelles

	Nivellement général	P.C.S.
Echelle MOPTI	260.595	279.39
- NANTAKA	260.761	

Relevés anciens

Il existe dans les archives des relevés anciens rapportés à des échelles différentes dont les cotes des zéros ont pu être retrouvées facilement. Nous en avons déduit les corrections à apporter pour rendre les observations homogènes (par rapport à l'échelle actuelle).

Mai à Novembre 1922 - Echelle installée par la Compagnie Générale des Colonies. Ajouter 0,66 m pour rapporter les relevés à l'échelle actuelle de MOPTI.

Juin 1923 à Octobre 1929 - Echelle restaurée et surélevée ajouter 1,02 m. Dans ces relevés effectués pour les besoins de la navigation, les périodes de basses eaux (cotes inférieures à 1,30 m) manquent.

Juin 1934 - Janvier 1935 - Ajouter 0,86 m

Juin 1935 à Novembre 1936 - Ajouter 0,21 m

Juin 1943 à Mai 1949 - Echelle Office du NIGER, même calage que celui de l'échelle actuelle.

Mai 1949 à maintenant - Echelle Service de l'Hydraulique - calage effectué sans changement de zéro.

Jaugeages -

Aucun jaugeage ancien n'a été effectué à la station de MOPTI. Dès 1951, le Service de l'Hydraulique a entrepris une campagne de jaugeages des débits du NIGER à l'aval de la confluence du BANI. Deux emplacements ont été utilisés.

1°) Jaugeages de basses eaux -

Le NIGER décrit une courbe au droit de NANTAKA sur la rive gauche, où tout le débit s'écoule dans le lit mineur, la rive droite étant occupée par un grand banc de sable. La section n'est pas large (200 mètres environ) et les jaugeages y sont assez commodes.

2°) Jaugeages de moyennes et hautes eaux -

Les mesures ont été exécutées légèrement en amont du village de NIMITOGO situé sur la rive droite à 12 km à l'aval de MOPTI. Bien que cet emplacement soit un des moins mauvais, les berges y sont assez basses (surtout la berge rive gauche) et au-delà de 2 000 m³/s, les plaines d'inondations à graminées aquatiques (bourgou) se remplissent. Mais, l'écoulement des eaux de débordement est très lent et impossible à mesurer à cause des importantes pertes de charge causées par la végétation.

Sur la rive droite, le village de NIMITOGO est contourné par un bras alimenté par la plaine de NAMARA. L'écoulement dans ce bras n'est pas décelable et il n'en a pas été tenu compte. Nous admettrons que les erreurs par défaut qui découlent de cette manière de faire sont inférieures aux erreurs de mesures (4 % environ).

Liste des jaugeages récents effectués à MOPTI.

Date	Hauteurs à l'échelle en m	Débit m ³ /s
22- 8-51	5,27	1 780
21-11-51	7,105	2 805
26- 1-52	5,27	1 486
27- 3-52	2,32	279
8- 6-52	1,26	130
19- 2-54	3,10	507
23- 3-56	2,30	292
18-12-56	5,40	1 772
8- 5-57	1,00	74
18- 2-57	2,33	265
6- 8-57	4,73	1 600
14- 9-57	6,39	2 590
16- 1-58	5,14	1 573
19- 2-58	3,46	530
12- 3-58	2,68	278
4- 6-58	2,27	357
25- 7-58	4,14	1 224
13- 8-58	4,64	1 554
22- 8-58	5,15	1 942
6- 9-58	5,80	2 400
2-10-58	6,72	2 769
25-10-58	6,88	2 812
21-11-59	6,70	2 555
9-12-59	6,04	2 134

Courbe d'étalonnage -

Les variations relatives de pente superficielle au cours du cycle hydraulique annuel font que la relation graphique hauteurs-débits comporte une branche montante supérieure (crue) et une branche descendante inférieure (décrue).

Si le maximum de pente correspondait exactement au maximum de hauteur, le raccordement supérieur des deux branches comporterait un point de rebroussement. Il en est très rarement ainsi, le maximum de pente précède toujours légèrement le maximum de hauteur et la zone de raccordement est arrondie.

On peut admettre que les branches de crue et de décrue restent valables d'année en année pour des cotes inférieures de 1 mètre au maximum, le mécanisme de la crue se reproduisant identiquement chaque année. Mais suivant la cote maximale atteinte - elle oscille entre 6,28 m et 7,40 m pendant la période observée - la partie arrondie voisine de cette cote varie ; il faudrait, pour bien faire, en reprendre l'étalonnage chaque année. Compte tenu des mesures effectuées en 1958, sa forme est connue et nous dessinons cette portion de courbe pour chaque année afin de déterminer au mieux les débits (voir graphique n° 17).

L'écart entre les deux branches débute dès l'étiage et tend rapidement vers un maximum de 300 m³/s au-delà de 1 500 m³/s, pour des cotes supérieures à 6 m à l'échelle, ce qui correspond à $\pm 10\%$ de part et d'autre d'une courbe médiane entre les 2 branches.

Cette courbe de tarage a une précision assez faible pour deux raisons principales :

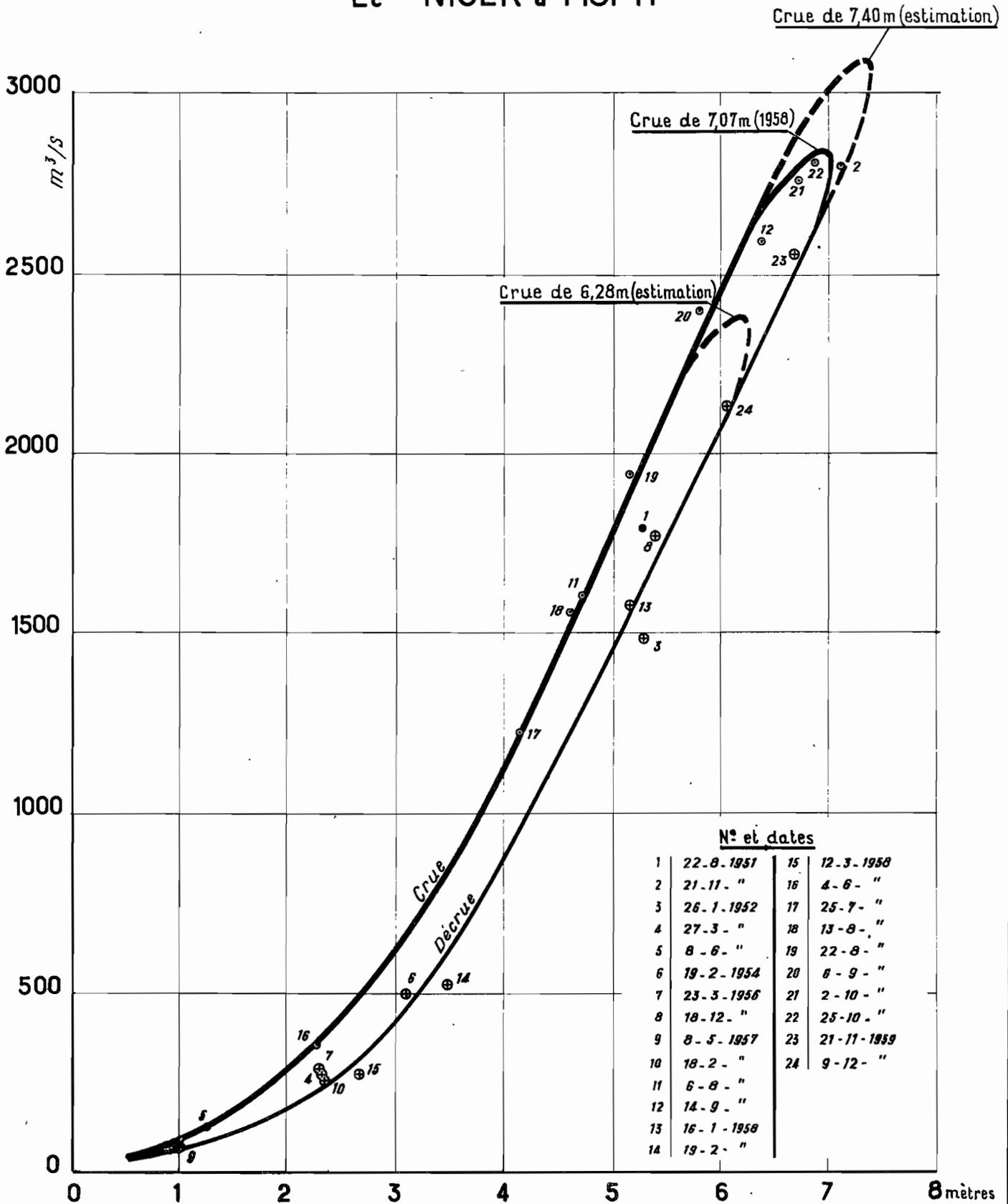
1°) D'une année à l'autre, les positions relatives dans le temps des maximums de hauteur et de pente varient, ainsi que la cote maximale, de telle sorte que la courbe de raccordement entre la branche de crue et la branche de décrue doit être estimée chaque année au jugé, en l'absence de jaugeages.

2°) La proximité de la confluence NIGER-BANI influe sur les variations de la pente et sur la forme du profil en travers. La mobilité du fond du lit entraîne des modifications notables de la branche de décrue pour les étiages, entre 200 et 500 m³/s surtout.

Ces deux zones d'imprécision dans la courbe de tarage de MOPTI conduisent à une erreur plus grande dans le calcul des débits que pour les stations amont : KIRANGO et TILEMBEYA.

COURBE D'ÉTALONNAGE

Le NIGER à MOPTI



NIG 9935

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: DEC. 60

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

A 1

J - STATION D'AKA SUR L'ISSA-BER -

Coordonnées géographiques : Latitude 15° 24' N
Longitude 4° 14' W

Cette échelle est installée 200 mètres en amont du village d'AKA, sur la rive droite de l'ISSA-BER. Ce terme désigne le bras le plus occidental sortant du lac DEBO, et en fait le NIGER, car c'est lui qui charrie la majeure partie des débits.

Les lectures quotidiennes et régulières sont effectuées depuis le 25 Mars 1955, date de l'installation de l'échelle par le Service Hydraulique du SOUDAN.

Auparavant, la Compagnie Générale des Colonies avait installé une échelle en 1922 et l'Office du NIGER un limnigraphe de 1930 à 1934 et une échelle de 1933 à 1938. Malheureusement, nous ne possédons ni les relevés ni la cote de rattachement au plan de comparaison de SANSANDING.

L'échelle actuelle n'est pas encore rattachée au nivellement général. Etant accessible seulement par voie d'eau, son tarage n'a pu être entrepris.

Son importance est cependant grande, car elle est la seule échelle entre MOPTI et NIAFUNKE, située après les effluences du KOLI-KOLI et du BARA ISSA. Elle sera très utile pour étudier les variations de pente quand son zéro sera connu. Présentement, elle permet de suivre l'onde de crue du NIGER, après le lac DEBO.

L'amplitude annuelle maximale de variation du plan d'eau est voisine de 6 mètres.

K - STATION DE NIAFUNKE SUR L'ISSA-BER -

Coordonnées géographiques : Latitude 15° 56' N
Longitude 3° 59' W

NIAFUNKE est le premier chef-lieu administratif baigné par le fleuve depuis MOPTI. On y observe la crue du NIGER, depuis 1922, date de pose de la première échelle par la Compagnie Générale des Colonies.

Pendant les 3 décades suivantes, l'Office du NIGER s'est à son tour occupé de limnimétrie. Malheureusement, les changements d'échelle sont fréquents. On possède la cote de leurs zéros successifs dans le plan de comparaison de SANSANDING. Malgré cela, les relevés sont non seulement discontinus, séparés par de longues carences surtout en étiage, mais en outre peu utilisables. Il semble qu'il exista simultanément deux échelles, l'une de crue, l'autre d'étiage, ayant chacune son zéro ; leurs relevés se chevauchent avec des variations brutales et inexplicables de cotes.

La revalorisation de toutes ces lectures anciennes est en soi très difficile ; elle est rendue inutile par le fait qu'aucun jaugeage ne permet d'en vérifier la légitimité par les débits et leurs corrélations avec ceux des autres stations.

Seules les dates des étiages et des maximums de crue peuvent être conservées pour l'analyse de la propagation de l'onde de crue.

L'ensemble des observations ne deviennent cohérentes et dignes d'intérêt qu'à partir de 1950. L'échelle était alors constituée d'un groupe de hautes eaux et d'un groupe de basses eaux situés l'un en contre-bas de la Résidence du chef-lieu, l'autre 700 m plus aval. Le zéro de cette échelle était de 276,41 m (P.C.S.).

Le Service Hydraulique du SOUDAN a réinstallé l'échelle, en Juin 1954, sur la rive gauche à proximité des bureaux du Service de Surveillance de l'Aire Grégorigène, où furent regroupés tous les éléments. Les cotes de rattachement de son zéro sont respectivement de 276,46 m (P.C.S.) et de 258,35 m (I.G.N. provisoire). Les observations y sont régulières et continues.

Compte tenu de la distance séparant les emplacements de l'ancienne et de la nouvelle échelle, il est inutile d'appliquer la correction de 0,05 m aux relevés de la période 1950-1954 pour les rendre comparables aux lectures actuelles.

Comme il n'est guère possible, par manque de bonne section, d'effectuer des jaugeages, l'intérêt de cette échelle est, comme pour AKA, restreint à l'étude des pentes et de la transmission de la crue.

L'amplitude de l'oscillation annuelle du plan d'eau est comprise entre 5 m et 5,50 m.

L - STATION DE TONDIFARMA SUR L'ISSA-BER -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 03' N
Longitude 3° 48' W

Le seuil rocheux de TONDIFARMA, auquel il a déjà été fait allusion dans les chapitres I (A et C) et III (C et D) de la 1ère partie, est un accident caractéristique du cours du fleuve.

L'installation à TONDIFARMA en 1955 par le Service Hydraulique du SOUDAN d'une mission quasi-permanente de "déroctage" et de balisage pour la navigation, nous a permis d'avoir sur place un observateur ; aussi la décision d'implanter une échelle de crue fut-elle prise.

En fait, on plaça deux échelles complètes l'une à l'entrée, l'autre à la sortie de la zone de rapides créée par le seuil rocheux.

Un nivellement effectué par une entreprise pour le compte de la M.E.A.N. relie NIAFUNKE à DIRE le long du fleuve ; il a permis le rattachement au nivellement général des échelles de ce bief. Pour celles de TONDIFARMA, les cotes, encore provisoires, des zéros sont :

257,924 m pour l'échelle amont
257,717 m - - - - - aval

Les relevés ont commencé en Juin 1955 et se sont poursuivis depuis, non sans quelques lacunes, l'observateur n'étant pas très consciencieux. En outre les éléments d'étiage - de 0 à 1 mètre - ne sont pas encore posés, cette opération n'étant possible pratiquement qu'au mois de Juin et les années d'étiage sévère. Cette installations devrait être rapidement réalisée car l'intérêt de TONDIFARMA est justement primordial en étiage. Ce fond rocheux invariant est en effet le seul entre SOTUBA et TOSSAYE, qui permette de faire des jaugeages d'étiage précis et fidèles, on y effectue d'ailleurs les mesures d'étiage pour la station hydrométrique de TONKA, située environ 8 km plus aval.

L'amplitude des variations annuelles du NIGER est d'environ 6 mètres.

M - STATION DE TONKA SUR L'ISSA-BER -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 08' N
Longitude 3° 45' W

TONKA, gros village de pêcheurs et marché important, est sur la rive gauche de l'ISSA-BER, juste aval de l'effluence d'ORO-GUINDE qui dessert le Lac HORO. L'échelle est installée à l'entrée de cet effluent, en amont de l'ouvrage régulateur du débit alimentant le lac.

Les observations ont débuté en Juillet 1954 ; là aussi, il a été très difficile d'avoir un lecteur sérieux et les relevés de nombreux mois sont entièrement aberrants. La revalorisation des lectures pourrait être entreprise en les recalculant pratiquement à partir des corrélations avec les échelles voisines qui sont assez étroites ; mais, ce travail est délicat et toutes les erreurs ne pourraient pas être éliminées.

Le zéro de l'échelle est à la cote 275,81 m (P.C.S.) et vaut provisoirement 258,25 m dans le nivellement I.G.N. Il y a certainement là une anomalie puisque cette dernière cote n'est qu'à 5 cm en-dessous de celle de l'échelle de NIAFUNKE, et supérieure sans raison à celles des échelles de TONDIFARMA. La très faible pente du cours du NIGER dans cette région n'autorise aucune erreur de nivellement ; nous ne pourrions trancher définitivement cette question qu'après la diffusion des cotes définitives du nivellement I.G.N.

On a pu trouver dans les environs immédiats de TONKA, une section convenable pour des mesures de débits de moyennes et hautes eaux ; le seuil de TONDIFARMA sert pour les jaugeages d'étiage. C'est la seule station hydrométrique sur l'ISSA-BER. Il est dommage qu'elle soit de création récente et que les observations n'y soient pas sûres car elle permettrait, par comparaison avec DIRE, d'évaluer la répartition des débits entre l'ISSA-BER et le BARRA-ISSA.

Pour ces raisons, la transformation des relevés en débits n'a pas été effectuée systématiquement. Cependant, on peut considérer que le tarage de TONKA est presque achevé ; il manque quelques mesures de décrue entre 1 et 4 mètres à faire en Avril et Mai.

Actuellement, on dispose de 17 mesures s'échelonnant de 1954 à 1958, et qui se répartissent assez régulièrement sur la courbe d'étalonnage (graphique n° 18). Comme à MOPTI,

les variations relatives de pente superficielle conduisent à adopter une branche montante supérieure pour la crue et une branche descendante inférieure pour la décrue. La correspondance entre maximum de pente et maximum de hauteur d'eau étant assez exacte, le raccordement supérieur des 2 branches se fait autour d'un point de rebroussement.

L'écart entre les 2 branches est très grand ; il atteint $670\text{m}^3/\text{s}$ pour 5 mètres à l'échelle ($2\ 190\ \text{m}^3/\text{s}$ en crue contre $1\ 520\ \text{m}^3/\text{s}$ en décrue) ce qui équivaut à $\pm 19\%$ de part et d'autre d'une courbe médiane entre les 2 branches. Cet écart est presque double de celui observé à MOPTI, et dépasse encore nettement, on le verra, celui de la courbe de DIRE. L'ampleur de cet écart doit être imputée aux variations de pente superficielle qui jouent un rôle prépondérant dans l'écoulement de l'ISSA-BER, qui est certainement la partie du cours du fleuve ayant la plus faible pente.

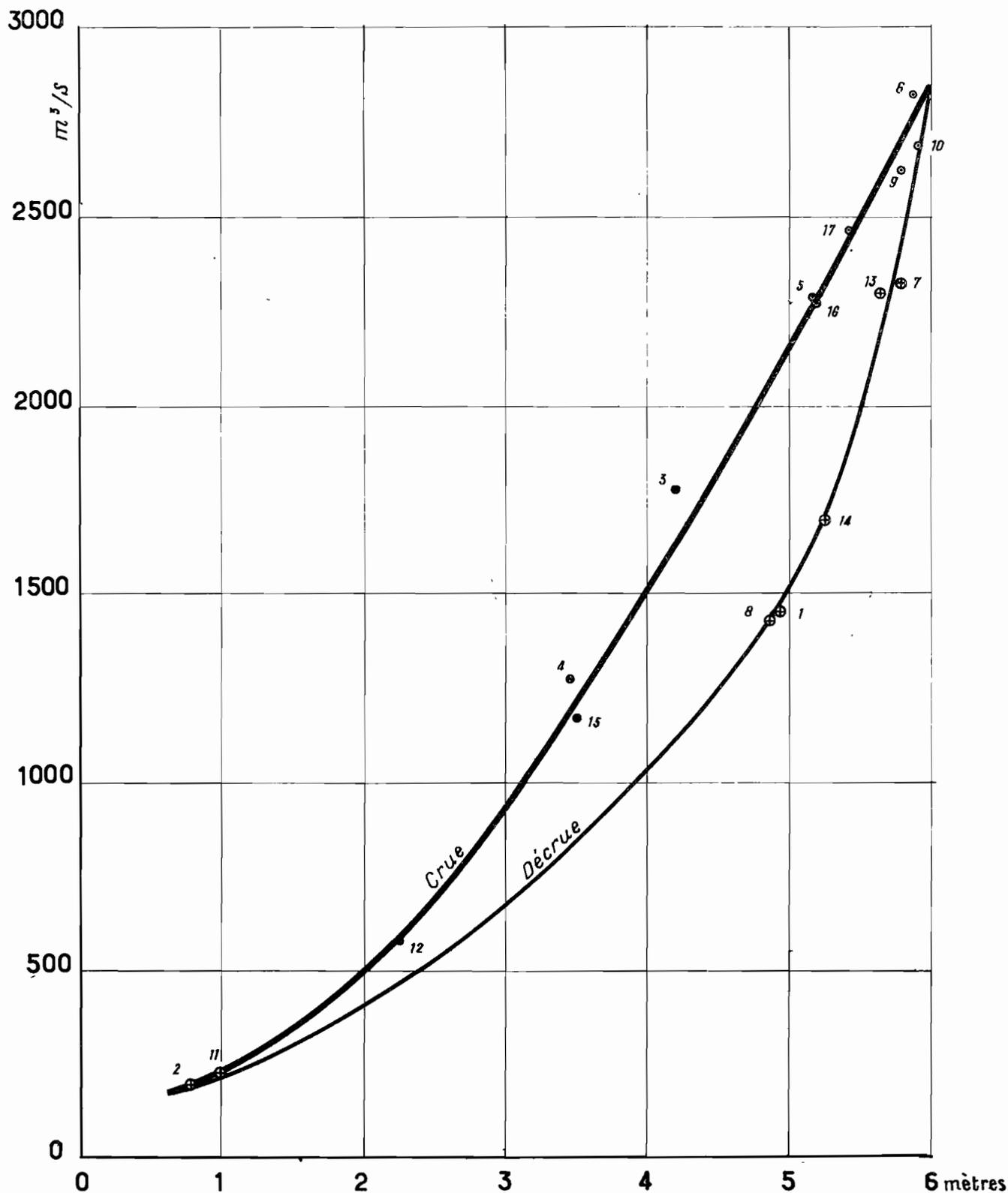
Voici pour terminer, la liste des jaugeages effectués à TONKA et TONDIFARMA, rapportés à l'échelle de TONKA :

N°	Date	Hauteur à l'échelle	Débit m^3/s
1	25- 2-1954	4,93	1 457
2	7- 6	0,79	191
3	2- 9-	4,19	1 773
4	15- 8-	3,46	1 285
5	16-10-	5,16	2 291
6	19-12-	5,91	2 831
7	30- 1-1955	5,79	2 336
8	13- 3-	4,86	1 433
9	26-11-	5,80	2 625
10	10-12-	5,92	2 688
11	22- 5-1956	1,00	230
12	10- 8-	2,23	584
13	21- 1-1958	5,65	2 300
14	26- 2-	5,25	1 696
15	19- 8-	3,50	1 173
16	4-11-	5,18	2 287
17	20-11-	5,41	2 469

L'amplitude de l'oscillation annuelle est comprise entre 5 m et 5,50 m.

COURBE D'ÉTALONNAGE

L'ISSA-BER à TONKA



N - STATION de TINDERNA SUR L'ISSA-BER -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 07' N
Longitude 3° 38' W

C'est la dernière station sur l'ISSA-BER, avant le confluent du BARA-ISSA ; son rôle est strictement celui d'une échelle de pente installée en rive gauche du fleuve juste aval du départ de l'émissaire alimentant le lac FATI.

Les relevés datent seulement de Juin 1955. L'échelle a été rattachée 2 fois au nivellement général :

1°) Par la bretelle NIAFUNKE-DIRE déjà citée qui donne la cote de 257,70 m à son zéro.

2°) Par un nivellement en provenance de GOUNDAM qui place l'échelle 24 cm plus haut, soit 257,94 m.

On ne peut, ici non plus, trancher encore cette anomalie de nivellement.

O - STATION DE DIRE -

Superficie du bassin : 340 000 km²

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 16' N
Longitude 3° 23' W

DIRE est située sur la rive gauche à 17 km à l'aval de la confluence du BARA-ISSA. Il est impropre de considérer DIRE comme la station de sortie de la cuvette lacustre pour les raisons suivantes :

1°) L'alimentation du système de lacs TELE-FAGUIBINE-GOUBER et KOMANGUI a lieu à l'aval de DIRE par les émissaires de BOUREM et de TASSAKANT.

2°) Au droit de DIRE, sur la rive droite, la cuvette s'étend sur près de 50 km vers l'Est.

Le bras HAIBONGO rejoint l'ISSA BER à 30 km à l'aval de DIRE. Un réseau de marigots beaucoup plus diffus draine la partie Est de la cuvette. Il est difficile d'apprécier les débits dérivés par ces marigots court-circuitant la station. Elles sont certainement très faibles comparées au débit du NIGER.

L'échelle actuelle a été installée en 1949, sans changement de zéro par rapport à l'ancienne. La cote de son zéro dans le plan de comparaison de SANSANDING est de 275,915 m.

Le Service Hydraulique a fait procéder par une entreprise au rattachement de l'échelle au nivellement général. La cote provisoire du zéro serait de 257,59 m (I.G.N.).

Il existe dans les archives une bonne série d'observations depuis l'année 1923, avec cependant quelques interruptions en Mai-Juin. M. REFFAY, dans son étude sur le NIGER, a estimé en 1948 que le zéro n'a pas été modifié depuis le début des observations, si l'on ne tient pas compte des erreurs de calage de quelques centimètres causées par les démontages et remontages de l'échelle pendant les opérations du curage du bassin des pompes.

Mais, depuis 1948, nous avons pu enregistrer de fortes crues comparables à celles de 1924, 1925, 1927, 1928 et 1929, telles que l'indique le tableau suivant :

Année	Gote maximale à MOPTI	Gote méximale à DIRE d'après les relevés bruts
1924	7,40 m	5,80 m
1925	7,32	5,87
1927	7,20	5,77
1928	7,32	5,87
1929	7,32 (au moins)	5,92
1951	7,12	6,01
1952	7,19	5,98
1953	7,31	6,04
1954	7,31	6,13
1955	7,31	6,12

Analyse de la crue à DIRE -

La grande capacité de la cuvette deltaïque fait que l'onde de crue amont s'aplatit considérablement (40 à 50 jours de décalage entre MOPTI et DIRE) et que c'est le volume accumulé dans la réserve qui détermine la cote maximale à DIRE.

Considérons les facteurs principaux qui interviennent dans la composition de ce maximum :

1°) La cote maximale à MOPTI représente l'onde de crue amont et intègre, en quelque sorte, les apports du NIGER et du BANI. Mais ce facteur, à lui seul, est insuffisant; en effet, il peut y avoir superposition des ondes du NIGER et du BANI. Ce fait, rare, donnerait à MOPTI une crue relativement forte, sans pour cela que les volumes écoulés soient également forts.

Inversement, des crues du NIGER et du BANI abondantes l'une et l'autre, mais largement décalées dans le temps, donneront à MOPTI une cote maximale raisonnable.

2°) En outre, par effet de déversement naturel, le DIAKA et la rive gauche du NIGER entre DIA FARABE et MOPTI alimentent directement la cuvette lacustre dans des proportions sensiblement proportionnelles au volume total écoulé par le NIGER en amont, à KOULIKORO par exemple.

En dehors donc de la crue résultante à MOPTI, le module annuel à KOULIKORO risque d'intervenir dans l'évaluation de l'abondance des débits dérivés vers la cuvette.

3°) Intervient également l'état de remplissage résiduel de la cuvette à la fin de la crue précédente. Il dépend du retard ou de l'avance de la crue par rapport au degré de tarissement de la réserve.

4°) Influence de l'évaporation particulièrement active sur la réserve au moment de son remplissage maximal. Ce dernier facteur varie peu d'une année sur l'autre mais du point de vue absolu est certainement important. Il suffit de penser qu'une journée d'évaporation sur la cuvette lacustre représente un volume d'eau presque équivalent au volume journalier écoulé à DIRE en hautes eaux. Il est donc possible que des conditions climatiques jouant dans le sens d'une diminution de l'évaporation (absence de vent sec, température plus basse, temps couvert) et durant plusieurs semaines de la saison fraîche, augmentent dans des conditions non négligeables l'abondance d'une crue à la sortie de la cuvette.

Revenons au tableau précédent :

A priori, il semble évident que les cotes maximales à DIRE pendant la période 1924-1929 sont nettement sous-estimées.

Mais on peut objecter que ce tableau ne fait état que d'une correspondance entre MOPTI et DIRE.

En effet, la station de DIRE traduit les hauteurs d'eau dans la partie aval de la cuvette lacustre, dont le remplissage subit l'influence des facteurs principaux suivants :

1°) Cote maximale à MOPTI qui intègre les apports du NIGER et du BANI.

2°) Volumes écoulés par le DIAKA et par les marigots de rive gauche, entre DIAFARABE et MOPTI. Ces volumes, non influencés par le BANI, alimentent directement la cuvette lacustre.

Donc, d'un côté, alimentation régie par l'interférence des crues du NIGER et du BANI, de l'autre, alimentation régie par le régime seul du NIGER amont (KOULIKORO par exemple)

Une correspondance DIRE-MOPTI ne suffit donc pas car une cote très élevée à MOPTI peut signifier simplement une superposition totale des ondes de crues du NIGER et du BANI (cas rare, car le BANI est en général en retard de deux ou trois semaines) sans pour cela que le volume écoulé vers la cuvette soit au-dessus de la normale.

Inversement, une cote maximale modeste à MOPTI ne signifie forcément pas de faibles apports vers la cuvette mais, peut-être, un aplatissement accentué de la crue causée par un gros décalage entre les deux ondes amont.

Si l'on trace un graphique (n° 19) des points figuratifs de la cote maximale à MOPTI, en fonction du module à KOULIKORO, nous obtenons évidemment un nuage de points. Les points marginaux indiquent les années où les cotes à MOPTI ont été accentuées ou non, suivant le décalage dans le temps et des crues du NIGER et du BANI.

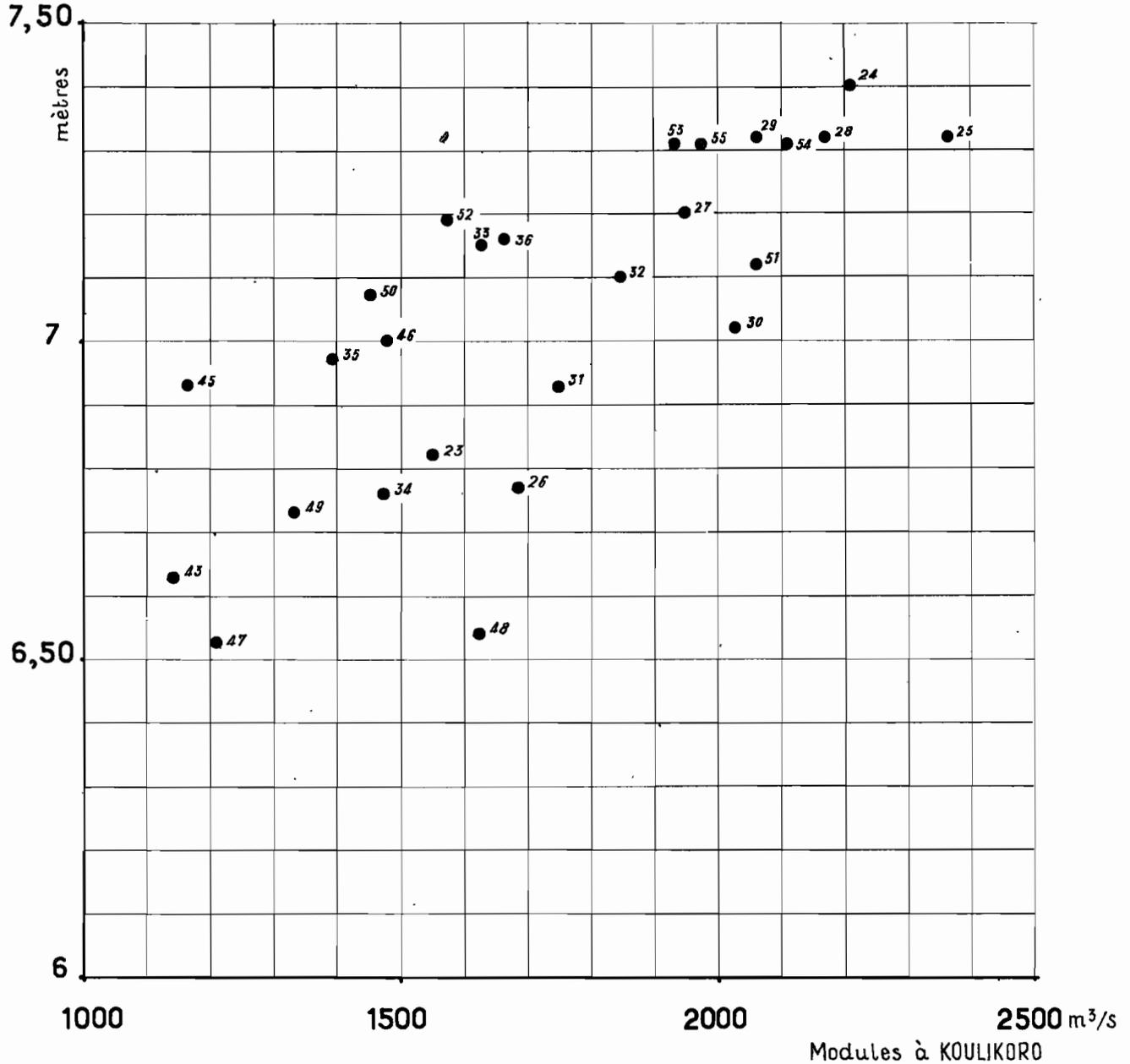
Nous pouvons constater que ce n'est pas le cas des années 1924-1929 par rapport aux années 1951-1955. Il n'y a donc aucune raison pour que les cotes à DIRE se trouvent systématiquement plus faibles dans le premier cycle que dans le second.

En nous basant sur le graphique (n° 20) cote maximale MOPTI, cote maximale DIRE, et d'autres correspondances faisant intervenir la crue du NIGER amont à KOULIKORO et la résultante NIGER-BANI à l'aval de MOPTI (graphiques n° 21 et 22), nous avons établi les corrections suivantes :

BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre

Cotes maximales à MOPTI en fonction des modules à KOULIKORO

Cotes maximales à MOPTI

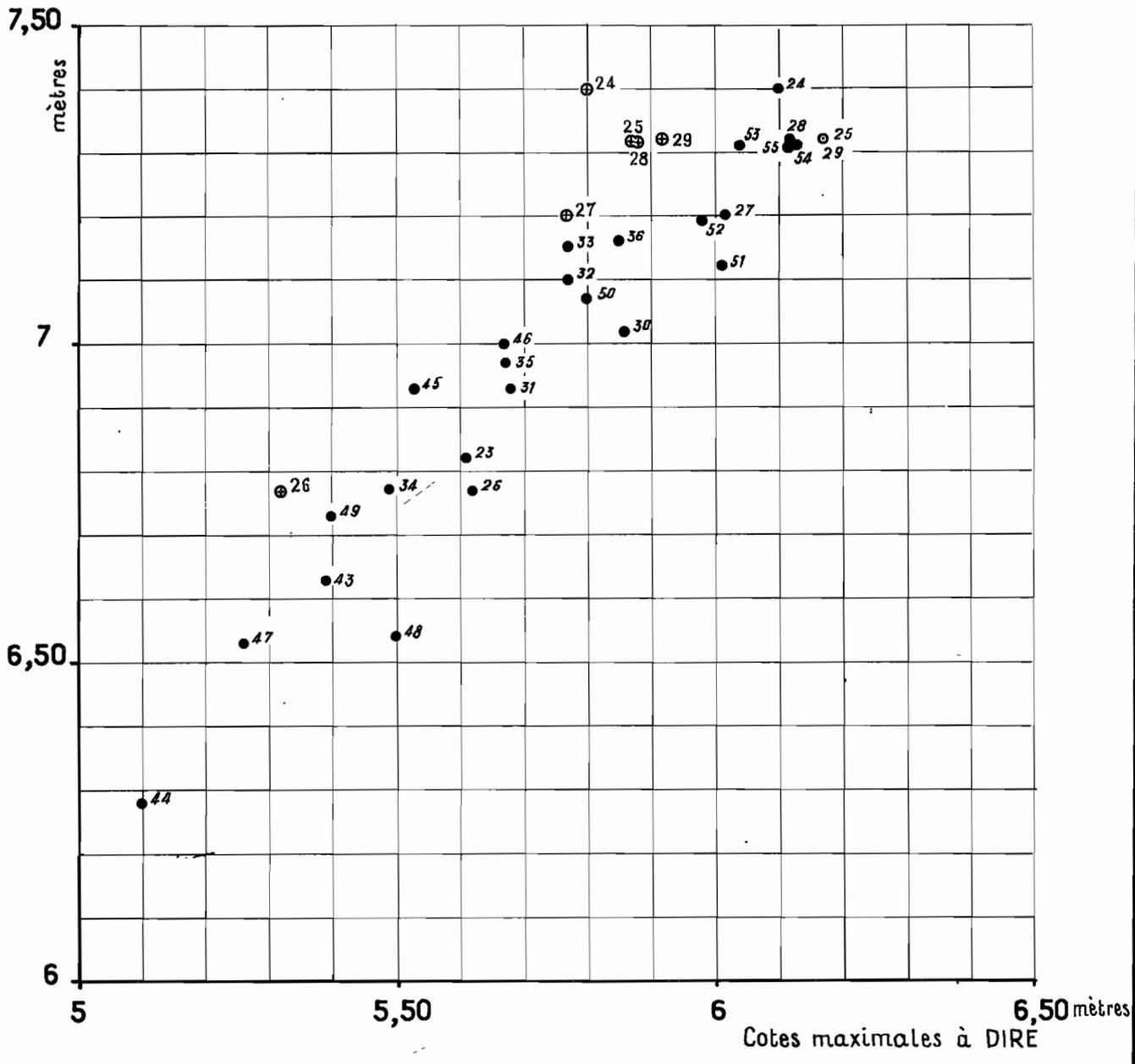


BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre

Cotes maximales à MOPTI en fonction des cotes maximales à DIRÉ

- ⊕ Cotes brutes à Diré
- Cotes corrigées à Diré

Cotes maximales à MOPTI



NIG_9938

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

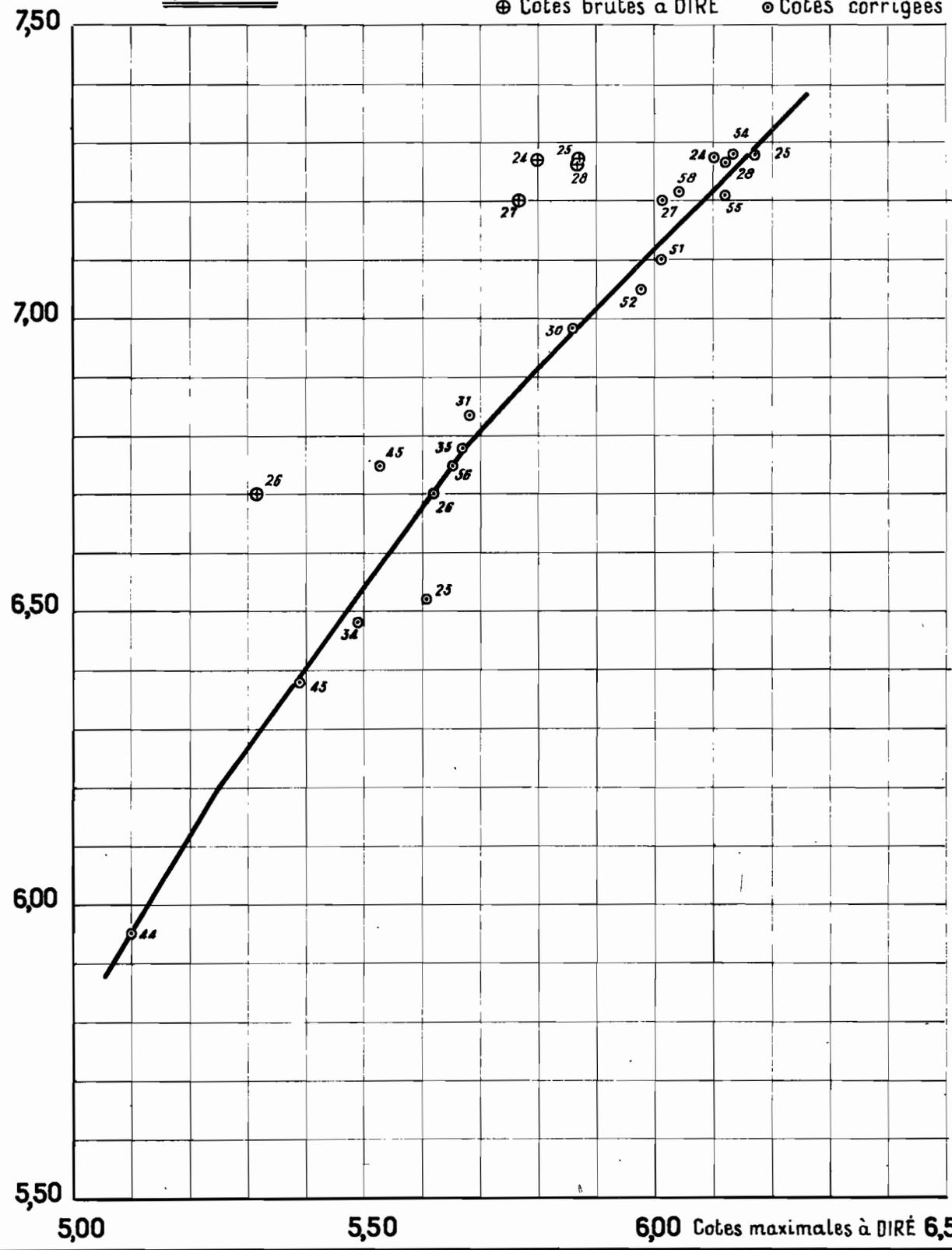
ED: LE: DEC. 60 DES: GROTARD VISA: TUBE N°: A1

BASSIN DU NIGER - Cuvette lacustre

ÉTUDE DES COTES MAXIMALES A DIRÉ

Cotes à MOPTI le jour où la cote à KOULIKORO en décrue atteint 5,50 mètres

⊕ Cotes brutes à DIRÉ ○ Cotes corrigées

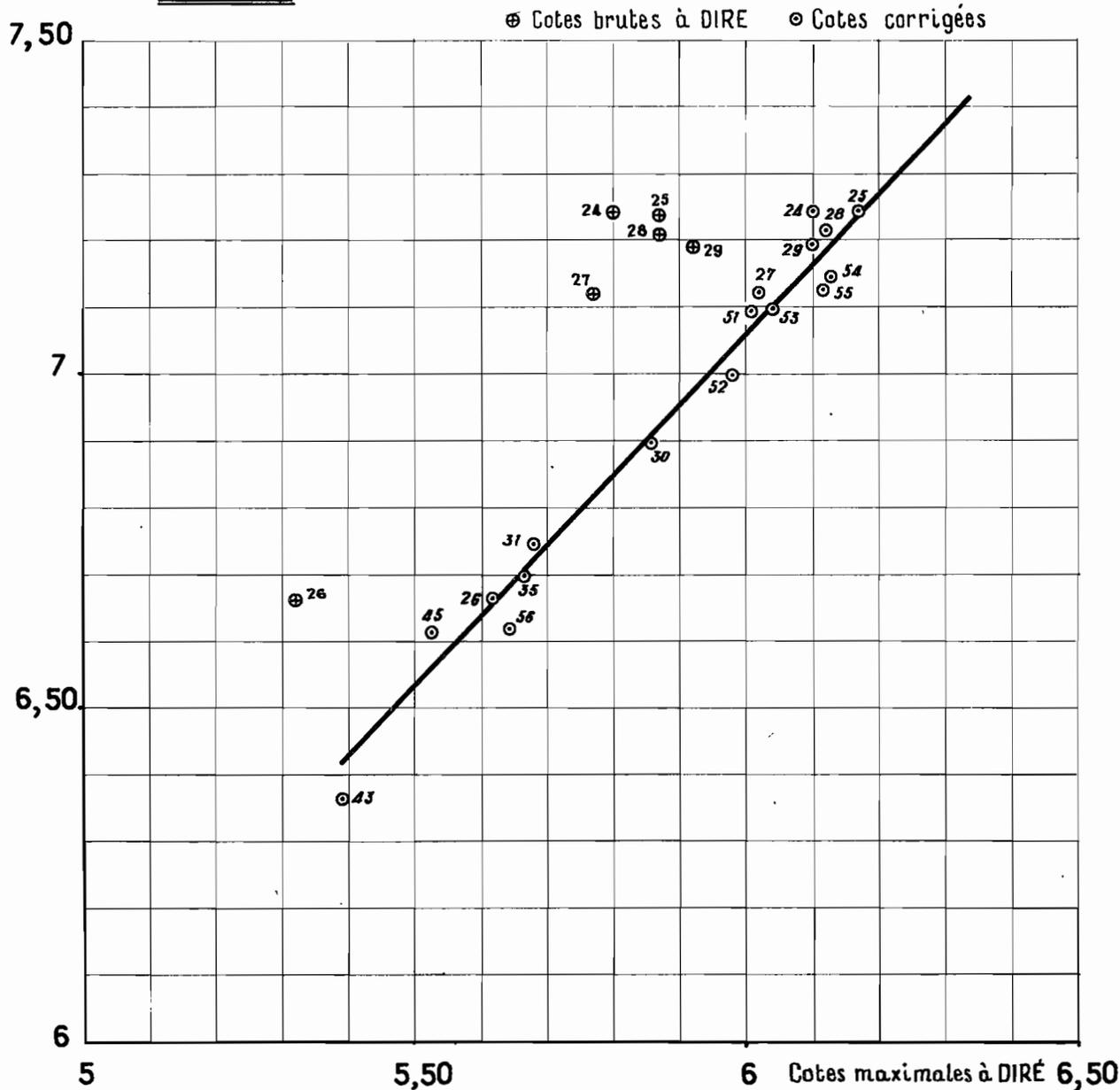


6,00 Cotes maximales à DIRÉ 6,50

BASSIN DU NIGER_Cuvette lacustre

ÉTUDE DES COTES MAXIMALES A DIRÉ

Cotes à MOPTI le jour où la cote à KOULIKORO en décrue atteint 6,00 mètres



1924	6,10	au lieu de	5,80	(+ 0,30)
1925	6,17		5,87	(+ 0,30)
1926	5,62		5,32	(+ 0,30)
1927	6,02		5,77	(+ 0,25)
1928	6,12		5,87	(+ 0,25)
1929	6,17		5,92	(+ 0,25)

En observant simplement les relevés originaux, il est difficile d'expliquer ces corrections. Notons, toutefois, que l'échelle semble avoir été démontée souvent au moment de l'étiage pour en assurer la réfection.

Il ne paraît pas nécessaire d'étendre la correction à l'année 1930 pour plusieurs raisons :

1°) Nous ne sommes pas sûrs de la cote maximale à MOPTI correspondante (7,02 m).

2°) Sur le graphique des cotes maximales à MOPTI, en fonction des modules à KOULIKORO, le point figuratif de l'année 1930 indique un fort module à KOULIKORO, pour une cote maximale relativement modeste à MOPTI. Comme il était alors prévisible, la cote maximale à DIRE semble forte par rapport à la cote maximale à MOPTI. Nous n'avons pas voulu exagérer encore cet écart en appliquant une correction additionnelle.

Arguments supplémentaires en faveur de ces corrections -

1°) Nous avons, dans la lère partie de cet ouvrage (Chapitre III, D), jeté un regard rapide sur l'hydrologie de la zone des lacs et entre autres sur le remplissage du système TELE et FAGUIBINE. Durant les périodes 1924-1930 et 1951-1955, le lac FAGUIBINE s'est rempli presque complètement en partant d'un état d'assèchement quasi total. On pourrait essayer d'évaluer les quantités d'eau apportées au système lacustre pendant ces 2 périodes. La majeure partie de ces apports est fournie par le marigot de GOUNDAM. On verra (4ème partie : "Etude du régime du marigot de GOUNDAM à GOUNDAM") que ces apports sont proportionnels à la cote maximale de la crue du NIGER à DIRE.

Pour la période 1951-1955, le volume total écoulé vers le système lacustre est de 14 320 millions de m³. Si on ne modifie pas les cotes maximales à DIRE, pour la période 1924-1930, on arrive seulement à 8 830 millions de m³ ce qui représente un apport nettement insuffisant pour un remplissage des lacs, au moins équivalent à celui de 1956. Par contre, après correction des cotes à DIRE, on trouve 17 730 millions de m³, volume beaucoup plus correct, puisque la cote du lac FAGUIBINE de 1930 était supérieure à celle atteinte en 1955.

2°) C'est un fait d'expérience que lorsque la cote à KOULIKORO, en décrue, atteint 5,50 m, le palier de crue à TILIMBEYA, s'il a été atteint commence à s'affaisser. Si nous considérons la cote à MOPTI ce même jour, afin de tenir compte de l'influence BANI-NIGER, nous constatons qu'il existe une très bonne corrélation entre cette cote et la cote maximale correspondante à DIRE (graphique n° 21). Il est facile de voir sur le graphique que les points relatifs aux années 1924, 1925, 1926, 1927, 1928 et 1929 portés sans correction apparaîtraient nettement aberrants.

Relevés récents -

Les relevés des années postérieures à 1929 paraissent corrects.

L'échelle actuelle installée depuis 1949 a été calée sur le zéro de l'ancienne d'après un procès-verbal figurant dans les archives du Service de l'Hydraulique du SOUDAN.

Jaugeages -

Les mesures de débit à la station de DIRE ont commencé en 1951. Leur nombre est voisin de 20 ; on en trouvera le détail ci-dessous :

N°	Date	Hauteur à l'échelle en mètres	Débits m ³ /s
1	26- 8-1951	3,75	1 060
2	4- 4-1952	4,65	1 243
3	11- 1-1954	6,01	2 540
4	23- 2-	5,42	1 815
5	10- 6-	1,29	118
6	9- 8-	3,53	1 100
7	24- 8-	4,19	1 445
8	5- 9-	4,56	1 735
9	12-10-	5,27	2 020
10	15-12	6,03	2 540
11	19- 1-1955	6,09	2 645
12	23-11-	5,88	2 402
13	8-12-	6,04	2 544
14	7- 8-1956	2,47	725
15	30- 7-1957	2,37	467
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:

N°	Date	Hauteur à l'échelle en mètres	Débits m ³ /s
16	4- 8-1958	3,42	1 045
17	26- 8-	4,05	1 349
18	15- 9-	4,58	1 665
19	28-10-	5,30	2 005
20	13-11-	5,48	2 203
21	17- 3-1959	4,56	1 131
22	23- 9-	4,63	1 906

La disposition des points fait apparaître, comme il fallait s'y attendre, deux courbes distinctes pour la crue et la décrue. L'écart entre les deux branches atteint 4,30 m³/s pour la cote 4,60 mètres à l'échelle (1 670 m³/s en crue contre 1 240 m³/s en décrue), c'est-à-dire ± 14,8 % de part et d'autre d'une courbe médiane entre les 2 branches.

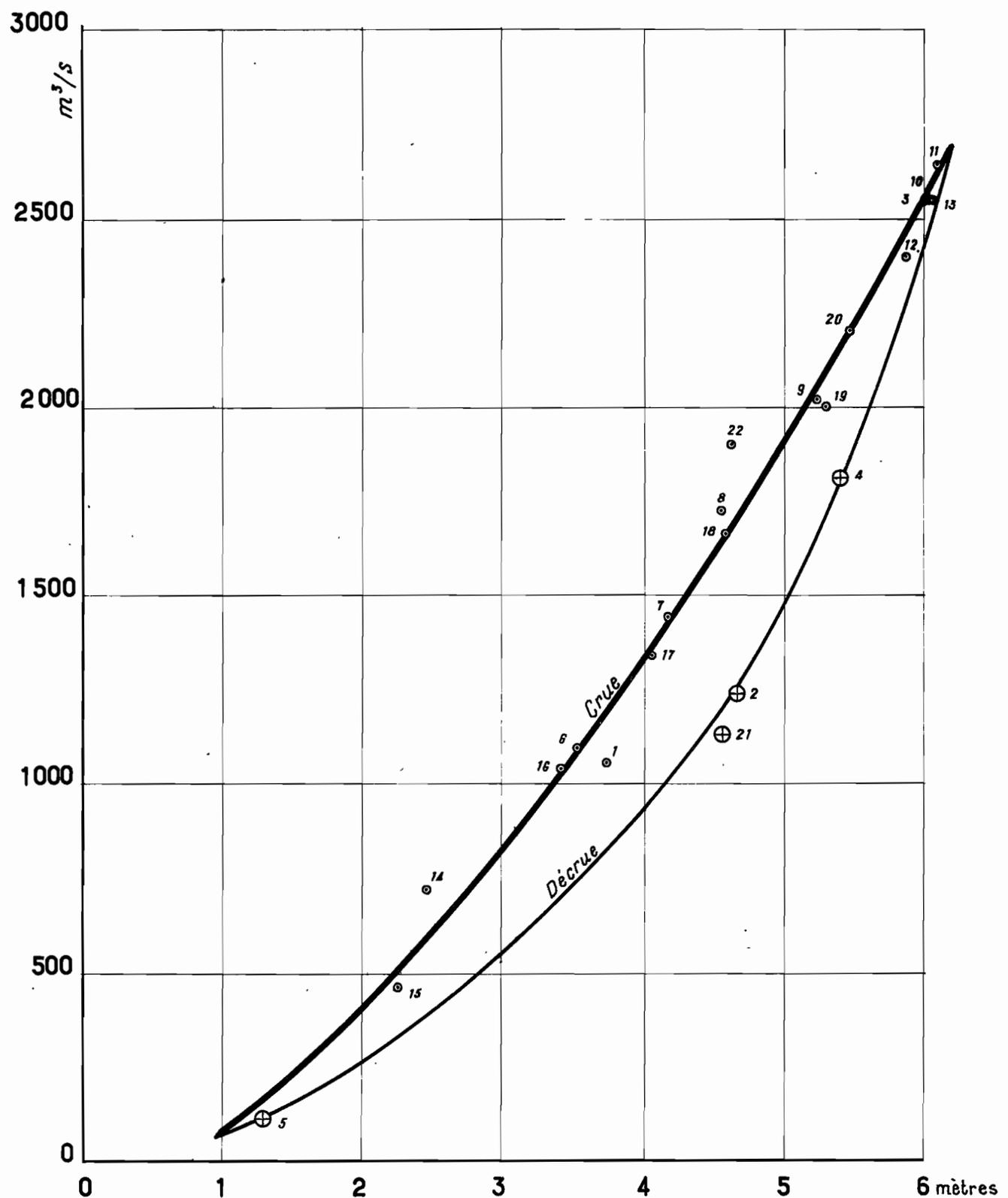
Pour la transformation des hauteurs en débits, nous avons adopté la branche supérieure valable pour la crue et nous avons raccordé avec la branche inférieure suivant la hauteur maximale atteinte. Les maximums de hauteur et de pente étant sensiblement en coïncidence, ce raccordement comporte un point de rebroussement (Graphique n° 23).

Les jaugeages ont eu lieu 3 km en amont de DIRE, au droit de la colline de KOUBOU à l'extrémité de la boucle de DIRE. En fait, la section à cet endroit est très large mais tout le débit est rejeté sur la rive droite où le lit est bien marqué, régulier, avec une profondeur maximale de 16 mètres en crue. Sur la rive gauche s'étend une aire d'inondation couverte de graminées aquatiques, presque complètement obturée vers l'amont et ne présentant aucune vitesse d'écoulement perceptible.

La grande profondeur dans la section de mesure n'est pas un obstacle important du fait des vitesses modestes (0,60 m/s) et de l'écoulement parfaitement régulier.

COURBE D'ÉTALONNAGE

Le NIGER à DIRÉ



P - STATION DE GOURMA-RHAROUS -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 53' N
Longitude 1° 55' W

Mis à part TOMBOUCTOU qui est quand même à 10 km environ du bord du fleuve, GOURMA-RHAROUS est le seul centre habité de quelque importance sur la boucle du NIGER, en aval de DIRE. On compte en effet 224 km depuis DIRE, et encore 166 km avant d'atteindre l'échelle suivante, celle de TOSSAYE.

L'échelle est installée sur la rive droite, un peu en aval de la Résidence, les relevés ont commencé en Mai 1954. Elle n'est pas rattachée au nivellement général, qui passe sur la rive gauche.

En général, dans sa boucle, le NIGER emprunte toujours plusieurs chenaux, et il n'y a pratiquement pas de section de jaugeages. RHAROUS, station limnimétrique, permet l'étude de la propagation de la crue.

L'amplitude de l'oscillation annuelle du plan d'eau est inférieure à 5 mètres. Le marnage a diminué d'un mètre depuis DIRE, ce qui est vraisemblablement dû à l'augmentation de la pente et peut-être aussi à l'élargissement du lit majeur, mais à un moindre degré.

C H A P I T R E I I

AFFLUENTS, EFFLUENTS et LACS

Nous présenterons, au début de ce chapitre, une note relative à la station de DOUNA sur le BANI. Cette note ne fait pas double emploi avec celle figurant dans le 1er volume "NIGER SUPERIEUR et BANI" de cette monographie (Tome I, page 74), car elle a essentiellement pour but de présenter un essai de revalorisation des relevés anciens de cette station.

A - STATION DE DOUNA SUR LE BANI -

Bassin versant = 101 600 km²

Coordonnées géographiques : Latitude 13° 11' N
Longitude 5° 57' W

L'échelle se trouve sur la rive gauche au droit du village de pêcheurs de DOUNA, entre la passerelle de basses eaux et l'embarcadère du bac.

C'est une vieille station (elle date de 1922), très importante, aussi importante pour le BANI que celle du KOULIKORO pour le NIGER ; l'échelle actuelle a été placée en Avril 1954 en remplacement d'une échelle en fonte de 1949, dont le zéro était calé trop haut (il arrivait qu'en basses eaux, l'élément inférieur fût entièrement émergé).

Les relevés que nous possédons s'étendent depuis 1922 avec deux interruptions de longue durée (1934 et 1937-1949). Parfois les observations sont partielles, douteuses, ou manifestement maquillées en particulier de 1929 à 1933. Nous avons cherché à revaloriser ces relevés en les rattachant à l'échelle actuelle. On verra dans le paragraphe suivant qu'il est quelquefois impossible de trancher entre deux hypothèses. Il a fallu aussi écarter certaines années dont les relevés étaient vraiment fantaisistes, toute tentative de redressement apparaissant trop arbitraire, sans justification valable.

La pente du BANI à DOUNA est beaucoup plus faible que celle du NIGER à KOULIKORO (4 cm/km contre 8), il en résulte une amplitude du plan d'eau assez élevée, les plus basses eaux variant entre quelques centimètres à l'échelle et 0,80 m. Les plus hautes eaux se placent entre 6,00 m et 10 m. La crue de 1924 semble avoir été la plus forte connue (10,37 m) depuis le début du siècle.

Revalorisation des relevés anciens -

1°) Depuis le 16 Avril 1954, les observations sont faites à l'échelle actuelle (Cote du zéro : 270,714 (I.G.N.) et 289,71 (P.C.S.)).

2°) Du 13 Octobre 1949 au 15 Avril 1954, échelle ancienne en fonte coulée posée en Avril 1949 par le Service des T.P. du SOUDAN. Cette échelle avait son zéro calé trop haut et lors des étiages rigoureux, l'élément inférieur, étant totalement émergé, rendait toute observation impossible.

Lors de son remplacement en 1954, l'écart entre les deux zéros fut nivelé avec soin.

L'ancien zéro était, paraît-il, à la cote 290,23 (P.C.S.). Il y aurait donc lieu d'augmenter les anciens relevés de 0,52 m mais nous verrons plus loin qu'on peut émettre des doutes⁽¹⁾. Notons que l'étiage 1950 manque (du 8 Mars au 19 Juillet), ainsi que 11 jours en Novembre de la même année.

En 1951, le minimum absolu situé entre le 11 Avril et le 25 Avril manque. En 1952, même lacune entre le 1er et le 18 Mai.

(1) Le rattachement de l'ancienne échelle ou nivellement de SANSANDING aurait présenté une erreur comme nous le verrons plus loin.

3°) Années 1935 - 1936 - 1937 -

L'année 1934 manque totalement. Postérieurement à cette date, les relevés en décrue sont interrompus à la cote 0,50 m ce qui, antérieurement, n'avait pas lieu. Il est donc logique d'estimer que c'est pendant cette interruption que fut installée la fameuse échelle à "quatre pentes" dont il est fait une mention manuscrite sur le carnet de relevés de la station.

Quelle était la cote du zéro de cette échelle ?

Le procès verbal d'installation de l'échelle T.P. de 1949 précise que la nouvelle échelle a été posée sans changement de zéro à la cote 290,23 (P.C.S.). Mais il est vraisemblable qu'en 1949, les débris de l'échelle de 1937 étaient introuvables. Restait le repère de nivellement placé paraît-il sur la butte du village de DOUNA ; mais, personnellement, nous n'avons pu retrouver cette borne repère lors des recherches effectuées en 1951.

Par ailleurs, les carnets de l'Office du NIGER indiquent, pour les observations de 1935-1937, une cote du zéro de 290,23. Il apparaît douteux que le calage de 1949 ait pu être exécuté sans changement de zéro avec une précision aussi rigoureuse.

De plus, si nous comparons la cote I.G.N., sûre, de l'échelle 1949 avec sa cote P.C.S., nous trouvons une différence :

$$290,23 - 271,238 = 18,992 \text{ m}$$

Or, la moyenne des écarts entre les deux plans de référence de nivellement est de 18,80 mètres. La valeur 18,992 m semble nettement un peu forte.

Deux hypothèses se présentent :

- a) l'échelle de 1934 avait effectivement pour zéro une cote 290,23 m, mais l'échelle de 1949 posée avec une erreur de calage d'une vingtaine de centimètres avait son zéro à la cote 290,00 environ.
- b) l'échelle de 1934 ainsi que l'échelle de 1949 avaient, toutes deux, leur zéro à la cote 290,23, ce qui suppose un calage impeccable et une erreur (acceptable, il est vrai) entre le nivellement P.C.S. et le nivellement actuel.

L'examen des relevés ne permet guère de trancher le problème. Les cotes très basses des étiages 1950 et 1951 inclinent plutôt en faveur de la deuxième hypothèse, que nous avons donc admise, mais sans conviction.

L'année hydrologique (Juin à Mai), de 1935-1936 semble homogène, mais les mois de Juin et Mai manquent.

En 1936-1937, les mois de Juin 1936 et Avril et Mai 1937 manquent. En 1937, la partie la plus intéressante de la crue fait défaut.

4°) Années 1922 - 1923 -

Les relevés commencent en Mai 1922 sur l'échelle de la Cie Générale des Colonies ; ils paraissent corrects mais, malheureusement, aucune indication sur la cote du zéro n'a subsisté. On peut constater que, par rapport à l'échelle actuelle, les cotes de basses eaux semblent un peu faibles. La Cie Générale des Colonies a effectué deux jaugeages rattachés à l'échelle de 1922.

a) $Q = 2\ 320\ \text{m}^3/\text{s}$ pour 7,55 m (échelle de 1922) au lieu de 7,86 m (échelle actuelle)

b) $Q = 3\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$ pour 9,18 m (échelle de 1922). Un tel débit correspondrait au moins à une cote de 10,10 m à l'échelle actuelle. Mais, d'après la C.G.C., la lecture de 9,18 serait incorrecte et devrait être majorée de 0,27 m (observations sans doute faites par les techniciens au moment du jaugeage).

Nous avons donc décidé de majorer les relevés anciens de 0,30 m.

5°) Année 1924 -

Entre le 31 Mai et le 1er Juin, on constate une différence brutale de 0,14 m en pleine décrue, causée certainement par un changement de zéro de l'échelle (réinstallation ou peinture); la correction sera donc réduite de 0,16 m.

Le maximum de la crue 1924 serait de 10,37 m, soit 0,60 m de plus qu'en 1954. Cette cote est possible et n'entraîne pas, comme le pensait M. REFFAY, l'inondation totale de la butte sur laquelle se trouvent les quelques débris de

banco constituant le village de DOUNA.

- Du 1er Juin 1924 au 31 Mai 1929, les relevés bruts sont corrects et ont été majorés de 0,16 m.

6°) Année 1929 -

La décrue est manifestement fausse, on rencontre des décroissements journaliers de 0,30 m, nettement excessifs.

Pour la crue, les accroissements sont grands, 0,30 m par jour autour d'une cote de 9,00 m (soit une augmentation de débit de 200 m³/s autour de 3 000 m³/s) mais non invraisemblables. Les relevés donnent l'impression d'une erreur d'un mètre à la crue que l'observateur aurait cherché à rattraper en plusieurs fois pendant la décrue. Nous avons écarté ces relevés faux car nous ne pouvions les arranger que par un procédé arbitraire.

7°) Année 1930 -

La décrue est encore nettement maquillée (descente journalière de 0,85 m entre les 16 et 17 Octobre, de 0,495 m entre le 24 et le 25 Octobre) bien que la descente de 2,00 m entre le 16 et le 25 Octobre soit parfaitement vraisemblable (comme le montre l'exemple du mois de Novembre 1952 avec 2,00 mètres de décrue entre le 11 et le 21).

Malgré l'accroissement de 0,42 m entre le 30 et le 31 Août, qui paraît un peu fort, nous conservons les relevés de l'année, en supprimant le mois d'Octobre et en effectuant une majoration de 0,16 m.

8°) Année 1931 -

Relevés douteux (le maximum semble un peu fort), cependant conservés avec réserves et majoration de 0,16 m.

9°) Année 1932 -

Décrue fausse de 1,19 m entre les 6 et 7 Décembre ; par contre, décrue d'Octobre à Novembre trop lente. Les relevés sont à écarter.

10°) Année 1933 -

Relevés fort douteux - Maximum trop élevé - Relevés à écarter.

Etalonnage de la station -

Il n'existe à cette station principale du BANI, que deux jaugeages anciens effectués en 1922 par la Mission de la Cie Générale des Colonies.

Débit : 2 320 m³/s - Cote à l'échelle ancienne : 7,55 m

Cote à l'échelle actuelle : 7,86 m

Débit : 3 700 m³/s - Cote à l'échelle ancienne : 9,18 m

Cette dernière cote est controversée par la C.G.C., elle-même estimait que la lecture aurait dû être de 9,45 m.

A partir de 1952, le Service de l'Hydraulique du SOUDAN a entrepris une série de jaugeages modernes qui permettent de préciser la courbe d'étalonnage par rapport à l'échelle actuelle.

Date	Hauteur à l'échelle en mètres	Débit m ³ /s
2- 5-1952	0,63	29,5
5- 6-	0,54	21,5
19- 8-	4,73	996
11- 9-	7,13	1 928
10-10-	9,54	3 310
27-11-1954	5,82	1 256
15- 2-1955	1,94	165
21- 5-	0,70	36
4-12-	4,07	697
28- 3-1956	1,18	81
17- 7-	0,93	56
12-12-	2,70	311
21-12-	2,38	242
24- 1-1957	1,64	131
17- 9-	8,79	2 850

Ces points se rangent sur une courbe unique d'étalonnage qui confirme le premier jaugeage de 1922.

Le second ($3\,700\text{ m}^3/\text{s}$), même en admettant la cote 9,45 (soit 9,86m à l'échelle actuelle), est légèrement trop fort.

Le barème moderne donnerait pour cette cote un débit compris entre $3\,500$ et $3\,550\text{ m}^3/\text{s}$, donc approximativement 5 % plus faible. Si l'on tient compte que ce jaugeage a certainement été effectué au moyen de flotteurs, nous trouvons là une erreur parfaitement admissible.

B - STATION DE KARA SUR LE DIAKA -

Coordonnées géographiques : Latitude $14^{\circ} 09' \text{ N}$
Longitude $5^{\circ} 01' \text{ W}$

L'effluence du DIAKA se produit, près de DIAFARABE, sur la rive gauche. Le partage des eaux NIGER-DIAKA se fait par l'éperon constitué par le village de DIAFARABE. Avant l'effluence, le NIGER se partage en deux bras. Les eaux de la rive droite constituent le chenal profond, celles de la rive gauche se partagent entre le DIAKA et le bras rive gauche qui, longeant le village de DIAFARABE, y cause des affouillements considérables (la vitesse d'écoulement y est plus élevée que sur la rive droite). Le bras rive gauche est entièrement asséché en saison sèche et l'embouchure du DIAKA est barrée par un seuil sableux ; tout le débit du NIGER s'écoule alors le long de la rive droite.

L'échelle se trouve au droit du Centre Administratif de KARA sur la rive gauche de DIAKA.

Elle fonctionne depuis Mai 1952, date de son installation par le Service Hydraulique du SOUDAN.

En 1944-1945, l'Office du NIGER installa sensiblement au même endroit une échelle provisoire utilisée pour le rattachement des jaugeages effectués à cette époque sur le NIGER et sur le DIAKA.

La cote du zéro de l'échelle actuelle est 267,00 m (Nivellement Hydraulique rattaché au nivellement général).

Le zéro de l'échelle du DIAKA se trouve à 0,18 m au-dessus du zéro de l'échelle de TILLEMBEYA.

En hautes eaux (aux environs de la cote maximale), la différence de cote entre les plans d'eau aux deux stations est de 0,06 m ; en étiage, elle atteint 0,25 m à 0,27 m, ce qui indique que le DIAKA ne débite plus et que l'échelle se trouve alors dans une mouille isolée du lit mineur.

Du mois d'Octobre 1944 au mois d'Octobre 1945, l'Office du NIGER a effectué une série de 44 jaugeages du DIAKA (tableau n° 3). Les jaugeages ont été rapportés à 4 échelles différentes :

Jaugeages du 14 et 19 Octobre 1944

Echelle n° 1 Zéro : 284,844 (P.C.S.)

Jaugeages du 23 Octobre au 26 Novembre 1944

Echelle n° 2 Zéro : 284,831 (P.C.S.)

Jaugeages du 30 Novembre 1944 au 13 Août 1945

Echelle n° 3 Zéro : 284,825 (P.C.S.)

Tous ces jaugeages ont été effectués sur le DIAKA en aval de la confluence, sensiblement au droit de la cité actuelle de KARA.

Jaugeages du 16 Août au 14 Octobre 1945

Echelle n° 4 Zéro : 286,44 (P.C.S.)

Comme pour la station de TILLEMBEYA, en nous basant sur une différence de 18,82 m entre les deux nivellements (Nivellement Général et Plan de comparaison de Sansanding), nous avons rapporté ces jaugeages à l'échelle actuelle.

Jaugeages récents du DIAKA à KARA -

Date	Hauteur d'eau à l'échelle en mètres	Débit m ³ /s
16- 2-1954	1,34	72
23- 7-	3,59	670
24-12-	3,04	430
12- 1-1956	2,10	190
21- 3-	1,09	37
26- 7-	2,75	395
14- 2-1957	1,00	24
30- 7-	3,62	714
31- 7-	3,70	752
2- 8-	3,78	746
1- 9-	5,56	1 552
4- 9-	5,62	1 568
7- 9-	5,66	1 652
12- 9-	5,70	1 612
29- 1-1958	1,68	105
12-12-1959	2,30	248

Courbe de tarage - (Graphique n° 25)

Nous avons utilisé les jaugeages modernes pour son tracé ; il ne semble pas y avoir d'ambiguïté. Cette courbe ressemble, en effet, à celle de l'Office du NIGER, et présente avec elle un décalage de hauteur d'eau identique à celui observé entre les 2 courbes de TILEMBEYA.

Nous trouvons que le débit maximal du DIAKA est voisin de 1 700 m³/s pour 5,80 m à l'échelle.

Cette courbe de tarage a servi à traduire les relevés récents de 1952 à 1957.

Nous ne possédons pas de jaugeages inférieurs à 24 m³/s; il serait pourtant intéressant de déterminer correctement à partir de quel débit à TILEMBEYA le DIAKA commence ou cesse de débiter.

Le jaugeage du 14.2.1957 donne 24 m³/s; à cette date nous savons que le débit à TILÉMBÉYA était de 157 m³/s. Le dernier chiffre est sûr, puisque nous possédons deux jaugeages du NIGER donnant des débits inférieurs (72 m³/s et 37 m³/s). Les résultats de l'Office du NIGER en 1944-1945 sont incohérents. En effet, rapprochant les dates des jaugeages respectifs aux deux stations, nous trouvons :

Débit du DIAKA :		Débit du NIGER :	
Date	à KARA m ³ /s	Date	à TILÉMBÉYA m ³ /s
16-1-1945	13,0	17-1-1945	181
30-1-	2,5	31-1-	135
6-2-	3,0	7-2-	94
13-2-	3,3	14-2-	83
20-2-	2,5	20-2-	75
27-2-	0,45	27-2-	55

Nous avons établi deux graphiques (n° 24)

1°) Correspondance en cotes entre KARA et TILÉMBÉYA aux échelles actuelles basée sur les relevés de 1953-1956-1957.

Compte tenu des erreurs d'observations dues au vent, nous pouvons admettre une correspondance linéaire.

2°) Correspondance en débits entre KARA et TILÉMBÉYA. Le premier groupe de points donnant des débits supérieurs à 24 m³/s est déduit d'une part de la correspondance entre cotes établies précédemment, d'autre part des jaugeages récents. Le second groupe de points représente les résultats de jaugeages de l'Office du NIGER, en 1944-1945. Ces points fournissent une correspondance très aplatie donnant à KARA des débits très faibles (inférieurs à 5,0 m³/s) pour des débits à TILÉMBÉYA supérieurs à 150 m³/s.

Il est difficile de trancher et nous avons adopté une valeur moyenne, obtenue en grande partie en extrapolant la courbe résultante du premier groupe de points, plus sûrs puisque plus récents.

NIG - 9942

ED:

LE: DEC. 60

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

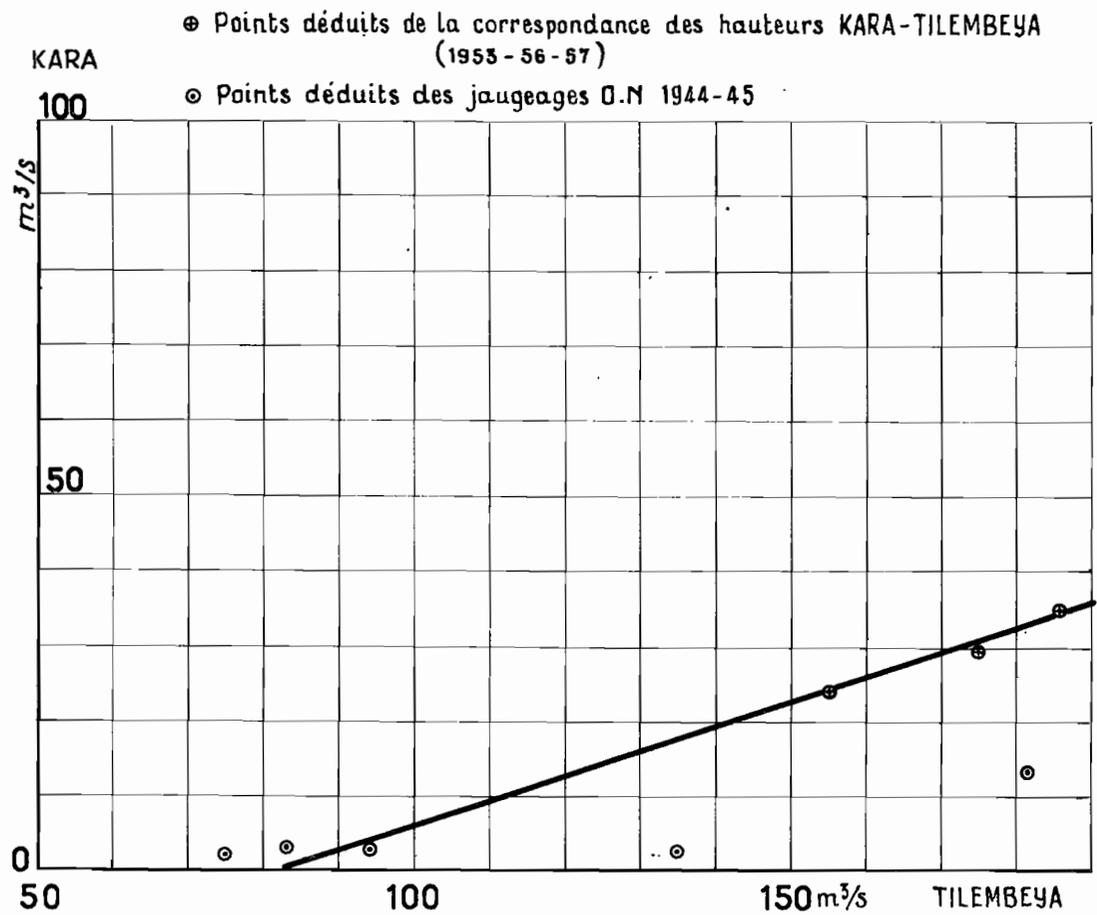
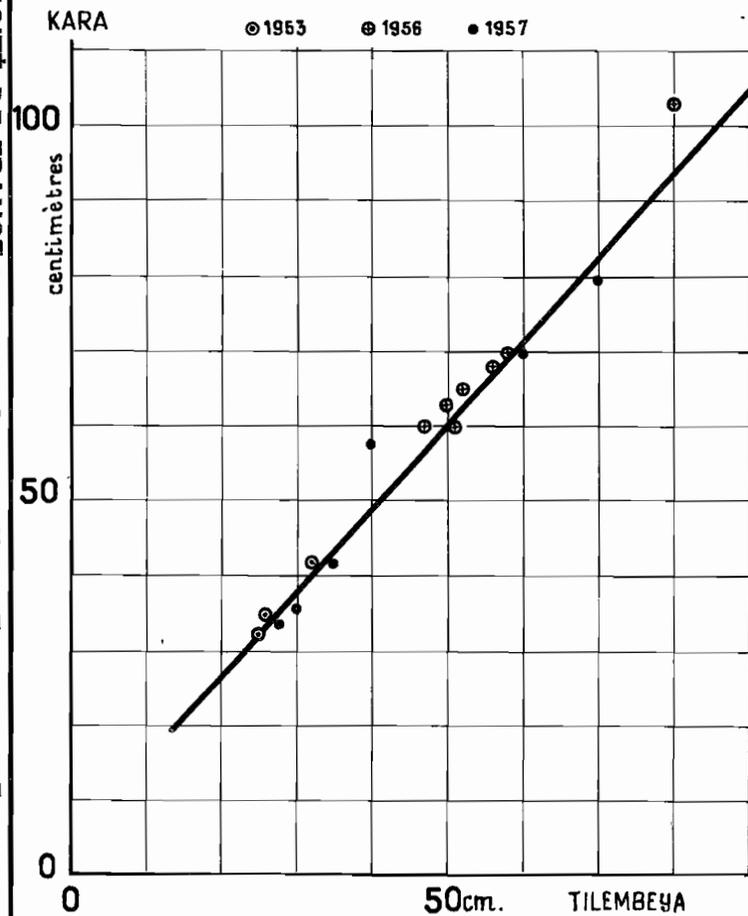
A1

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

CORRESPONDANCE KARA-TILEMBEYA

pour les faibles débits

Gr. 24



Nous dirons que le débit à KARA s'annule pour un débit à TILÉMBEYA de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit $0,48 \text{ m}$ à l'échelle de cette station).

C'est sur cette base que nous avons établi la courbe d'étalonnage des débits à KARA en fonction des hauteurs à TILÉMBEYA. Ce barème nous a servi pour convertir en débits à KARA les relevés de TILÉMBEYA antérieurs à la mise en route de la nouvelle échelle de KARA.

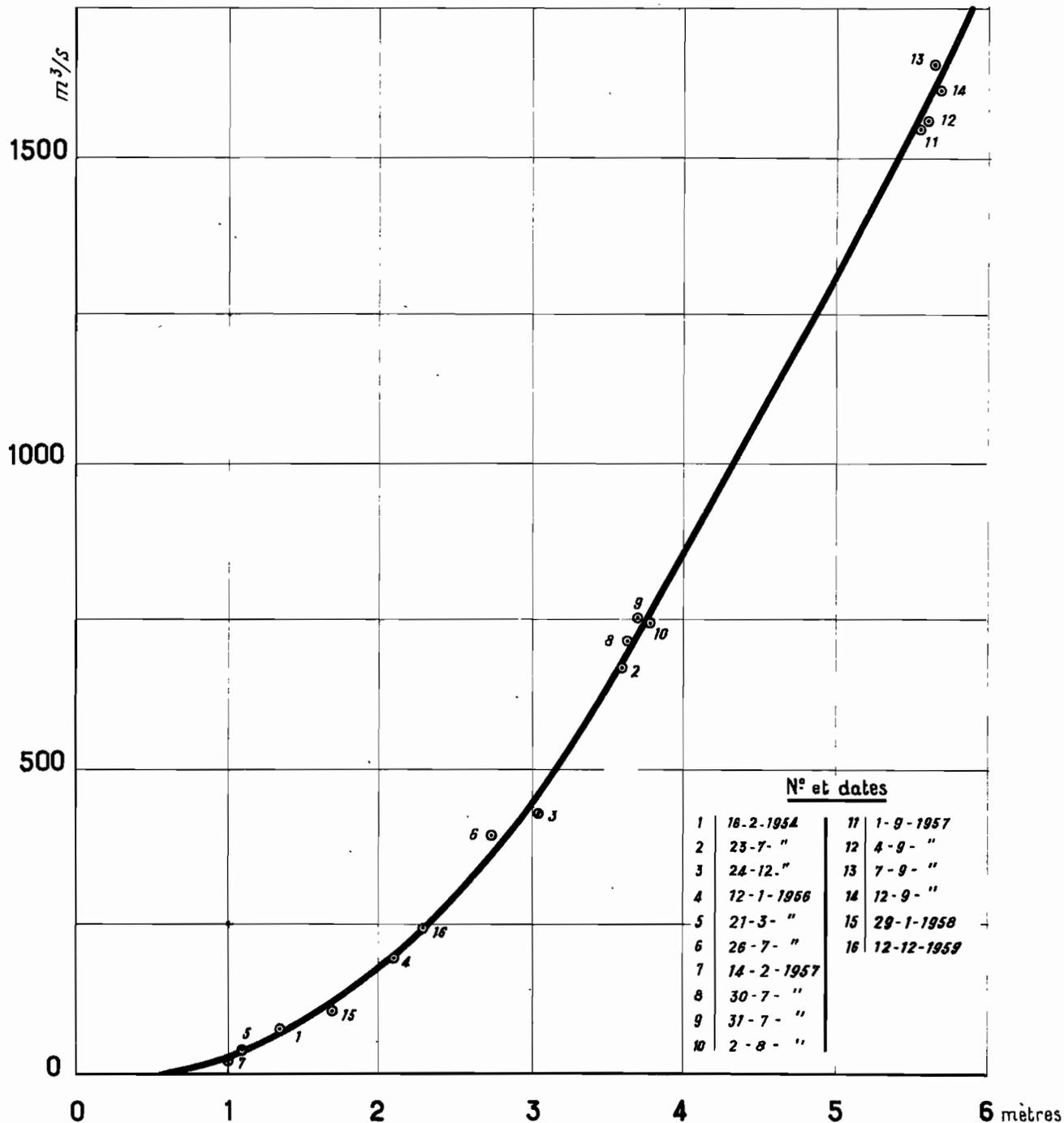
Ajoutons que cette valeur du débit limite à TILÉMBEYA annulant le débit à KARA est forcément imprécise. En effet, il est probable que l'autocreusement du seuil barrant le DIAKA et les mouvements du fond pendant la crue, modifient ce débit limite après chaque décrue.

Par ailleurs, la construction des barrages à poissons par les pêcheurs peut très bien perturber considérablement les conditions d'écoulement des débits très faibles.

De toute manière, cette incertitude pesant sur les très petits débits dérivés par le DIAKA ne risque pas d'engendrer des erreurs appréciables dans l'étude du régime de ce défluent, le volume dérivé étant la partie la plus intéressante de ce régime.

COURBE D'ÉTALONNAGE

Le DIAKA à KARA



Extrait des archives de l'Office du NIGER

JAUGEAGES DU DIAKA

Date	Echelle	Débit	Cotes P.C.S.	
14-10-44	5,80	309,4	} Echelle n° 1 Zéro : 284.844	
19-10-44	5,385	832,1		
23-10-44	4,935	659,9	} Echelle n° 2 Zéro : 284.831	
27-10-44	4,81	613,8		
1-11-44	4,52	558,1		
6-11-44	1,29	460,5		
13-11-44	4,255	488,8		
18-11-44	3,915	362,6		
22-11-44	3,675	308,3		
26-11-44	3,43	247,8		
30-11-44	3,225	226,5	} Profil n° 1	
6-12-44	2,975	158,1		
12-12-44	2,755	143,9		
19-12-44	2,67	116,4		
26-12-44	2,515	92,5		
2-1-45	2,32	70,9		
9-1-45	2,17	40,7		
16-1-45	2,01	12,96		
30-1-45	1,80	2,53		
6-2-45	1,71	2,96		
13-2-45	1,61	3,28		
20-2-45	1,57	2,48		
27-2-45	1,49	0,46		
6-3-45	1,40	Seuil formant barrage amont du profil n° 2		
31-7-45	1,92	245,2		? Profil n° 2 bis
1-8-45	2,00	233,6	Profil n° 3	
		(Bras n° 1	: 18,8	
		Total	: 214,8	
2-8-45	2,06	267,4	Profil n° 4	
7-8-45	2,375	275,4	Profil n° 1	
11-8-45	2,73	391,0		
13-8-45	3,105	480,5		

Date	Echelle	Débit	Cotes P.C.S.
16- 8-45	3,44	{ 557,9	Cote indiquée 289.887 ?
17- 8-45	3,55	{ Bras n° 1 : 139.8	
19- 8-45	3,95	718,6	Cote indiquée 291.481 ??
22- 8-45	4,525	941,7	
28- 8-45	5,04	1 119,0	Echelle n° 4 Zéro : 286.44
1- 9-45	4,93	{ 1 076,0	
5- 9-45	5,06	{ Bras n° 1 : 252.7	Profil n° 2
9- 9-45	5,28	1 155,7	
13- 9-45	5,17	1 287,3	
19- 9-45	5,20	{ 1 198,0	
26- 9-45	5,375	{ Bras n° 1 : 269.62	
3-10-45	5,47	1 210,4	
10-10-45	5,45	1 310,3	
14-10-45	5,46	1 381,6	
		{ Bras n° 1 : 301.3	
		1 350,3	
		1 362,8	

N.B. Le profil n° 1 se trouve en face de KARA sur le DIAKA.

N.B. Le profil n° 2 se trouve sur le bras gauche du NIGER, en amont du DIAKA. Une mesure est effectuée en même temps sur le bras qui passe devant DIAFARABE; la différence constitue l'apport au DIAKA.

0 - LA STATION DE DIAKERA SUR LE DIAKA -

Coordonnées géographiques : Latitude 14° 13' N
Longitude 5° 00' W

Cette échelle se trouve sur la rive gauche du DIAKA, à 7 km environ en aval de KARA, un peu avant le village de DIAKERA.

Elle a été installée, comme celle de KARA, en Mai 1952, date à partir de laquelle nous possédons des observations régulières. Le zéro de l'échelle rattaché au nivellement général a une cote égale à 266,89 m.

Vis-à-vis de KARA, l'échelle de DIAKERA joue le rôle d'une station permettant d'évaluer la pente du DIAKA pour la comparer à celle du NIGER.

Compte tenu de ce rôle limité, il n'y a que 2 lectures hebdomadaires effectuées par l'observateur de KARA.

L'amplitude annuelle oscille entre 5 m et 5,30 m.

D - STATION DE SARAFERE SUR LE BARA-ISSA -

Coordonnées géographiques : Latitude 15° 49' N
Longitude 3° 42' W

Peu après la confluence du KOLI-KOLI et grossièrement à mi-chemin entre le lac DEBO et DIRE, nous trouvons SARAFERE, gros village planté sur la rive droite du BARA-ISSA. On y a installé en 1954 la seule échelle sur cet effluent.

Deux bretelles de nivellement, l'une venant de MOPTI par KORIENTZE, l'autre depuis NIAFUNKE, aboutissent toutes deux à SARAFERE et ont permis le rattachement au nivellement général de cette échelle dont le zéro est à la cote 259,015 m (I.G.N.).

Cette station facilite l'étude de la propagation de la crue et l'évaluation du débit transitant par le BARA-ISSA. Depuis 1954, 23 mesures de débits y ont été effectuées.

N°	Date	Hauteur en mètres	Q m ³ /s
1	21- 2-1954	5,52	161
2	8- 6-	1,12	10
3	22- 8-	3,60	180
4	9- 9-	4,12	235
5	15-10-	4,80	320
6	5-11-	5,11	335
7	18-12-	5,61	365
8	28- 1-1955	5,49	422
9	22- 3-	4,34	133
10	20- 4-	3,13	104
11	5- 6-	1,46	21,5
12	5- 8-	3,30	126
13	4- 9-	4,08	198
14	26- 9-	4,55	282
15	13-12-	5,61	395
16	30- 5-1956	1,10	10
17	23- 8-1957	3,38	145
18	21- 9-	4,24	212
19	12-10-	4,68	284
20	25-11-	5,28	375
21	9- 4-1958	3,38	58
22	2- 8-	3,18	124
23	10-11-	4,94	296

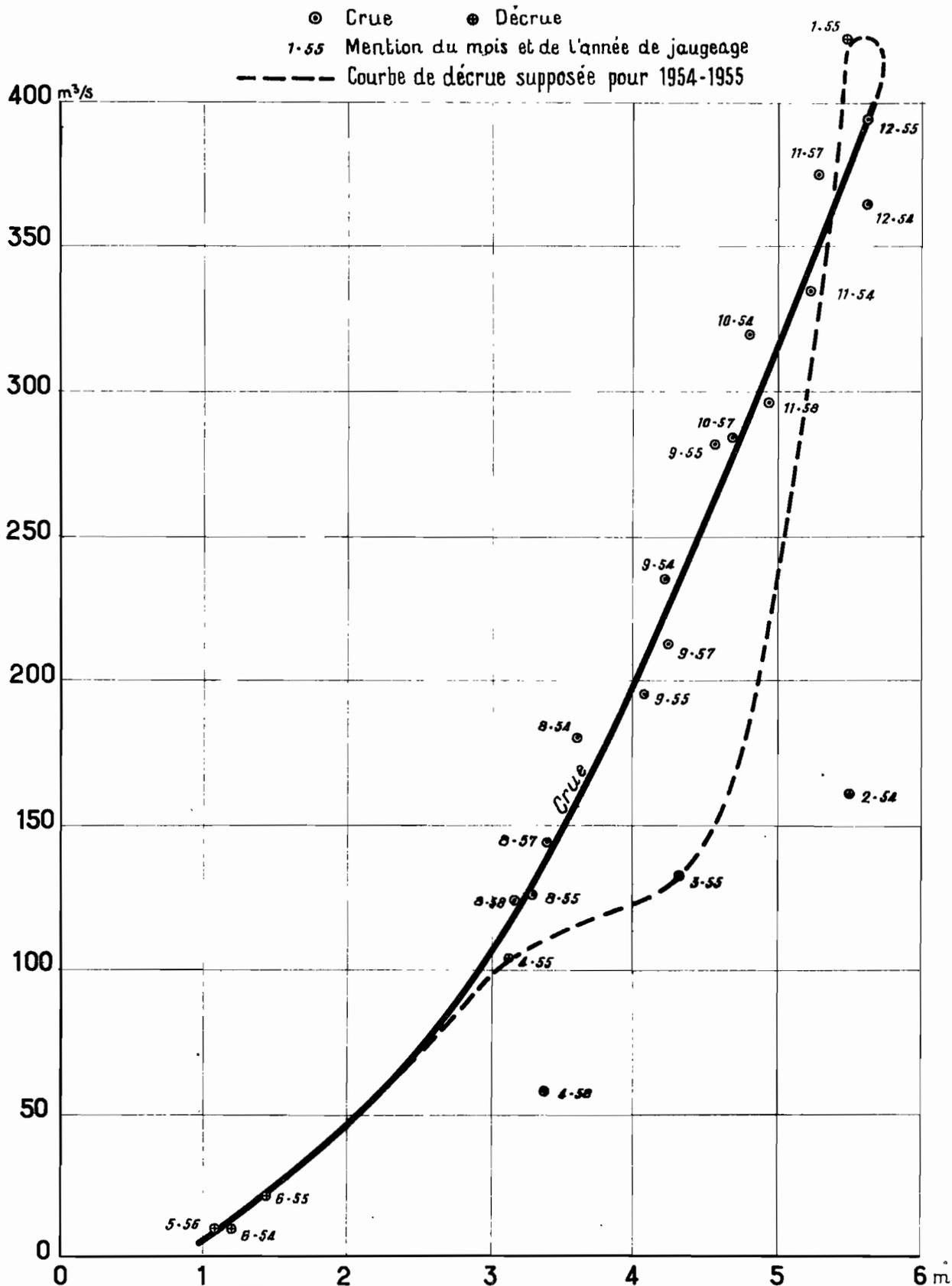
A leur examen on constate rapidement que les variations de pente du BARA-ISSA sont au moins aussi importantes que celles du NIGER (ou de l'ISSA-BER). Comme aux autres stations affectées pareillement, il faut tracer une branche supérieure de crue pour l'étalonnage, branche sensiblement fixe d'une année à l'autre. Il semble, par contre, que la branche descendante de décrue n'ait pas un tracé immuable, comme le suggère le graphique n°26 où sont reportés tous les jaugeages.

Cettebranche n'est assez bien connue que pour la crue 1954-1955 (5 mesures en crue, 4 en décrue). On constate que le jaugeage n° 8 de Janvier 1955 donne pour 5,49 m, en décrue, et 15 cm en dessous du maximum, un débit de 422 m³/s

COURBE D'ÉTALONNAGE

Gr_26

Le BARA-ISSA à SARAFÉRE



NIG_9944

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: DEC. 60

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

A1

supérieur à celui mesuré en Décembre 1954 pour 5,61 m (n° 5 - 365 m³/s) en période de crue. Il faut donc supposer que le maximum de pente ne se produit pas, ni avant le maximum de hauteur (comme à MOPTI), ni en même temps (comme à TONKA et DIRE), mais en retard sur lui de sorte qu'au début de la décrue les débits sont plus élevés qu'en fin de crue et que la courbe d'étalonnage présente une boucle supérieure qui lui donne l'aspect d'un "8" étiré.

La variabilité de la branche descendante de décrue nécessiterait des jaugeages chaque année si l'on voulait connaître exactement les débits. Cela n'a pas été possible jusqu'ici, depuis 1955. En effet, SARAFERE n'est accessible pratiquement que par voie d'eau. Depuis DIRE, il y a 100 km environ de parcours au milieu d'un lacis quasi inextricable de chenaux où l'on se perd facilement. Devant ces difficultés, il serait peut-être judicieux d'implanter des échelles de pente supplémentaires qui réduiraient les jaugeages à effectuer.

Actuellement, nous n'avons pu traduire systématiquement les hauteurs en débits. Nous ne connaissons qu'un ordre de grandeur des volumes charriés par le BARA-ISSA, ce qui est d'ailleurs suffisant pour une étude générale de la zone lacustre.

Ajoutons, enfin, que l'amplitude annuelle à SARAFERE est comprise entre 4,50 m et 5 m.

E - STATION DE TONDIGAME SUR LE LAC FATI -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 15' N
Longitude 3° 39' W

Cette échelle fut installée en 1955, dans la partie centrale du lac, sur la rive orientale au pied du Mont FATI. Elle permet de suivre les variations du plan d'eau du lac en fonction de celles de l'ISSA-BER à TINDERMA. Le marnage est de l'ordre de 4 mètres.

Ajoutons qu'en 1957 et 1958, les lacs TELE et FAGUIBINE ont été eux aussi dotés d'échelles limnimétriques implantées respectivement à ALFAO (16° 38' N - 3° 45' W) et M'BOUNA (16° 41' N - 3° 59' W).

F - STATION DE GOUNDAM SUR LE MARIGOT DE GOUNDAM -

Coordonnées géographiques : Latitude 16° 25' N
Longitude 3° 39' W

Valorisation des relevés anciens -

La première échelle de GOUNDAM, dont nous ayons récupéré les relevés, date de 1931 ; elle a été posée par l'Office du NIGER et son zéro est à la cote 255,82 m par rapport au nivellement général. Elle est située en rive droite du marigot, juste amont du pont ; la concavité du lit y occasionne des alluvionnements importants qui ont conduit à abandonner cette échelle toujours ensablée.

En Août 1956, la MEAN procédait à l'installation d'une échelle sur une pile du pont ; malheureusement le débouché étant trop faible, il se créait un remous en hautes eaux et l'échelle se trouvait alors dans la zone critique d'écoulement ; le gradient de montée devenait inférieur à celui observé sur le plan d'eau amont.

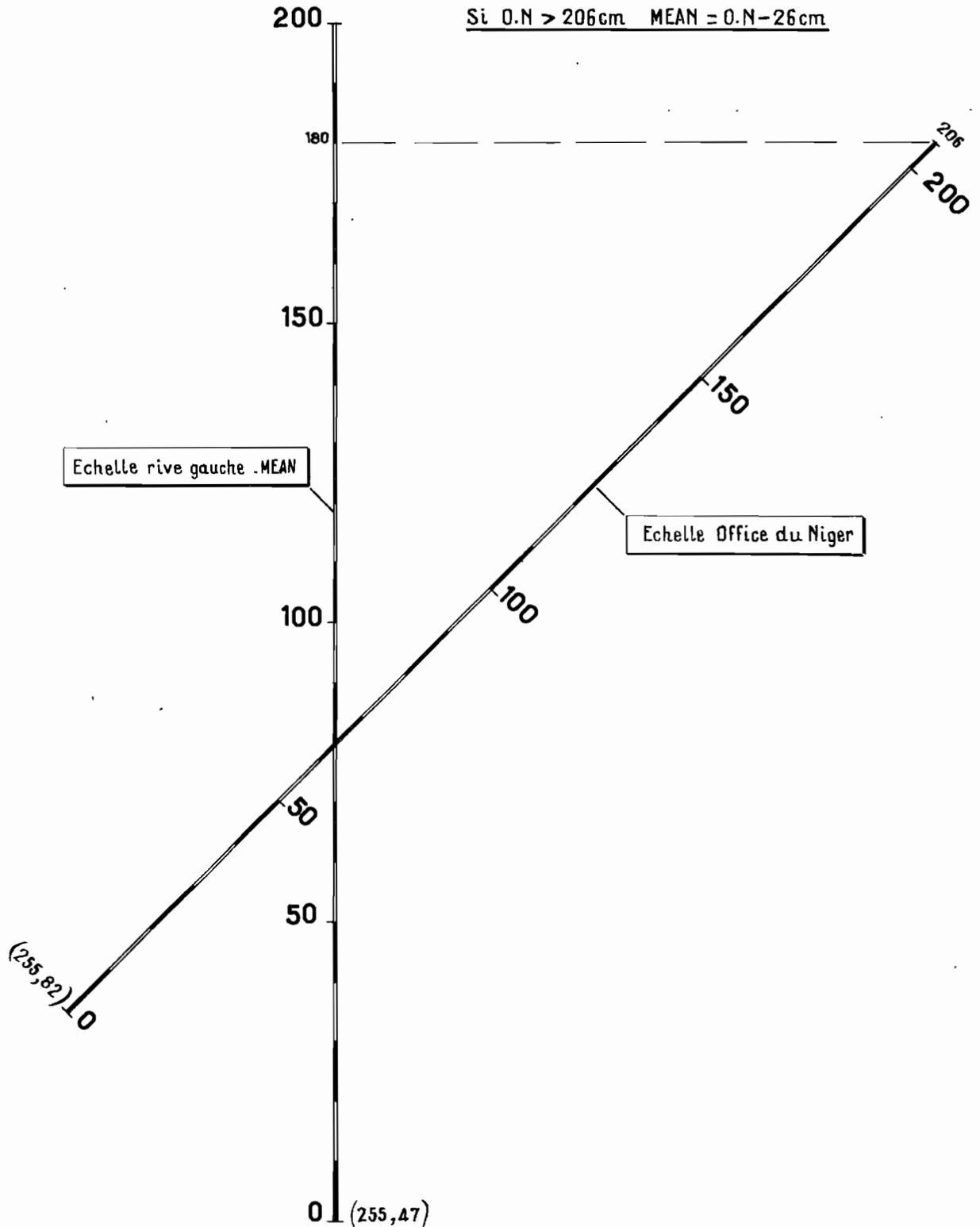
Pour pallier cet inconvénient, une échelle définitive a été placée en 1957, 50 mètres en amont du pont sur la rive gauche. Son zéro est à la même cote que celui de l'échelle du pont, à savoir 255,47 m. Mais cet écart de 0,35 m avec l'ancienne échelle de l'Office du NIGER n'est pas uniforme ; en effet, cette dernière n'était verticale qu'au dessus de 2,06 m, l'élément inférieur étant incliné à 45 °, de telle sorte que l'écart entre les 2 échelles varie avec la hauteur de l'eau.

Le graphique (n°27) joint permet de suivre les variations de cet écart : la quantité à ajouter aux relevés anciens pour les aligner sur les cotes actuelles est maximale pour le zéro et égale à 35 cm, puis elle diminue régulièrement et s'annule pour 1,20 m ; il faut ensuite retrancher des relevés anciens une quantité croissante jusqu'à 2,06 m où elle vaut 0,26 m et reste constante au-delà, les parties supérieures des 2 échelles étant verticales.

$$\text{Pour } H_{O.N} > 2,06 \text{ m}$$

$$H_{RG} = H_{O.N} - 0,26$$

CORRESPONDANCE ENTRE LES ÉCHELLES DE GOUNDAM Office du Niger et rive gauche



Les corrections correspondantes ont été faites sur les relevés anciens, dont voici le détail chronologique :

- a) Période de Juillet 1931 à Juillet 1933 : manque la période d'Octobre 1931 à Mars 1932.
- b) Relevés complets de 1935 à 1940 inclus.
- c) Relevés sporadiques de 1941 à 1947, mais les mois de hautes eaux sont complets pour les crues 1941-1942, 1942-1943 et 1945-1946.
- d) Reprise des relevés en Septembre 1951 et continuation sans hiatus depuis lors.

Pour la période d'Août 1956 à Juin 1957, qui couvre entièrement la crue 1956-1957, il faut transformer les cotes lues à l'échelle du pont en hauteurs par rapport à la nouvelle échelle rive gauche. Des relevés simultanés aux 2 échelles en 1957 ont permis d'établir le mode de transformation :

- pas de correction en dessous de 1 m
- corrélation linéaire au-delà entraînant une augmentation régulière qui atteint 0,32 m pour 3,00 m à l'échelle du pont en passant par :

0,08 m	-	1,50 m
0,16 m	-	2 m
0,24 m	-	2,50 m

c'est-à-dire que pour $H_{\text{PONT}} > 1,00$ m, on a

$$H_{\text{R.G.}} = 1,16 H_{\text{P}} - 0,16$$

Jaugeages -

GOUNDAM, station hydrométrique importante puisqu'elle voit passer la totalité des apports aux lacs TELE et FAGUIBINE, a fait l'objet de nombreux jaugeages.

Lors de la crue 1937-1938, l'Office du NIGER a effectué 9 mesures de débits. De 1954 à 1958, la MEAN en a porté le nombre à trente-sept.

En voici la liste :

N°	Date	Hm	Q m ³ /s	N°	Date	Hm	Q m ³ /s
1	:25- 4-37:	0.42:	1,5	19	: 6- 9-57:	0.74:	10,8
2	:10- 9-37:	0.73:	3,4	20	:17-10-57:	1.10:	29,5
3	:27- 9-37:	0.89:	8,5	21	:30-10-57:	1.17:	34,0
4	:15-10-37:	1.08:	22,1	22	:16-11-57:	1.32:	48,0
5	: 6-11-37:	1.17:	32,9	23	: 7-12-57:	1.80:	97,0
6	:25-11-37:	1.28:	33,4	24	:25-12-57:	2.58:	215,0
7	:18- 1-38:	1.50:	69,0	25	:14- 1-58:	3.10:	293,0
8	:26- 2-38:	0.99:	14,0	26	:27-11-57:	1.50:	57,5
9	:19- 3-58:	0.67:	1,4	27	: 3- 4-48:	1.32:	36,2
10	:13- 1-54:	3.15:	311,0	28	:20- 5-58:	0.24:	0,48
11	: 4- 4-54:	1.32:	40,0	29	:29- 5-58:	0.19:	0,29
12	: 2- 8-54:	0.81:	4,7	30	:21- 8-58:	0.76:	11,5
13	:25- 8-54:	1.17:	14,0	31	: 5- 9-58:	0.90:	23,9
14	: 8- 9-54:	1.29:	46,0	32	: 7-10-58:	1.15:	41,3
15	:27-10-54:	1.52:	72,0	33	:25-11-58:	1.52:	74,0
16	: 7- 1-55:	3.32:	310,0	34	: 5-12-58:	1.65:	80,0
17	: 3- 2-55:	3.26:	313,0	35	:20-12-58:	1.91:	104,0
18	:14- 3-55:	2.12:	108,0	36	:21- 1-59:	2.23:	176,5
	:	:	:	37	:24- 2-59:	1.59:	83,8

La concordance des résultats obtenus à partir des mesures de l'Office du NIGER et des mesures récentes milite en faveur d'une stabilité relative de la section du marigot.

Cependant pour des hauteurs inférieures à 1,40 m, c'est-à-dire en basses et moyennes eaux, une dispersion notable peut être observée à l'examen détaillé de la répartition des jaugeages.

Systématiquement les mesures de la MEAN effectuées depuis 1954, environ un an après l'achèvement du pont, conduisent à des débits supérieurs à ceux obtenus pour les mêmes hauteurs, par l'Office du NIGER en 1937-1938.

L'étroitesse du débouché du pont, déjà signalée, favorise une mise en vitesse lors des hautes eaux et un creusement accru du chenal devant mener à des débits plus élevés pour les mêmes cotes, particulièrement en basses eaux. Ce creusement artificiel vient ajouter son action à l'érosion naturelle à laquelle est soumis le marigot de GOUNDAM (pente de 10 à 20 cm/km), érosion régressive depuis le lac TELE.

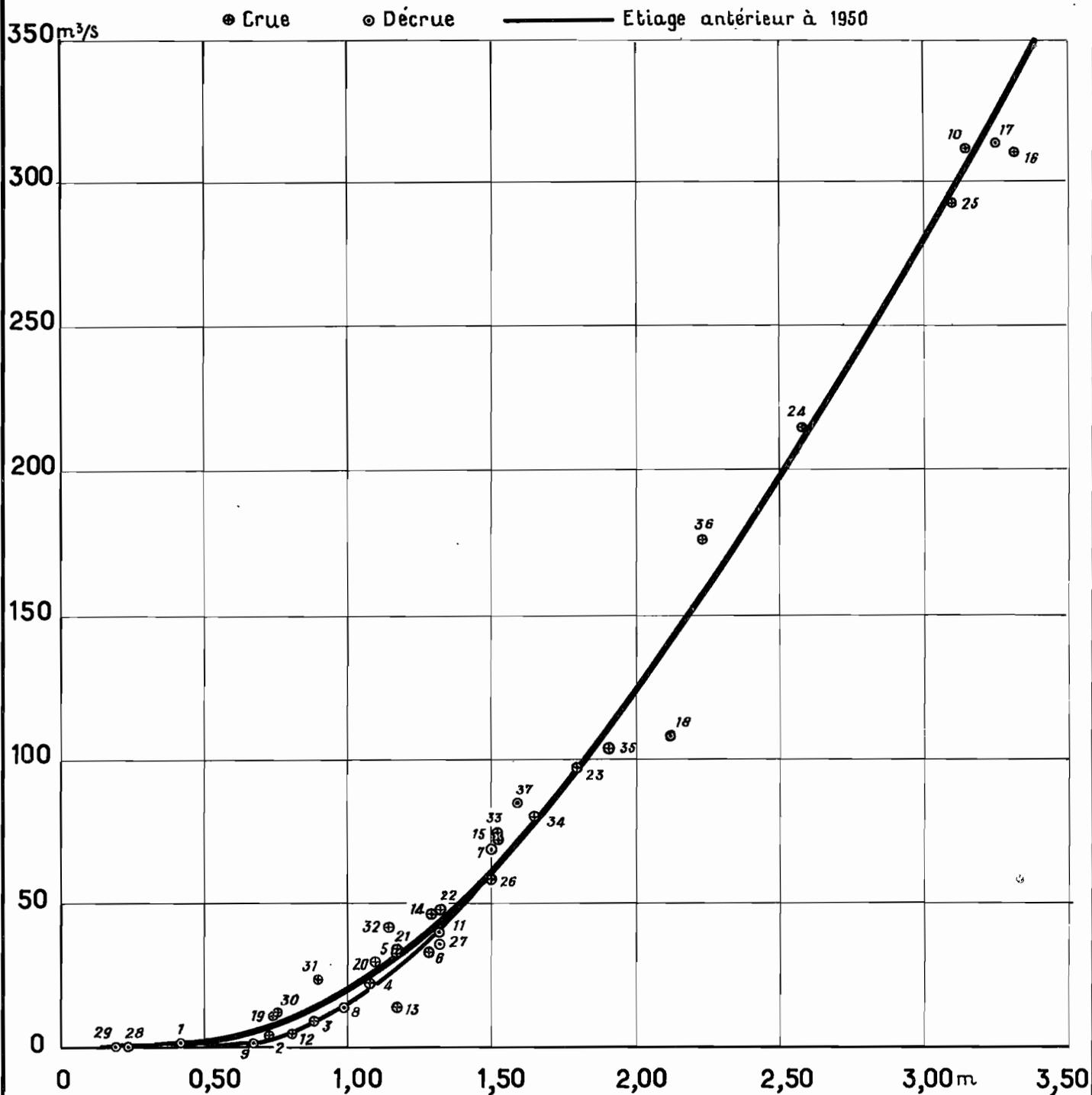
Si pour toutes les années récentes, de 1951 à 1958, nous avons pu admettre le choix d'une courbe de tarage unique, nous avons dû y renoncer pour les relevés anciens. L'utilisation d'un tel barème hauteurs-débits aurait conduit à des étiages permanents pour une décennie (1935-1945) de faible hydraulicité alors que l'observation au cours des années récentes abondantes a prouvé l'arrêt de l'écoulement, au moins durant 6 semaines, en moyenne.

Appuyée sur les 9 mesures de 1937-1938, une courbe de tarage pour les années antérieures à 1950 a été tracée (Graphique n° 28) en dessous de la courbe actuelle. Elle donne, pour des hauteurs inférieures à 1,40 m, des débits plus faibles que la courbe actuelle.

L'amplitude annuelle des oscillations du marigot de GOUNDAM est très variable : depuis 1,50 m pour les faibles crues jusqu'à 3,50 m lors des années très abondantes.

COURBE D'ÉTALONNAGE

Le marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

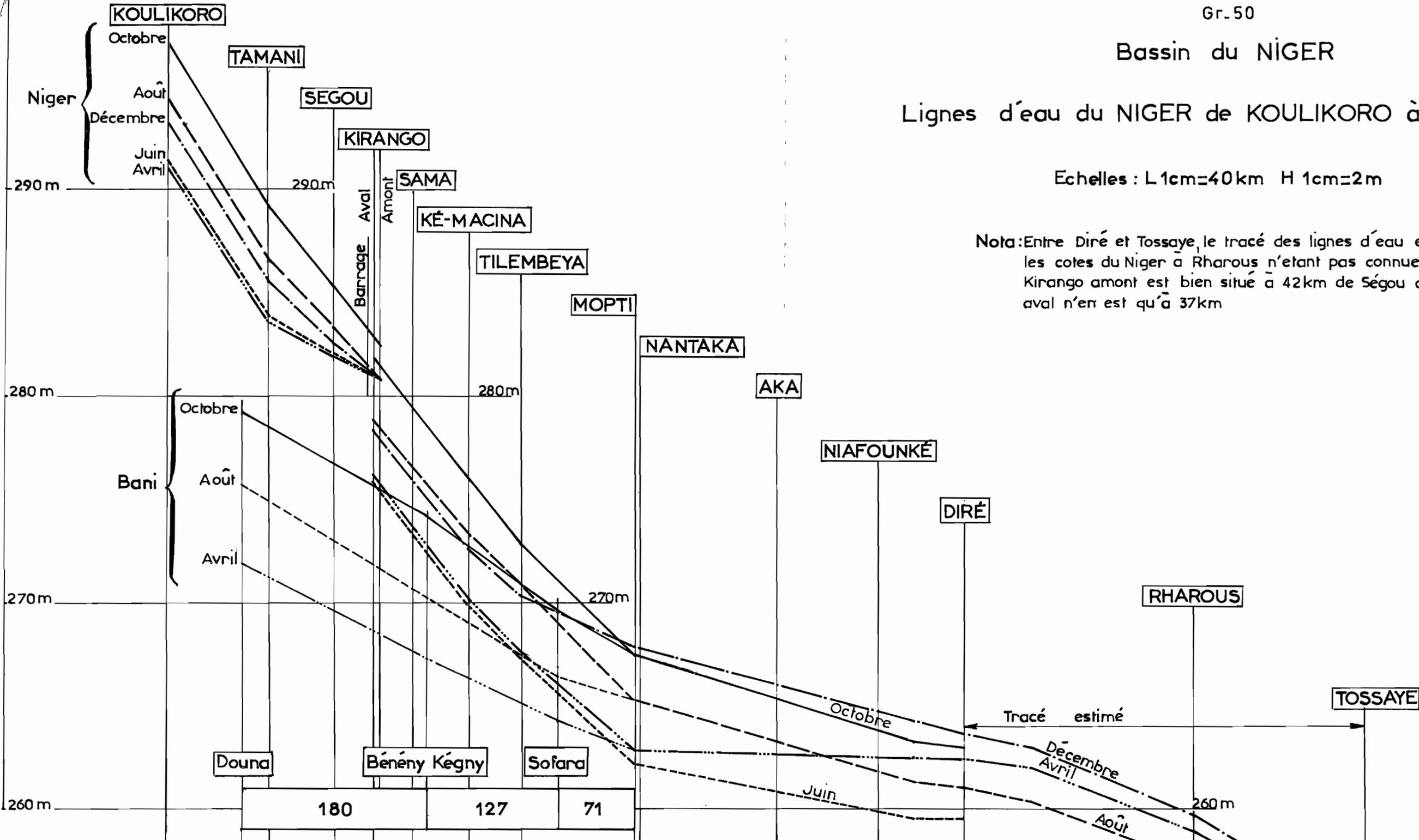


Bassin du NIGER

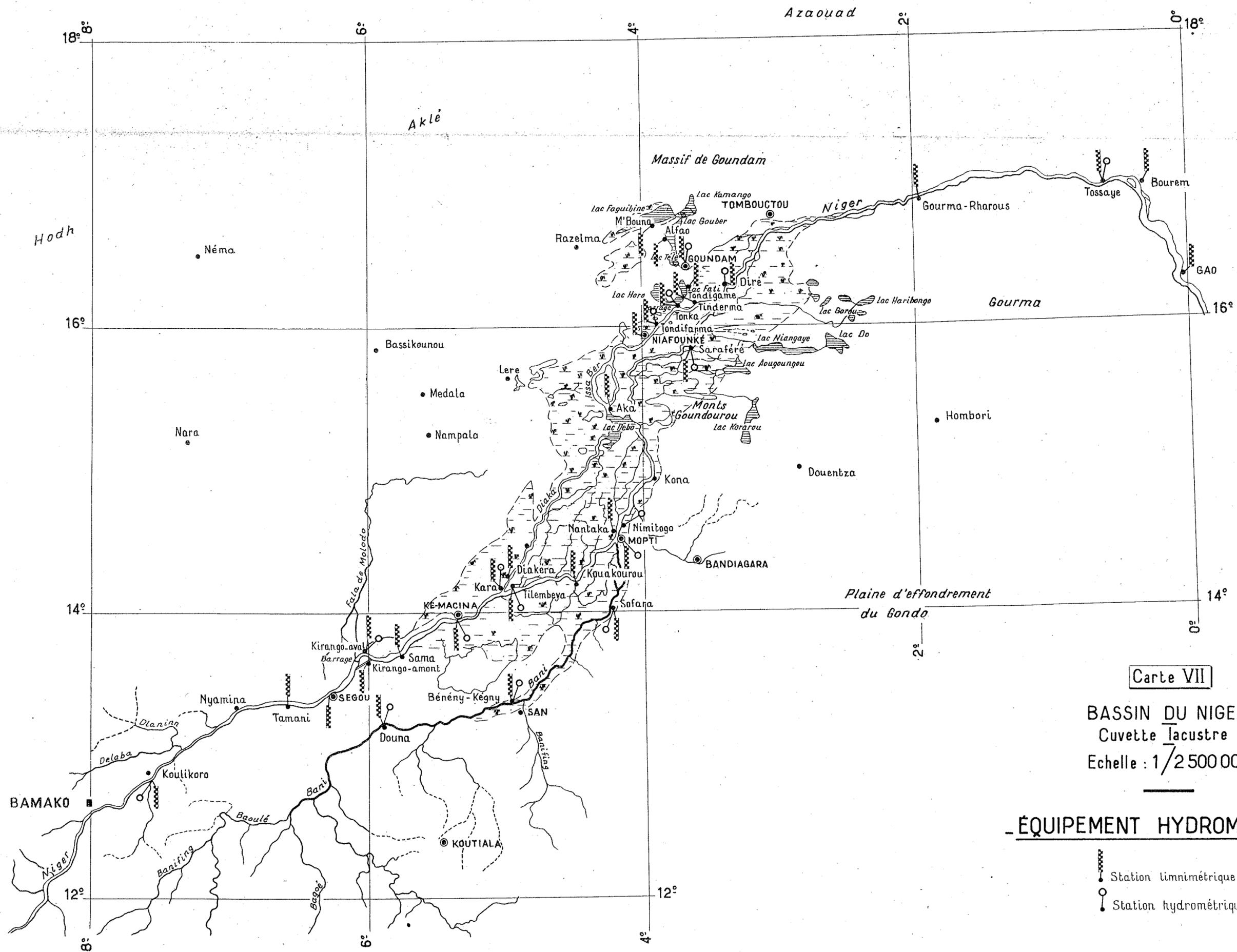
Lignes d'eau du NIGER de KOULIKORO à TOSSAYE

Echelles : L 1cm=40km H 1cm=2m

Nota: Entre Diré et Tossaye, le tracé des lignes d'eau est une estimation; les cotes du Niger à Rharous n'étant pas connues (en valeurs I.G.N.) Kirango amont est bien situé à 42km de Ségou alors que Kirango aval n'en est qu'à 37km



Cotes de crue	297,12	279,29	289,16	285,37	274,08	275,79	272,75	269,70	267,88	263,70	255,03
Cotes d'étiage	290,83	271,55	283,25	281,77	266,74	269,77	267,56	263,42	262,10	259,29	252 env.
Distances partielles km	102	65	37	38	55	50	110	133	98	83	224
Zéros des échelles	290,08	270,71	282,36	279,46	265,92	268,79	268,82	262,76	260,61	257,66	256,84



Carte VII

BASSIN DU NIGER
 Cuvette lacustre
 Echelle : 1/2 500 000

ÉQUIPEMENT HYDROMÉTRIQUE

- Station limnimétrique
- Station hydrométrique

NIG_9918

CONCLUSION -

Nous venons de nous livrer à un examen détaillé des stations limnimétriques du delta central Nigérien.

Nous avons vu qu'à certaines stations des jaugeages avaient permis la transformation des hauteurs en débits avec plus ou moins de précision, et qu'en outre, les périodes d'observations variaient d'un point à l'autre.

Pour l'étude du régime hydrologique, on peut extraire 2 groupes de stations :

a) Les stations principales -

- KOULIKORO (pour mémoire) qui reste la plus précise et la plus ancienne.
- TILEMBEYA, bonne station de base du NIGER, après l'amputation du DIAKA, dont les relevés sont excellents depuis 1939, mais moins précis pour la période 1922-1929.
- MOPTI, station fondamentale de la confluence NIGER-BANI, au centre de la cuvette lacustre, dont les débits sont d'une précision moyenne à cause des difficultés de jaugeages.
- DIRE, à la sortie du delta central, est certainement la meilleure station après KOULIKORO.

b) Les stations secondaires -

- KIRANGO, où des difficultés d'harmonisation entre les relevés anciens et récents ne permettent pas une bonne précision.
- KE-MACINA, station récente n'ayant pas fait l'objet d'une étalonnage complet.
- KARA, qui évalue l'effluence du DIAKA avec une précision correcte appuyée sur les relevés du TILEMBEYA.
- GOUNDAM, station aux relevés incomplets et à l'étalonnage d'une précision moyenne sur le marigot de GOUNDAM.