

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

RÉPUBLIQUE DU MALI

AMÉNAGEMENT des lacs TÉLÉ et FAGUIBINE



Etudes hydro-climatiques

par

P. DUBREUIL

Maitre de Recherches à l'ORSTOM

JANVIER 1961

AMENAGEMENT des Lacs TELE et FAGUIBINE

ETUDES HYDRO-CLIMATIQUES

par

P. DUBREUIL

Maître de Recherches à l'ORSTOM

Janvier 1961

S O M M A I R E

Pages

1ère PARTIE - ETUDES HYDROLOGIQUES

Chapitre I	- La crue en 1959-50	3
Chapitre II	- Variation du niveau des lacs ...	10
Chapitre III	- Les débits solides en suspension	14
Chapitre IV	- Salinité des eaux	25

2ème PARTIE - ETUDES CLIMATIQUES

Chapitre I	- Le climat dans la région des lacs rive gauche	41
Chapitre II	- Les précipitations	53
Chapitre III	- Evaporation	59
Chapitre IV	- Etude de la nappe riveraine du Lac TELE	63

AVANT - PROPOS

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer a été chargé, par le Ministère des Travaux Publics de la République du MALI, d'études hydro-climatiques dans la région Nord-du delta intérieur du fleuve NIGER. Une convention par entente directe prévoyait la présence sur les lieux d'observations d'un agent technique hydrologue du 1er Janvier 1959 à la fin du premier semestre 1960.

Les études dans cette région ont déjà fait l'objet de deux rapports :

- en Février 1958 "Etude hydrologique succincte du réseau d'alimentation des lacs TELE et FAGUIBINE"
- en Avril 1959 "Région du KESSOU - Note hydrologique".

Ce dernier rapport, très complet, précisait et complétait la précédente étude succincte ; en outre, il fournissait l'essentiel des résultats sur la campagne de nivellement de 1959 et les conclusions relatives à l'étude des pentes du système alimentaire des lacs.

Cette campagne topographique a occupé notre hydrologue, M. GOUSTARD, jusqu'en Avril 1959. A partir de Mai, il a commencé les installations relatives aux études prévues dans la convention :

- 2 stations météorologiques à GOUNDAM et M'BOUNA
- Une dizaine de pluviomètres totalisateurs dans la région.
- Une station de contrôle de la nappe phréatique du TELE, munie de plusieurs piézomètres.

L'hivernage, d'une part, la crue dans le KESSOU, d'autre part, ont pu être observés entièrement. Les mesures climatologiques ont couvert une période de 10 mois, de

Juin 1959 à Avril 1960, date à laquelle l'arrêt des études nous a contraint au déménagement et au retour sur BAMAKO de l'ensemble du matériel.

Le présent rapport rend compte des résultats obtenus durant cette année d'études dans les domaines climatique et hydrologique, conformément au plan qui figure à la page suivante.

L'étude de corrélation des observations météorologiques prévue dans la convention (année 1959) et celle des diverses mesures hydrologiques envisagée dans l'avenant n° 1 (1er semestre 1960) sont réunies dans ce rapport.

1 ère PARTIE

ETUDES HYDROLOGIQUES

CHAPITRE 1er - LA CRUE DE 1959-60

Les observations dans la région du KESSOU, au cours de l'année hydrologique 1959-60, ont été menées conjointement par notre hydrologue M. GOUSTARD et par le chef de la brigade hydrologique de DIRE. Nous en donnons les résultats dans ce 1er chapitre que nous considérons essentiellement comme un complément au rapport d'Avril 1959 "Région du KESSOU - Note Hydrologique".

On se reportera donc à ce dernier pour la description de la région et de son hydrographie, pour le schéma de circulation des eaux, l'étude des pentes superficielles et le détail du réseau d'échelles et des mesures de débits.

A - La CAMPAGNE de JAUGEAGES et les MODIFICATIONS des ETALONNAGES

a) Le marigot de KONDI à BOUREM

En plus des 29 mesures figurant au tableau 4 du rapport précédent, 4 nouveaux jaugeages ont été effectués (trois seulement concernent la crue 1959-60) ; les voici :

N°	Date	Hm	Q m ³ /s
30	16-2-59	3,32	19,4
31	29-9	3,05	18,1
32	12-11	3,15	37,3
33	7-3-60	2,61	# 0

On obtient pour les hautes eaux, au-delà de 3 m,05, des débits plus élevés qu'au cours des années pré-

cédentes. Il se vérifie qu'il ne peut y avoir de courbe de tarage stable à cette station. La détermination de l'hydrogramme de crue a été effectuée directement à partir des résultats des jaugeages.

b) Le marigot de KONDI à KANEYE

Avant 1959, 17 mesures de débit y ont été faites toutes rattachées à l'échelle de GOUNDAM; mais la relation n'était pas univoque à cause de la crue du TASSAKANT qui ne permettait pas aux hydrogrammes de KANEYE et de GOUNDAM d'être affines. L'échelle de KANEYE a été installée au début de 1959, pour le tronçon de hautes eaux; l'élément d'étiage ne fut mis en place que 6 mois plus tard environ. Il semble que les éléments métriques utilisés à cet effet aient servi préalablement pour les hautes eaux; l'observateur s'est embrouillé dans ses lectures. Nous avons effectué les corrections les plus plausibles avec l'allure de l'écoulement pour les cotes de 2 jaugeages⁽¹⁾ qui figurent avec des points d'interrogation dans le tableau ci-dessous (lequel prolonge le tableau n° 5 du précédent rapport).

N°	Date	Hm	Q m ³ /s
18	28-9-59	1,37	14,4
19	19-10	1,61	24
20	1-11	1,82 ?	30,8
21	10-11	1,88	36,5
22	14-12	3,54 ?	44,7
23	3-2-60	1,42	33,7
24	13-2	1,10	28,3
25	2-3	0,49	13,4
26	5-3	0,35	12,2

Le tracé d'une courbe d'étalonnage avec ces 9 mesures est assez délicat pour la partie haute, car il semble qu'au delà de 2 m à l'échelle le débit n'augmente presque plus avec la hauteur, laquelle s'élève à 3 m,96 (le 14 Janvier 1960). On constate aussi que les débits sont plus élevés en décrue qu'en crue. Il est vraisemblable-

(1) effectués par un aide hydrologue de la M.E.A.N.

ble que les anomalies présentées par ce tarage sont imputables à la proximité du confluent avec le marigot de TASSAKANT, qui entraîne des perturbations dans les pentes de l'eau.

L'établissement de l'hydrogramme a été réalisé directement à partir des résultats de jaugeages.

Cette façon de procéder, comme à BOUREM, n'offre pas d'inconvénient, les variations de hauteurs d'eau étant lentes et régulières.

c) Le marigot de TASSAKANT à DJIN-DJIN

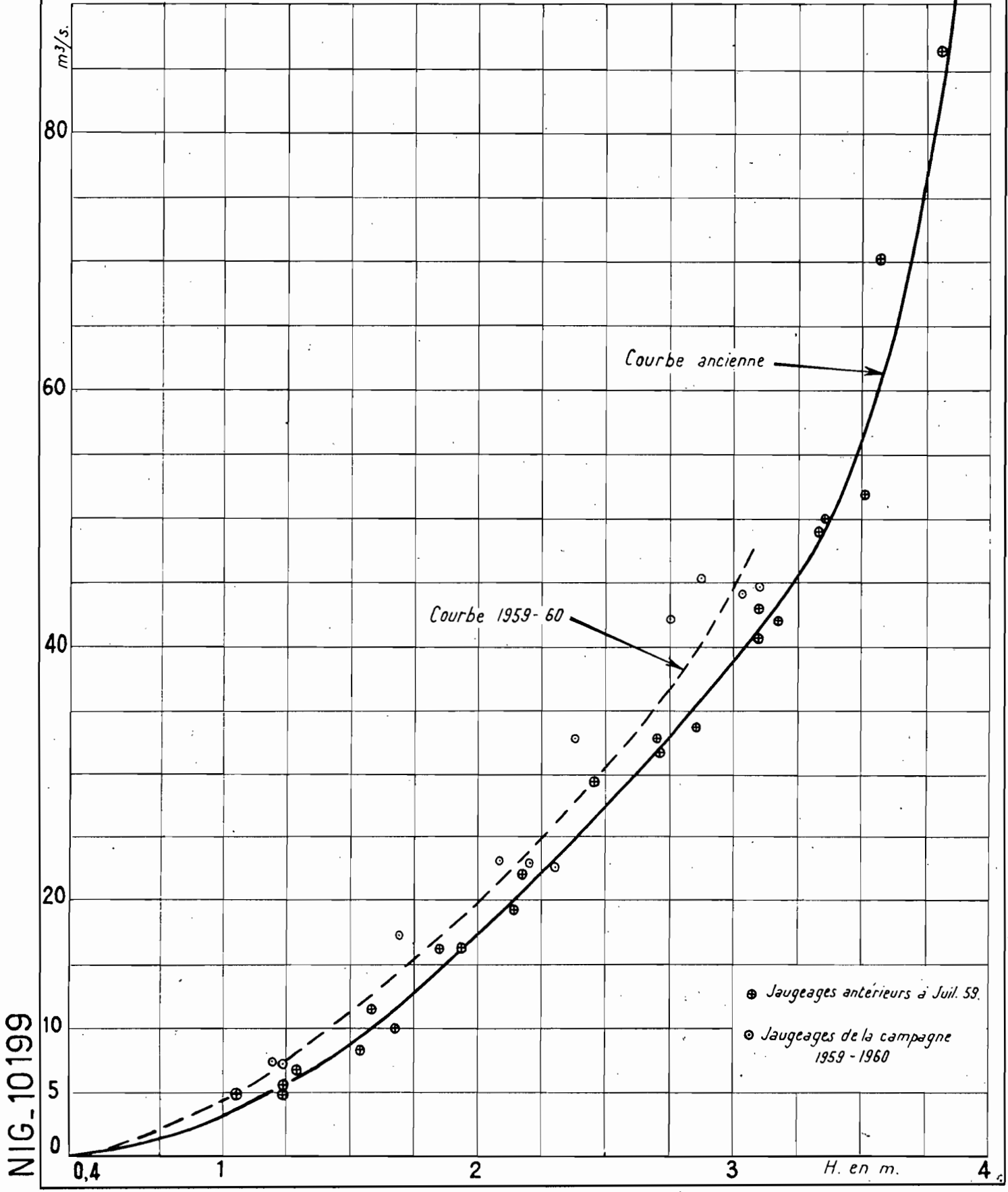
Onze mesures de débits effectuées durant la campagne 1959-60 viennent s'ajouter aux 26 anciennes. Elles se placent toutes au-dessus de la courbe de tarage déjà établie ; l'écart est de l'ordre de 2 à 4 m³/s, ce qui correspond à un accroissement d'environ 20 % pour les basses eaux et de 10 % pour les hautes eaux (vers la cote 3 m). Nous avons décidé de tracer une nouvelle courbe d'étalonnage pour la crue 1959-60 (graphique n° 1). Voici la liste des jaugeages responsables de cette modification :

N°	Date	Hm	Q m ³ /s
27	28-8-59	1,20	7,4
28	18-9	1,69	17,3
29	20-10	2,08	23,2
30	10-11	2,38	33
31	1-12	2,77	42,4
32	14-12	3,03	44
33	3-2-60	3,10	44,7
34	15-2	2,87	45,4
35	4-3	2,30	23
36	5-3	2,20	23
37	21-3	1,24	7,4

(le numérotage a été effectué en prolongement du tableau n° 6 du rapport d'Avril 1959).

STATION DE DJIN-DJIN

Courbe d'Etalonnage



NIG_10199

⊕ Jaugeages antérieurs à Juil. 59.
○ Jaugeages de la campagne 1959-1960

d) Le marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

Nous y avons constaté un phénomène de même ordre qu'à DJIN-DJIN. Cet accroissement des débits pour une cote donnée à l'échelle s'était déjà manifesté en 1957 et 1958 ; l'écart n'était pas encore suffisant pour qu'il vaille la peine d'être retenu. Il n'en est plus de même cette année. Les 9 mesures effectuées conduisent au tracé d'une nouvelle courbe de tarage dont l'écart avec la précédente oscille entre 20 et 30 m³/s ; un tel excédent est considérable puisqu'il correspond à 100 % du débit des basses eaux (en-dessous de 1 m à l'échelle) et à 25 % pour les moyennes eaux (2 m à l'échelle, cote non dépassée en 1959-60). Nous ne savons évidemment pas si l'écart se maintient pour des cotes voisines de 3 mètres.

Nous avons adopté, comme à DJIN-DJIN, une courbe unique pour crue et décrue. Les fortes pentes (entre 10 et 25 cm/km) dans les biefs de ces stations justifient ce choix. Il est d'ailleurs vraisemblable que l'érosion active dans cette partie aval du KESSOU, comme en témoignent ces pentes et les mesures de débits solides (Cf Chapitre II), concourt au creusement des lits et, par suite, aux variations observées dans les courbes de tarage (graphique n° 2).

La présence de l'obstacle créé par les piles du pont de GOUNDAM augmente le creusement du chenal à cette station et peut partiellement expliquer le fait que l'accroissement des débits y soit relativement plus intense qu'à DJIN-DJIN.

Venant s'ajouter aux 37 mesures figurant au tableau n° 3 du rapport d'Avril 1959, voici la liste des 9 jaugeages de cette campagne :

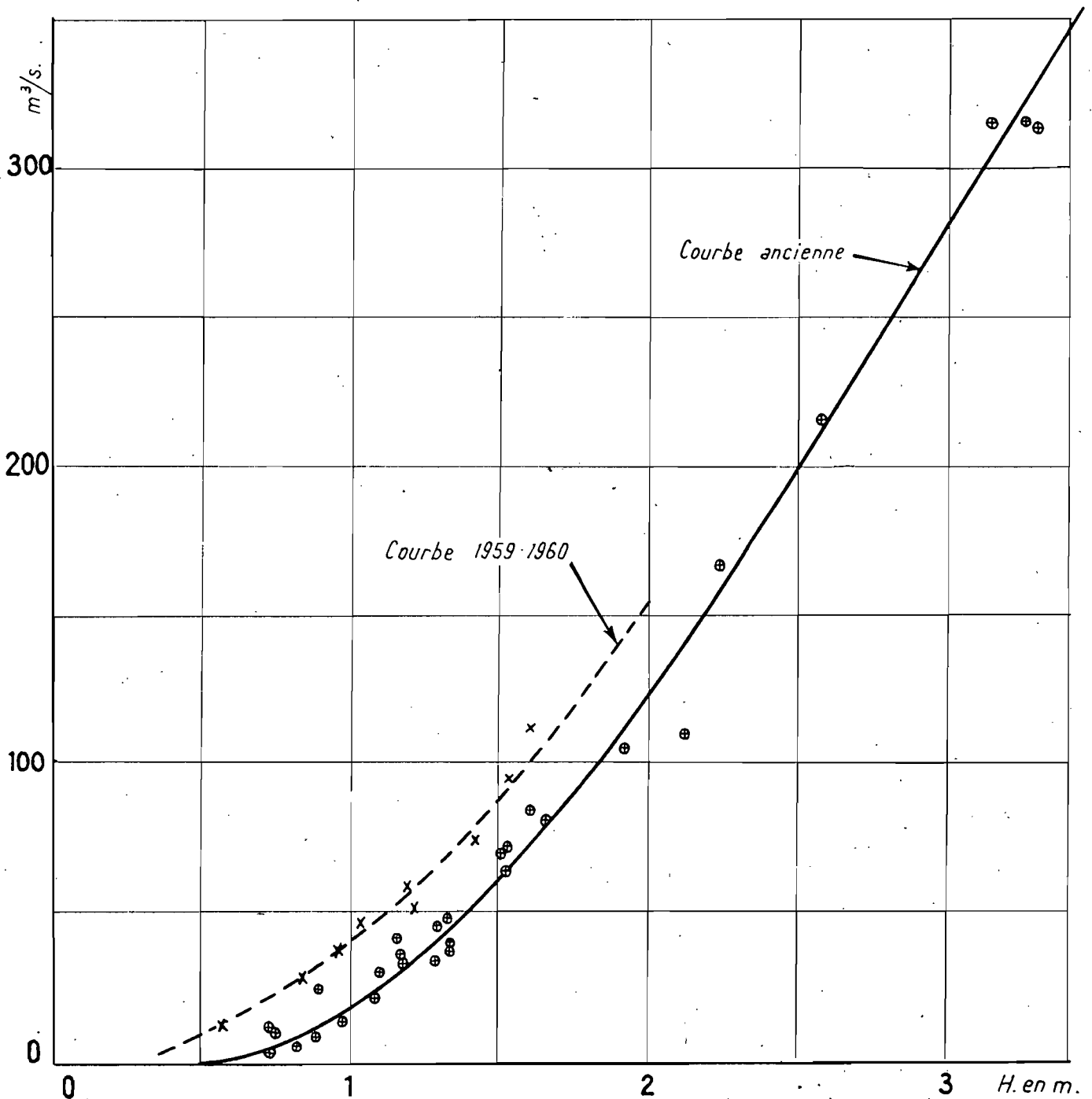
N°	Date	Hm	Q m ³ /s
38	28-8-59	0,57	12,8
39	17-9	0,84	28,3
40	20-10	1,04	46,1
41	9-11	1,19	59,5
42	30-11	1,42	74,5
43	4-2-60	1,53	95,4
44	20-2	1,21	52,4
45	4-3	0,96	38,9
46	4-3	0,96	39,2

STATION DE GOUNDAM

Gr. 2

Courbe d'Etalonnage

- ⊕ Jaugeages antérieurs à Juillet 1959.
- × Jaugeages de la campagne 1959-1960.



NIG-10200

Au sujet de l'accroissement des débits, une objection pourrait nous être faite. Elle supposerait une erreur systématique de l'opérateur, ou un mauvais étalonnage de moulinet. Cette objection ne tient pas. En effet, les jaugeages ont été effectués, tantôt par l'hydrologue de l'ORSTOM, tantôt par celui de la M.E.A.N. Les résultats des jaugeages n° 35 et 36 de DJIN-DJIN et n° 45 et 46 de GOUNDAM réalisés les 4 et 5 mars 1960 par les 2 opérateurs, donnent des résultats identiques.

B - REPARTITION des DEBITS et VOLUMES ECOULES

La crue de 1959-60 atteint la cote 5 m,73 à DIRE ; elle occupe le 18ème rang sur les 36 valeurs classées des cotes maximales pour la période d'observations 1924-59. On peut donc dire que, pour la région du KESSOU, il s'agit d'une année d'hydraulicité moyenne.

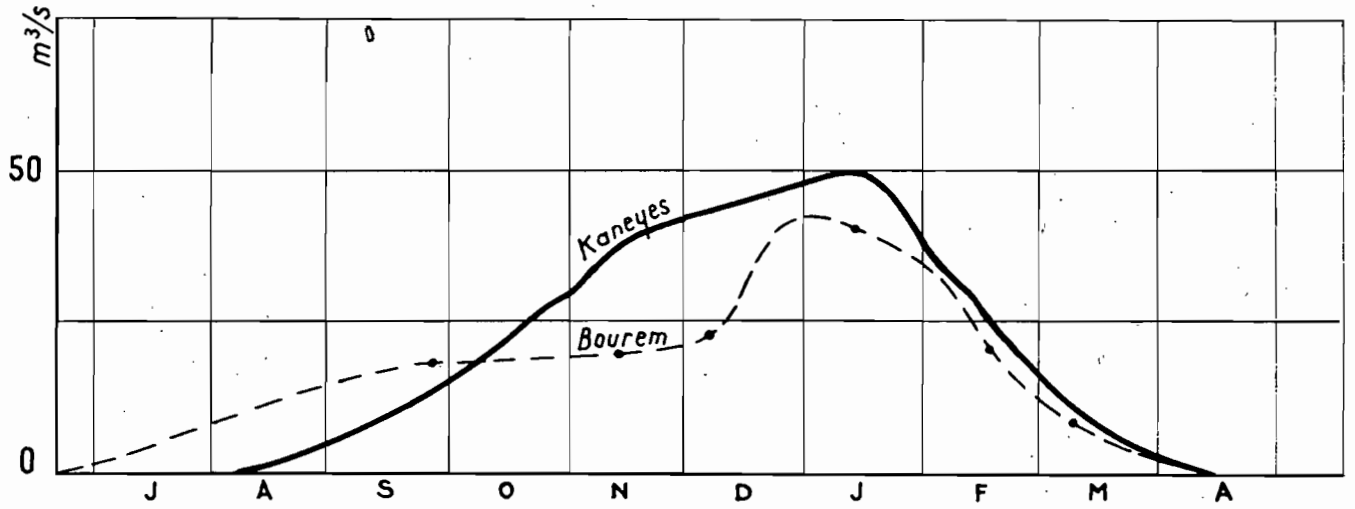
Les deux crues précédentes occupaient respectivement :

- pour 1957-58 le 6ème rang : hydraulicité de fréquence 1/5
- pour 1958-59 le 14ème rang : hydraulicité légèrement supérieure à la moyenne.

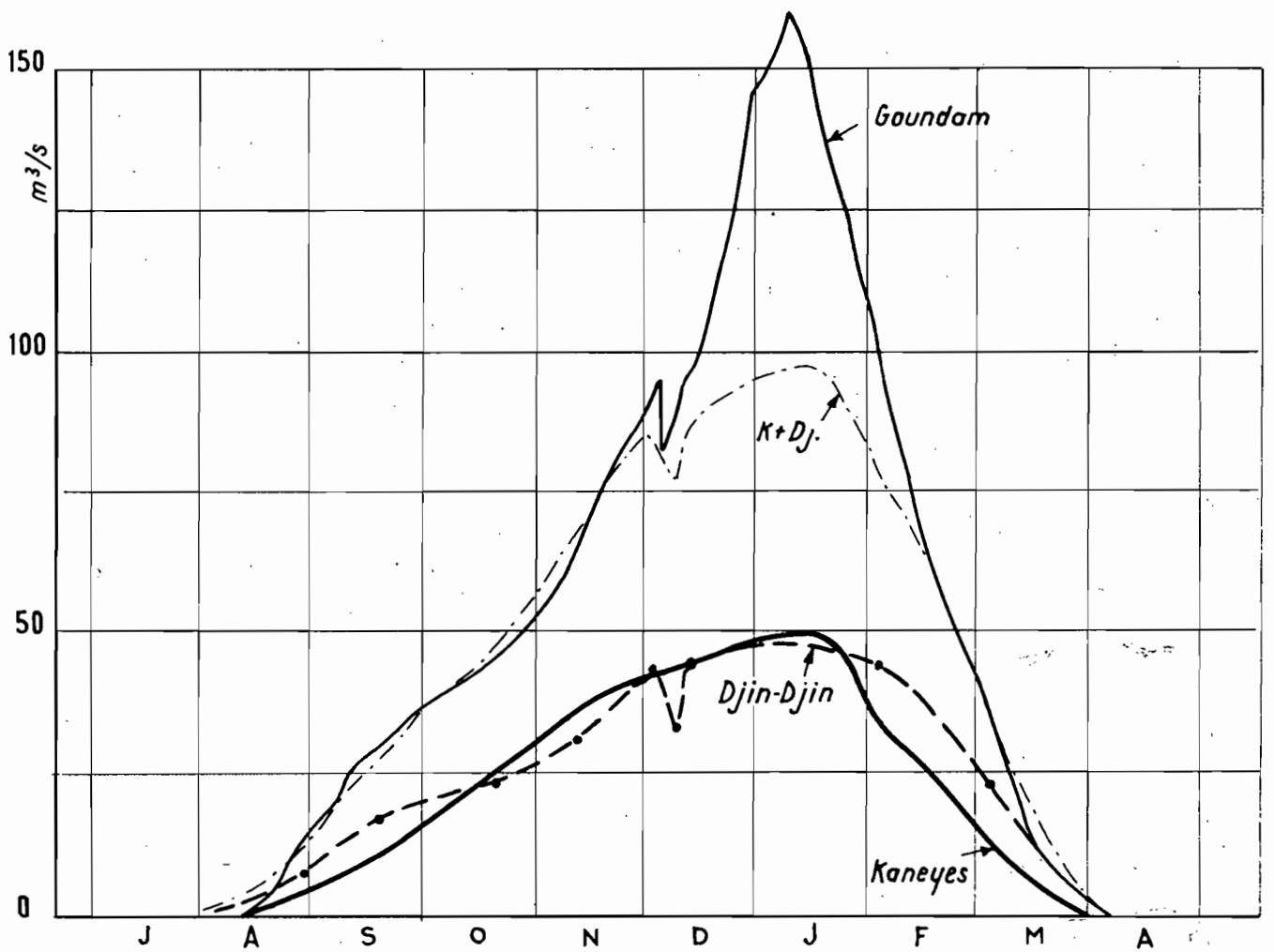
Par rapport à l'année dernière, la crue de 1959-60 n'apporte guère d'éléments nouveaux, comme on pouvait s'y attendre. Le graphique n° 3 donne les hydrogrammes aux principales stations. On y remarque un crochet dans la courbe de montée du TASSAKANT et à GOUNDAM, survenu dans les premiers jours de Décembre. Le nombre limité de relevés à KANEYE ne permet pas de savoir si le même phénomène s'y est produit ; il n'apparaît pas à BOUREM. Son origine est assez mystérieuse ; peut-être faut-il incriminer un "bouchon" de débris végétaux dans le lit du TASSAKANT ou un barrage temporaire réalisé par des agriculteurs ? En fait, son incidence est négligeable sur la crue et le volume écoulé.

Le tableau ci-après récapitule les principaux éléments de cette crue :

EVOLUTION DES DÉBITS LE LONG DU MARIGOT DE KONDI .Crue 1959-60.



REPARTITION DES DÉBITS POUR LA CRUE 1959-60



Station	Maximum de crue			Volume écoulé (10 ⁶ m ³)
	Date	Cote (m)	Débit (m ³ /s)	
DIRE	23 au 31-12-59	5,73	2.350	env. 37.000
BOUREM	8 au 15-1-60	4,01	43	475
KANEYE	vers le 15-1-60	env. 4,00	50	561
DJIN-DJIN	début janvier	env. 3,10	48	595
GOUNDAM	10-1-60	2,03	160	1.300

Deux observations intéressantes peuvent être déduites de ce tableau :

- a) le volume écoulé à GOUNDAM (1,3 milliard de m³) se place très correctement sur la courbe de corrélation entre ce volume et la cote maximale à DIRE ; il s'agit de la courbe que nous proposons dans le rapport d'Avril 1959 au graphique n° 9 et non de celle de la S.O.G.R.E.A.H

Avec les restrictions déjà formulées du fait du point aberrant de la crue 1957-58, l'emploi de cette corrélation permet de recalculer le volume écoulé à GOUNDAM pour la période de 36 ans connue à DIRE. La moyenne ressort à 1.500 10⁶m³. C'est entre cette valeur et les 1.300 millions de l'année moyenne 1959-60 qu'il est raisonnable de situer la moyenne interannuelle de l'écoulement à GOUNDAM.

- b) le volume transitant à KANEYE excède de 18 % celui passé à BOUREM. L'excédent avait atteint 30 % en 1957-58 et seulement 7,5 % l'an dernier. Compte tenu des pertes entre les 2 stations au début de la crue pour saturer le lit et remplir les mares riveraines, on doit reconnaître l'importance des apports intermédiaires (marigot de DIALOUBE, déversement des mares de rive droite) qui se maintient même en année moyenne.

Pour clôturer cette analyse de la répartition des débits dans les cours d'eau du KESSOU, nous avons confronté, dans un dernier tableau, les répartitions en %

des volumes apportés par ces divers tributaires au marigot de GOUNDAM lors des 3 crues étudiées :

Tributaire	Crues 1957-58:	1958-59:	1959-60:
Marigot de KONDI à KANEYE	42	44	43
Marigot de TASSAKANT à DJIN-DJIN	39	42	46
Bras de GALLAGA	19	14	11

Les enseignements à tirer de cette confrontation sont :

- 1°) que les apports du marigot de KONDI semblent peu varier pour des crues fortes et moyennes
- 2°) que 2/3 environ des eaux passant à GOUNDAM proviennent du TASSAKANT
- 3°) que le volume transporté par le bras de GALLAGA (qui court - circuité en rive gauche, le bras de la station de DJIN-DJIN) est d'autant plus élevé que la crue est plus forte, ce qui s'explique par le fait que son lit très enherbé a un rayon hydraulique bien plus mauvais que celui du bras principal passant à DJIN-DJIN.

N.B. Nous tenons à attirer l'attention du lecteur sur le fait qu'il trouvera dans la Monographie du NIGER - B - La Cuvette Lacustre (Tome II), que publie l'ORSTOM en 1961, toutes les caractéristiques du régime du marigot de GOUNDAM : valeurs moyennes, médianes, décennales et centennales des modules, volumes et crues maximales. L'interprétation que nous avons tentée dans ce chapitre fournit les données de base pour l'aménagement du dit marigot de GOUNDAM et de la région lacustre.

CHAPITRE II - VARIATION DU NIVEAU DES LACS

L'échelle d'ALFAO sur le lac TELE est en service depuis le 20 Novembre 1957 ; celle de M'BOUNA sur le lac FAGUIBINE, depuis le 1er Février 1958. Nous possédons pour la première fois des relevés sensiblement complets sur 3 années consécutives.

Le graphique n° 4 montre cette variation triennale pour les 2 lacs, en comparaison avec les cotes maximales à DIRE et les hydrogrammes de crue à GOUNDAM. L'influence primordiale de l'apport du marigot de GOUNDAM y apparait nettement ; le rôle des précipitations sur les lacs et du ruissellement sur leurs bassins versants (2 éléments de l'actif du bilan) est très secondaire.

Le tableau suivant rassemble les valeurs caractéristiques de ces variations :

```

=====
: Années : Cotes maximales : Cotes minimales :
:         : ALFAO : M'BOUNA : ALFAO : M'BOUNA :
:-----:-----:-----:-----:-----:
: 1957-58: 541   : 511   : 432   : 405   :
: 1958-59: 527   : 480   : 395   : 364   :
: 1959-60: 451   : 420   :       :       :
:-----:-----:-----:-----:-----:
=====

```

Le remplissage des lacs atteint son apogée à l'issue de la crue de 1955-56 ; une estimation vraisemblable place à 6 m,40 la cote à M'BOUNA, c'est-à-dire 1 m,30 environ au-dessus du maximum de Février 1958.

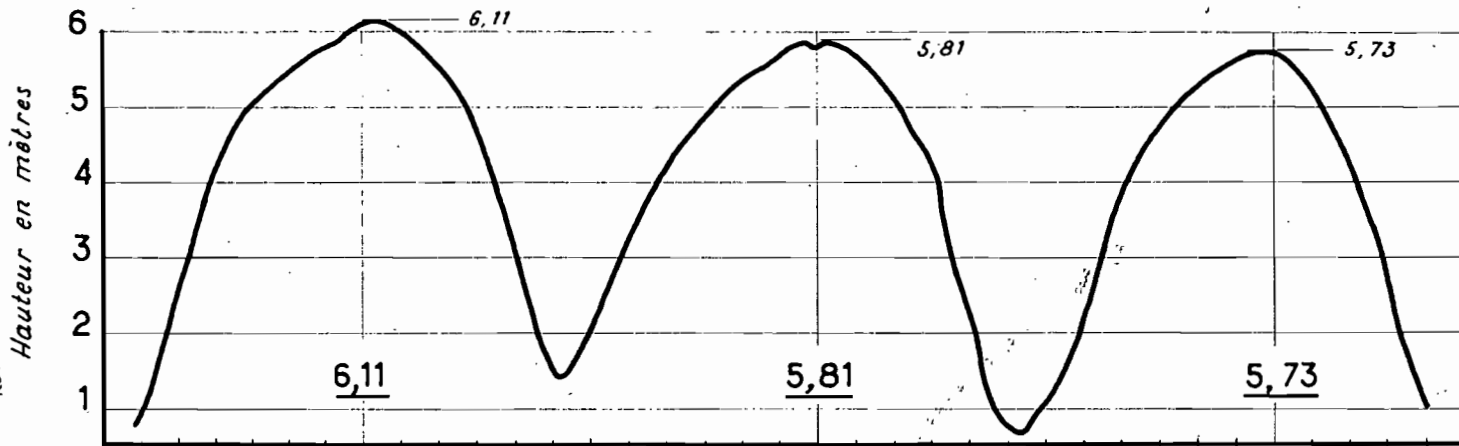
L'étude de la transmission de l'onde de crue peut se faire sur les données observées depuis 1957 ; elle peut être précisée grâce à l'implantation temporaire, lors de la crue 1959-60, d'une échelle limnimétrique sur la rive occidentale du lac TELE-Sud, au droit de la station piézométrique (voir sur la Carte I).

En effet, la piste GOUNDAM-NIAFUNKE, le long de laquelle fut effectué le nivellement général, passe à proximité de cette station, ce qui a permis le rattachement de cette échelle dont le zéro est à 254 m,03 I.G.N.

Variations triennales 1957-1960

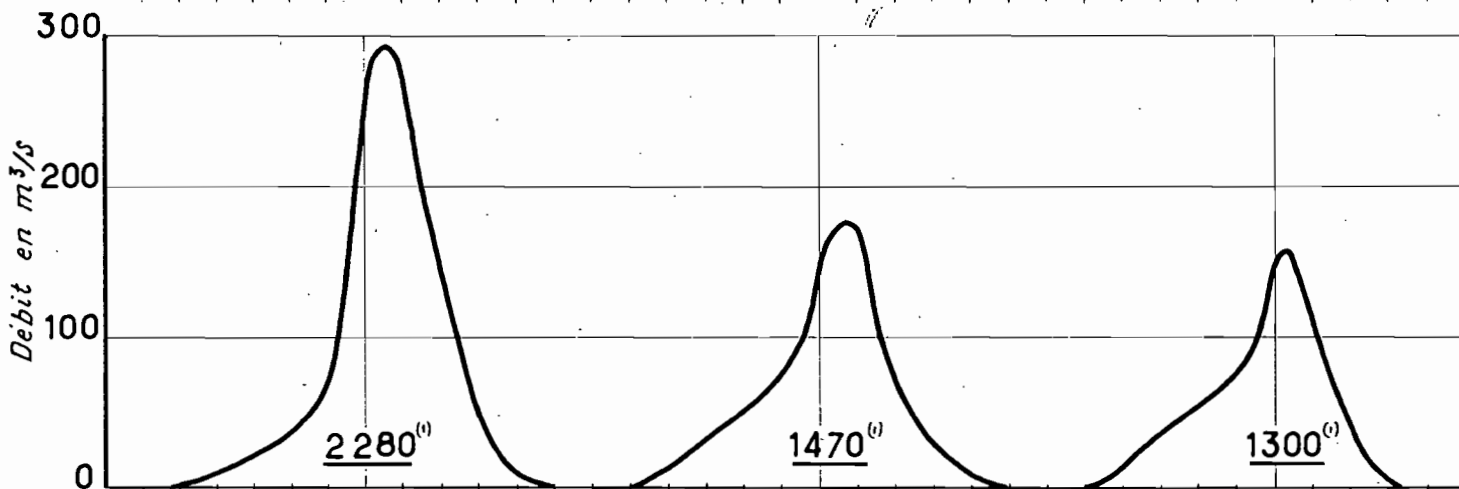
Limnigrammes
du NIGER à DIRE

Cotes maximales à Diré

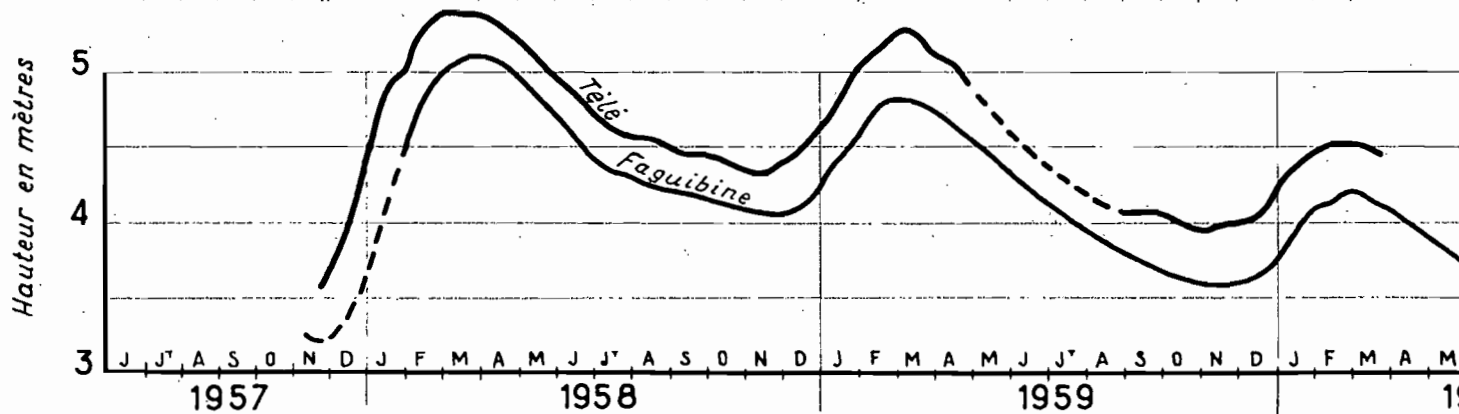


Hydrogrammes
de GOUNDAM

⁽¹⁾ V. en $10^6 m^3$



Niveaux du lac
FAGUIBINE
et du lac TÉLÉ



Nous avons tracé sur le graphique n° 4 bis :

- 1°) les limnigrammes de la crue 1959-60 observés à GOUNDAM et à la station du lac TELE-Sud, les hauteurs ayant été transformées en cotes nivelées
- 2°) les limnigrammes de la même crue à ALFAO et M'BOUNA, en cotes brutes, ces 2 échelles n'ayant pas encore fait l'objet d'un nivellement de rattachement.

Sur ce graphique, on remarque plusieurs choses intéressantes.

Tout d'abord, l'amplitude de la crue va s'atténuant d'amont en aval ; le marnage de 2 mètres à GOUNDAM tombe à 1 mètre sur le TELE-Sud et n'est plus que de 0m,60 tant à ALFAO qu'à M'BOUNA. On observe ensuite que la propagation de la crue entre GOUNDAM et le TELE-Sud est rapide ; le limnigramme de ce lac monte dès le mois d'Août ; au contraire les lacs TELE-Nord et FAGUIBINE continuent à décroître jusqu'en Octobre et Novembre, mois durant lesquels se produit généralement leur étiage.

La décrue, qui s'étend de Mars à Novembre, correspond à une dénivellation comprise entre 1 m et 1 m,40 pour des lacs presque pleins, comme c'est le cas actuellement. La tranche d'eau évaporée est évidemment beaucoup plus importante, puisque cette décrue est atténuée par les précipitations de Juillet-Août.

Les premiers apports du marigot de GOUNDAM servent surtout à compenser l'évaporation du TELE-Sud qui commence à monter. Ce n'est qu'en Décembre que la montée des eaux est franche sur le TELE-Nord. Il faut pour cela que les débits en provenance de GOUNDAM soient suffisamment importants pour laisser un notable excédent sur l'évaporation (laquelle diminue d'ailleurs avec la baisse des températures en Décembre).

La configuration géographique des lacs explique l'apparente anomalie entre les limnigrammes du TELE-Sud et d'ALFAO.

Le marigot de GOUNDAM se jette, 8 à 10 km après cette localité, dans le lac TELE-Sud, vaste poche de quelque 8 km de diamètre. La station piézométrique est, environ, à 15 km de GOUNDAM. Puis, avant d'atteindre les eaux libres

du TELE-Nord, qui porte parfois le nom de lac TAKARA, selon la toponymie locale, les eaux issues du lac TELE-Sud doivent franchir un isthme étroit qui s'allonge de FATAKARA à ALFAO sur quelque 10 km. La largeur de cet isthme est d'environ 1 km,500 ; il est encombré de prairies aquatiques et les chenaux d'eau libre y constituent un lacs inextricable ; la profondeur est très faible ; la navigation en canot pneumatique à moteur s'y heurté à de nombreux hauts-fonds, en Septembre.

Le village d'ALFAO est situé au débouché de l'isthme dans le lac TAKARA ; l'échelle est distante d'environ 29 km de GOUNDAM et 25 km de la station piézométrique.

On comprend mieux ainsi la lenteur de la propagation de la crue, très malaisée dans cet isthme enherbé, d'où la prolongation jusqu'en Novembre de l'étiage des lacs Nord et la notable durée de transport du maximum de la crue.

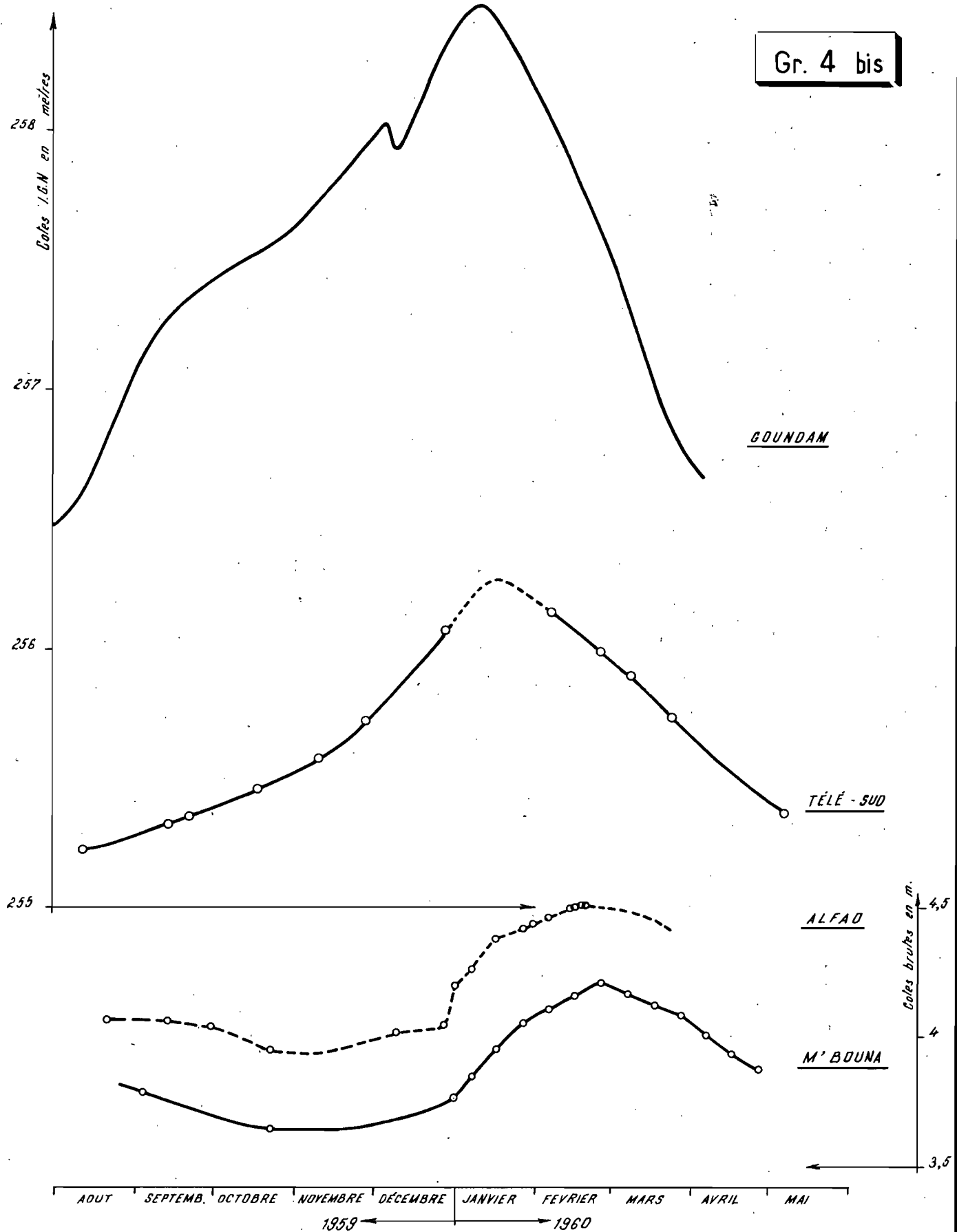
En effet, en 1960, alors que le maximum de la crue du marigot de GOUNDAM était enregistré le 10 Janvier, on pouvait estimer que celui-ci survenait le 17 à la station du TELE-Sud. Il fallait 37 jours, soit le 17 Février, pour que l'onde de crue maximale atteigne ALFAO ; neuf jours après, le 26 Février, elle était à M'BOUNA, distant pourtant de 48 km.

Ainsi, la vitesse de propagation pouvait être estimée à 2 km par jour entre GOUNDAM et la station piézométrique ; cette vitesse gênée par le franchissement de l'isthme n'était plus que de 0,8 km par jour entre GOUNDAM et ALFAO. Le seuil de KAMAÏNA, noyé en ces périodes de hautes eaux des lacs, n'offre aucun obstacle à la crue qui joint ALFAO à M'BOUNA en une semaine environ. Quand les lacs sont très pleins, ils constituent une nappe d'eau continue entre ces deux échelles, sur laquelle les variations de cote se répercutent presque instantanément. On le constate fort bien sur les graphiques n° 4 et 4 bis.

Les deux courbes se suivent avec une bonne concordance. La courbe du TELE est parfois soumise à des mouvements plus brusques, imputables, soit à l'action du vent à ALFAO, soit à celle du ruissellement plus intense sur les bords du TELE que sur ceux du FAGUIBINE.

TRANSMISSION DE L'ONDE DE CRUE DANS LES LACS

Gr. 4 bis



Nous avons pu tirer une relation linéaire entre les cotes des deux échelles. La cote à M'BOUNA au jour J égale la cote à ALFAO au jour J - 8 amputée de 33 cm. La précision de cette relation serait suffisante pour remplir des vides dans les relevés de l'une ou l'autre échelle, en cas d'absence d'observateur. Mais il est à peu près certain qu'elle ne sera plus valable, disons en-dessous de la cote 3 m,50 aux deux échelles, c'est-à-dire lorsque le seuil de KAMAÏNA sera dénoyé et créera une solution de continuité entre les deux lacs.

Concluons qu'en général, le maximum de la crue dans les lacs se produit entre le 20 Février et la fin Mars, suivant l'importance des apports du marigot de GOUNDAM. La durée de propagation de l'onde de crue est d'environ 40 à 45 jours depuis cette station. Le décalage entre les lacs TELE-Nord et FAGUIBINE n'excède pas 8 jours.

Une dernière remarque peut être faite à propos du graphique n° 4 bis. Sur les 15 kilomètres qui séparent GOUNDAM de la station piézométrique, la pente de l'eau que nous connaissons pendant toute la crue de 1959-60 s'élève régulièrement de 8 cm/km en Août jusqu'à un maximum de Janvier voisin de 15 cm/km, puis redescend jusqu'à 7 cm/km au début d'Avril. La pente de la ligne d'eau maximale est encore forte puisqu'elle est du même ordre de grandeur que celle mesurée en Février 1959, entre le confluent des marigots de KONDI et TASSAKANT, d'une part, et GOUNDAM, d'autre part. La pente du marigot de GOUNDAM reste donc élevée et sensiblement constante sur tout le cours.

La somme de renseignements ainsi accumulée sur la limnimétrie des lacs n'est pas négligeable. Pluviométrie et évaporation étant assez bien connues, ces renseignements pourraient permettre l'établissement du bilan hydrologique des lacs. Il suffirait, en effet, connaissant les courbes donnant le volume de remplissage en fonction de la hauteur d'eau, de calculer les déficits annuels des volumes d'eau.

Ces courbes existent, oeuvres anciennes de l'Office du NIGER ; elles sont rattachées au plan de comparaison de SANSANDING, mais malheureusement, à notre avis, peu précises pour la connaissance bathymétrique actuelle des lacs. De plus, les nouvelles échelles limnimétriques n'ont pas été rattachées au nivellement général (ni au P.C.S. d'ailleurs) ; il s'agit là d'une carence regrettable qui rend pratiquement impossible l'établissement précis de bilans hydrologiques pour les lacs. Ce travail n'entrait pas dans le cadre de notre convention.

CHAPITRE III - LES DEBITS SOLIDES EN SUSPENSION

A - GENERALITES et MODE OPERATOIRE

Les transports solides dans les cours d'eau du KESSOU présentent un aspect bien particulier. Comme ces cours d'eau assurent le drainage de plaines inondées et d'eaux de déversement, ils ne peuvent pas être l'objet de transports solides par charriage de fond. Ils ne transportent, en fait, que des débits en suspension ; ceux-ci sont essentiellement constitués de limons, d'argiles et de matières organiques (débris végétaux plus ou moins décomposés). Cette constitution est une certitude pour leurs parties amont, voisines du NIGER où les pentes (égales ou inférieures à 2 cm/km) sont très faibles.

Après la rupture de pente, mise en évidence dans le rapport d'Avril 1959 et que jalonnent les villages de DIALOUBE, KONDI et GALLAGA, on aurait pu supposer que les biefs inférieurs où cette pente dépassait 10 cm/km, auraient pu permettre le transport de sables en suspension. En fait, les vitesses du courant sont insuffisantes pour cela, et ce transport, s'il existe, est négligeable devant celui des limons et des argiles.

En présence de transports limités à des limons et argiles, éléments très fins, nous avons adopté le mode opératoire utilisant le pompage. Ce procédé déjà employé sur le LOGONE, au TCHAD, y a donné toute satisfaction.

Au cours des mesures de débit liquide, et conjointement, l'agent technique effectuait un prélèvement complet à chaque (ou toutes les deux) verticale de mesures.

Le tuyau relié à la pompe Japy avait son autre extrémité fixée à la perche de jaugeages, le long de laquelle il pouvait coulisser. Le pompage durait pendant toute la durée de la descente de l'extrémité du tuyau, depuis la surface jusqu'à 10 ou 20 cm du fond environ. Cette descente lente et régulière permettait en quelque sorte au prélèvement "d'intégrer" le débit solide le long de la verticale.

L'eau pompée était recueillie dans un récipient de 20 litres où elle se décantait ; la décantation était activée par l'adjonction d'acide chlorydrique déci-normal. Le résidu, après dessiccation à l'étuve, était pesé. Un certain nombre de ces échantillons ont été remis à la Direction de l'Hydraulique à BAMAKO pour permettre, le cas échéant, l'étude de leur granulométrie et de leur composition chimique, qui n'entraîne pas dans le cadre de notre convention.

B - RÉCAPITULATION des MESURES EFFECTUEES

Vingt-cinq mesures complètes de débits en suspension ont été faites pendant la campagne 1959-60, aux stations de BOUREM, KANEYE, DJIN-DJIN et GOUNDAM, ainsi qu'à DIRE.

Les tableaux suivants donnent la concentration ou turbidité en grammes par m³ pour chaque verticale de mesures. Ces verticales étant régulièrement espacées dans le profil en travers, nous avons admis que la concentration moyenne pouvait être prise égale à la moyenne arithmétique des concentrations obtenues aux verticales. Le débit solide, en kilogrammes par seconde, a été calculé en multipliant cette turbidité moyenne par le débit liquide correspondant à la cote lue à l'échelle pendant la mesure. Comme les mesures de débits solides allaient de pair avec les jaugeages, c'est le résultat de ce jaugeage qui a été utilisé.

1 - Station de DIRE

Date	Origine du prélevement	Distance en m	Turbidité g/m ³	
23-9-59	R.D.	42	31,8	H = 4 m,63
		256	31,8	Q = 1.690 m ³ /s
Crue		315	26,8	Turbidité moyenne 31,6 g/m ³
		435	25,3	Débit solide 53,4 k/s
		490	42,1	

Date	Origine du prélevement	Distance en m	Turbidité g/m ³	
24-12-59	R.D.		11,5	H = 5 m,73
Maximum			24	Q = 2.350 m ³ /s
			16,8	Turb. moy. = 18,5 g/m ³
			24,2	Débit solide = 43,5 k/s
			18,3	
			16	

		N°verticale		
1-3-60	R.G.	1	13,5	H = 4 m,38
		2	8	Q = 1.120 m ³ /s
Décrue		3	6,5	T. moy = 8,8 g/m ³
		4	6	D.S. = 9,85 k/s
		5	9,2	
		6	9,7	

4-4-60	R.G.	1	16,5	H = 2m,44
		2	14	Q = 380 m ³ /s
Décrue		3	17,5	T. moy. = 15,1 g/m ³
		4	19,5	D.S. = 5,74 k/s
		5	10,7	
		6	12,5	

2 - Station de BOUREM

30-9-59	R.G.	60	45,5	H = 3 m,05
		40	25	Q = 18,1 m ³ /s
Crue		30	30	T. moy = 30,8 g/m ³
		25	26,6	D.S. = 0,557 k/s
		20	27	
		15	31	

12-11-59	R.D.	60	31,2	H = 3 m,15
		50	24	Q = 20 m ³ /s
Crue		40	16,3	T. moy. = 24,9 g/m ³
		30	19,5	D.S. = 0,48 k/s
		20	12,5	
		15	40,7	

Date	Origine du prélèvement	Distance en m	Turbidité g/m ³	
7-12-59 Crue	R.D.	10	31,5	H = 3 m,88
		20	5,5	Q = 38 m ³ /s
		25	19,5	T. moy. = 14,9 g/m ³
		30	14	D.S. = 0,566 k/s
		35	8,5	
		45	10,7	
7-3-60 Décru	R.D.		66	H = 2 m,61
			61,6	Q = 8 m ³ /s
			48,4	T. moy. = 57,8 g/m ³
			54,6	D.S. = 0,462 k/s

3 - Station de KANEYE

28-9-59 Crue	R.G.	2,5	86	H = 1 m,37
		7,5	99,4	Q = 14,4 m ³ /s
		12,5	98,3	T. moy. = 99,7 g/m ³
		17,5	116	D.S. = 1,436 k/s
		22	98,7	
23-10-59 Crue	R.G.	11	60	H = 1 m,66
		16	77	Q = 25,2 m ³ /s
		21	56	T. moy. = 64 g/m ³
		26	63	D.S. = 1,613 k/s
4-12-59 Crue	R.G.	5	53,5	H = 3 m,24
		10	34,8	Q = 43 m ³ /s
		15	33,3	T. moy. = 38,2 g/m ³
		20	31	D.S. = 1,643 k/s
14-12-59 Crue	R.G.	5	28,2	H = 3 m,54
		10	30,6	Q = 45 m ³ /s
		15	38	T. moy. = 29,2 g/m ³
		20	19,7	D.S. = 1,314 k/s
14-1-60 Maximum	R.G.	10	33,5	H = 3 m,96
		20	38,3	Q = 50 m ³ /s
		30	34	T. moy. = 35,2 g/m ³
				D.S. = 1,76 k/s
13-2-60 Décru	R.G.	5	89	H = 1 m,10
		10	69,1	Q = 28 m ³ /s
		15	79,9	T. moy. = 79,4 g/m ³
				D.S. = 2,223 k/s
31-3-60 Décru	R.D.	4	130	H = 0 m,40
		10	141	Q = 12 m ³ /s
				T. moy. = 135,5 g/m ³
				D.S. = 1,626 k/s

4 - Station de DJIN - DJIN

Date	Origine du prélevement	Distance en m	Turbidité g/m ³	
20-10-59 Crue	R.D.	17,5	18	H = 2 m,08 Q = 23 m ³ /s T. moy. = 21 g/m ³ D.S. = 0,483 k/s
		32,5	24	
		40	21	
30-11-60 Crue	R.D.	5	13	H = 2 m,75 Q = 36,4 m ³ /s T. moy = 12,9 g/m ³ D.S. = 0,469 k/s
		15	11,5	
		25	14	
		35	12	
		45	14	
15-2-60 Décru	R.D.	22,5	43	H = 2 m,87 Q = 45,2 m ³ /s T. moy. = 57,6 g/m ³ D.S. = 2,6 k/s
		35	90,2	
		50	39,2	
1-4-60 Décru	R.G.	4	56	H = 0 m,79 Q = 2,2 m ³ /s T. moy = 55,8 g/m ³ D.S. = 0,123 k/s
		9	55,7	
		14	55,7	

5 - Station de GOUNDAM

20-10-59 Crue	R.D.	10	50,4	H = 1 m,04 Q = 42 m ³ /s T. moy. = 51 g/m ³ D.S. = 2,142 k/s
		20	47,9	
		30	55,3	
		40	57,3	
		50	46,9	
		60	48,5	
30-11-59 Crue	R.D.	15	31	H = 1 m,49 Q = 87 m ³ /s T. moy = 31 g/m ³ D.S. = 2,48 k/s
		25	30,5	
		35	28,5	
		45	37	
		55	40,3	
		65	18,2	
15-12-60	R.G.	15	15,7	H = 1 m,60 Q = 100 m ³ /s T. moy. = 30,2 g/m ³ D.S. = 3,02 k/s
		20	31	
		30	24	
		40	19,7	
		50	57,5	
		60	33,6	

Date	Origine du prélevement	Distance en m	Turbidité g/m ³	
13-1-60		10	32,3	H = 2 m Q = 155 m ³ /s T. moy = 38,8 g/m ³ D.S. = 6,014 k/s
		20	39,5	
Maximum		30	50,2	
		40	35,3	
		50	38,3	
		60	37,5	
20-2-60	R.D.	20	106,5	H = 1 m,25 Q = 60 m ³ /s T. moy = 96,3 g/m ³ D.S. = 5,874 k/s
		34	75	
Décrue		44	82	
		54	122,5	
		64	104,2	
		76	88	
4-4-60	R.D.	20	92	H = 0m,20 Q # 99 l/s T. moy = 82,3 g/m ³ D.S. # 0
Décrue		40	90,5	
		60	64,5	

C - VARIATIONS de la TURBIDITE et du DEBIT SOLIDE

Les mesures de débits solides effectuées à DIRE présentent un intérêt certain puisqu'il s'agit de la première tentative en ce domaine réalisée sur le NIGER dans les pays d'expression française, tout au moins à notre connaissance.

Le nombre de prélèvements est insuffisant pour analyser la répartition des concentrations dans une section, au cours d'une même mesure ; on constatera cependant une relative homogénéité de celles-ci puisque les valeurs extrêmes ne s'écartent pas de la turbidité moyenne de plus de 50 % de la valeur de cette dernière. La pente du NIGER étant de l'ordre du centimètre par kilomètre, ces turbidités moyennes sont très faibles, supérieures en crue (31,6 g/m³) aux observations faites en décrue (8,8 g/m³). On remarquera aussi, qu'au cours d'un cycle annuel, la turbidité semble passer par un maximum avant que le débit liquide maximal ne soit atteint, d'une

part, et qu'elle est minimale avant l'étiage, d'autre part. Ce phénomène est classique sur toutes les rivières qui charrient plus en début qu'en fin de crue, par suite de l'étalement du débit solide transporté qui a surtout été arraché par les premières crues sur le haut des bassins. A cette cause principale, se superpose un effet secondaire : à partir d'une certaine cote en crue et pour la plus grande partie de la décrue, un fort pourcentage du volume écoulé provient des plaines inondées qui restituent au fleuve leur trop-plein. Au contraire, en début de crue et en étiage, l'écoulement se fait uniquement dans le lit mineur et ceci depuis l'amont de la cuvette lacustre. Les eaux qui proviennent des plaines inondées y ont subi filtration et décantation ; elles sont plus claires et cela peut justifier la diminution des turbidités moyennes.

Nous avons à DIRE des turbidités moyennes du même ordre de grandeur que celles qui ont été observées sur le CHARI Inférieur entre FORT-LAMY et le Lac TCHAD, alors que ce fleuve sort d'une zone d'inondation comparable à la cuvette lacustre nigérienne.

Le débit solide est nettement plus élevé en crue qu'en décrue ; pour un même débit liquide, l'écart est de 1 à 4. Le débit solide n'est notable que d'Août à Janvier, période durant laquelle il dépasse 20 k/s. Son maximum annuel semble se placer en Septembre-Octobre et osciller entre 50 et 55 k/s.

Le marigot de KONDI est un effluent du NIGER alimenté par déversement de celui-ci à partir d'une certaine cote ; à BOUREM, près de sa naissance, la distribution des éléments solides y est comparable à celle du fleuve. On constate que la turbidité varie en raison inverse du débit liquide, comme nous l'avons vu à DIRE entre Octobre et Février. Les turbidités moyennes sont du même ordre que celles du NIGER. Un seul point inexplicable : au début Mars, on mesure 57,8 g/m³ à BOUREM, alors que le fleuve est près de sa turbidité minimale à DIRE : 8,8 g/m³.(1)

Les débits solides du marigot de KONDI à BOUREM restent compris entre 0,4 et 0,6 k/s pendant la majeure partie de la crue (Août-Mars).

(1) Le pompage descendu trop près du fond a peut-être aspiré des éléments déposés qui ont accru excessivement le débit solide.

A la sortie du KESSOU, les marigots de KONDI, de TASSAKANT et de GOUNDAM présentent de fortes analogies dans le transport de leurs éléments solides en suspension.

Plus le débit liquide croît, plus la part des eaux claires provenant des plaines inondées croît aux dépens des eaux troubles transitant uniquement dans les lits mineurs. Il est donc normal que les turbidités varient systématiquement en raison inverse des débits liquides.

A KANEYE, les concentrations minimales en hautes eaux, autour de 30 g/m^3 , valent 50 à 100 g/m^3 en eaux moyennées et dépassent 100 g/m^3 en basses eaux.

On observe en outre, surtout à KANEYE et GOUNDAM (moins à DJIN-DJIN), que les turbidités moyennes sont plus élevées qu'à DIRE et BOUREM. Une bonne partie des eaux de déversement du NIGER commencent par inonder des plaines, des mares, où elles déposent une fraction notable de leurs éléments solides. Ensuite, le trop-plein de ces eaux clarifiées rejoint le lit des 2 marigots de KONDI et de TASSAKANT qui, au-delà de la ligne DIALLOUBE - KONDI - GALLAGA, abordent la seconde partie de leur cours. Celles-ci ont des pentes notables (10 à 25 cm/km) et l'érosion y sévit. Les eaux se chargent alors d'éléments solides arrachés aux berges et aux lits en quantité supérieure à leur teneur originelle.

Un fait observé aux 3 stations, mais difficilement explicable, est la supériorité des turbidités en décrue sur celles de crue pour des débits liquides identiques. Nous avons tracé 2 courbes de variation des turbidités moyennes, en fonction des débits liquides (graphiques n° 5 et 6) ; l'écart entre ces courbes de crue et de décrue est de 20 g/m^3 à KANEYE et il atteint 40 et 50 g/m^3 à DJIN-DJIN et GOUNDAM, ce qui représente des turbidités doubles en décrue pour ces dernières stations.

En conséquence, les débits solides sont plus élevés en décrue qu'en crue. On trouve entre 1,4 et 1,6 k/s à KANEYE (graphique n° 5) pendant toute la crue, puis des valeurs comprises entre 2 et 2,3 k/s correspondant aux débits solides maximaux en début de décrue (Février).

L'écart s'accroît à DJIN-DJIN où le débit faible en début de crue (0,6 à 0,8 k/s) s'élève brusquement vers 1,8 et 2 k/s pendant les 3 mois de Décembre à Février.

Même aspect des variations à GOUNDAM (graphique n° 6) où après un palier voisin de 2,5 k/s, les débits solides atteignent 5 et 6 k/s pendant les mêmes 3 mois qu'à DJIN-DJIN.

Le petit nombre de mesures et le fait qu'elles ne s'appliquent qu'à un seul cycle hydrologique ne nous permettent pas de trouver des explications logiques à ces variations des turbidités et des débits solides en suspension.

D - Les TRANSPORTS SOLIDES en SUSPENSION pour le CYCLE 1959-60

Nous disposons des courbes de débit liquide en fonction du temps, aux 5 stations, pendant le cycle annuel de Juillet 1959 à Juin 1960 ; au paragraphe précédent, nous avons présenté des courbes donnant les débits solides en k/s, en fonction des débits liquides à chaque station.

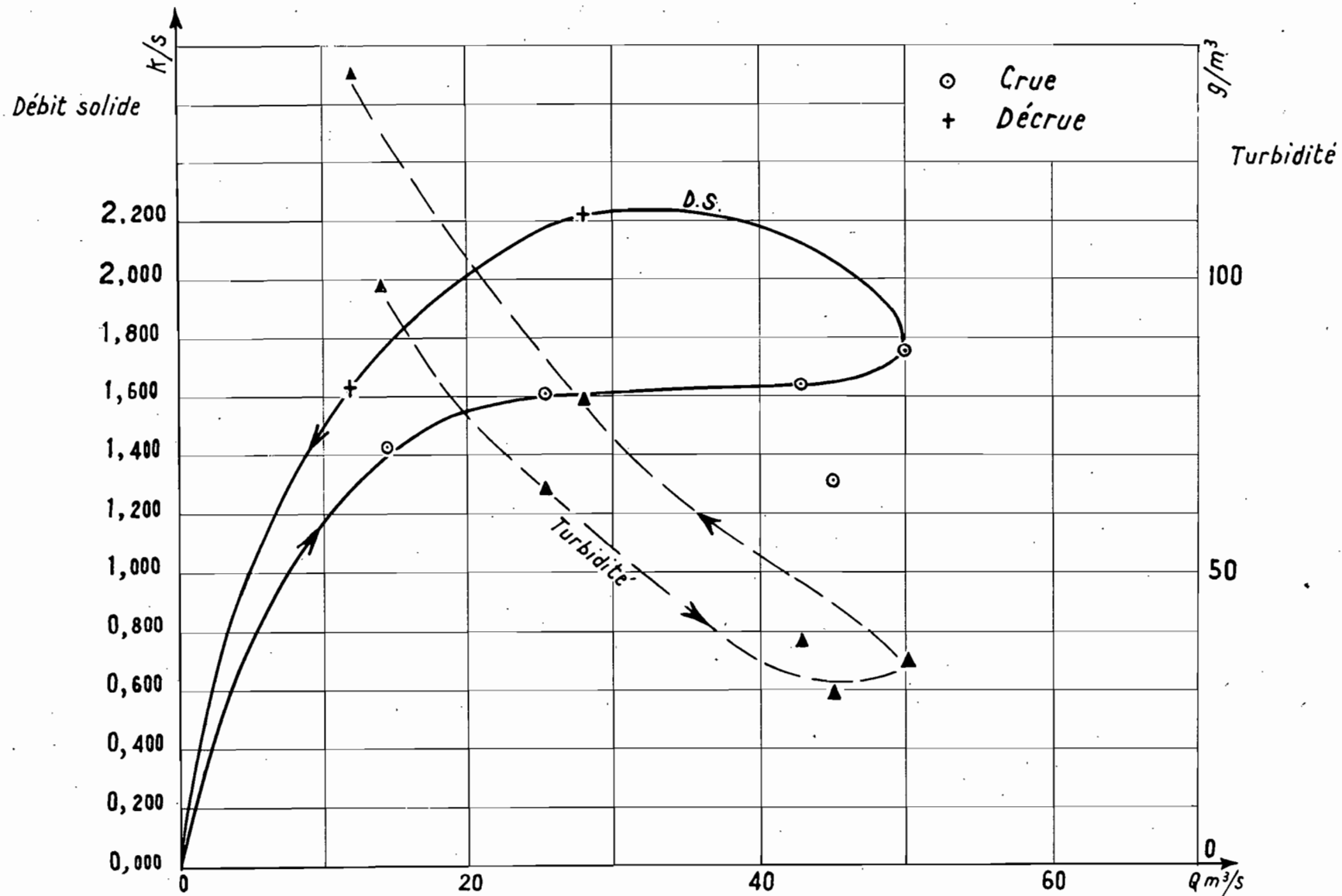
A l'aide de ces couples de courbes, nous avons pu tracer les courbes de variation, en fonction du temps, du débit solide en suspension. Leur planimétrage permettait de calculer le tonnage transporté dans l'année.

Nous avons rassemblé les résultats de ce travail dans le tableau ci-dessous :

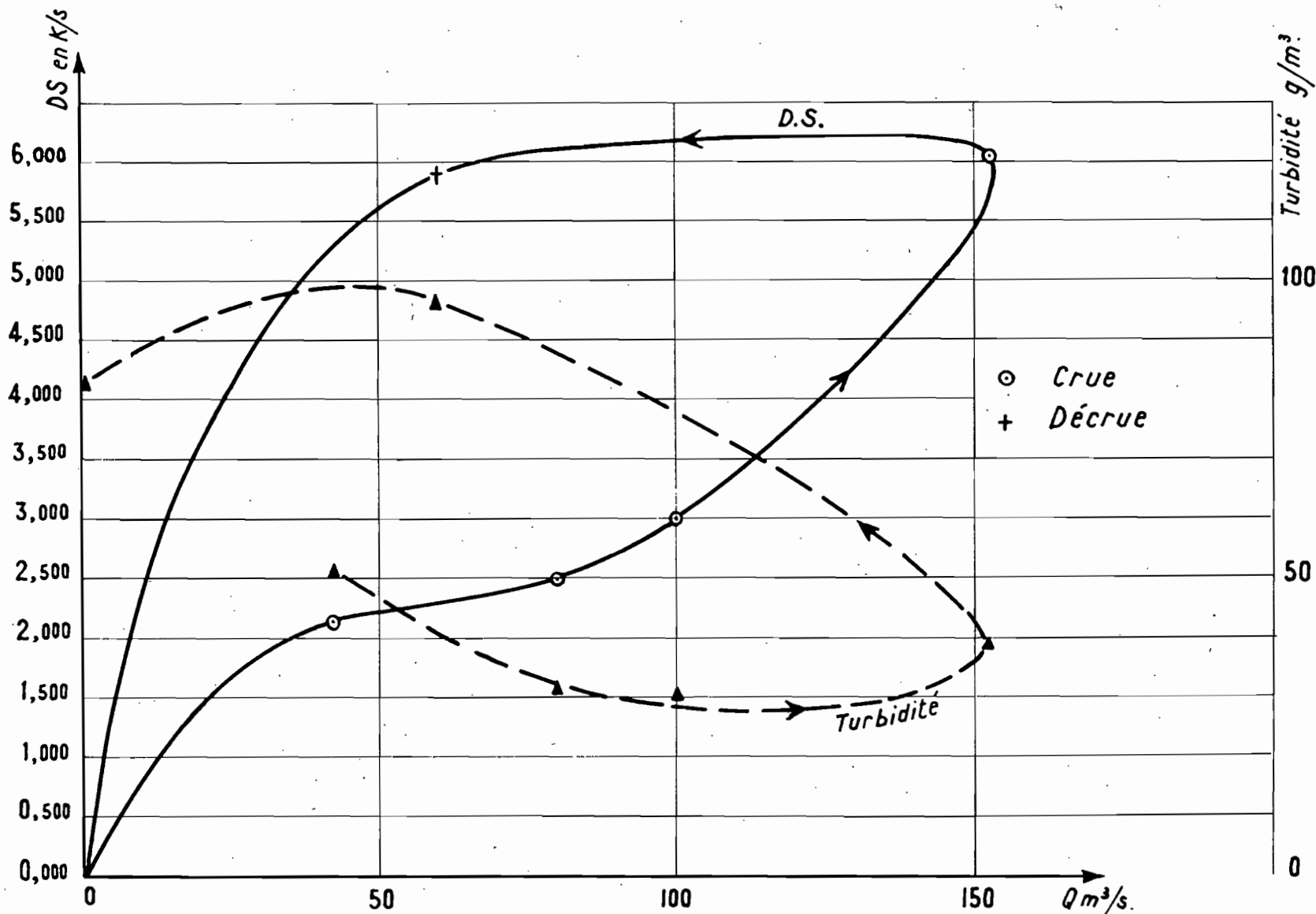
Station	Volume écoulé 10 ⁶ m ³	Transports solides en tonnes	Dégradation spécifique t/an/km ²
DIRE	env. 37.000	812.150	2,4
BOUREM	475	12.100	
KANEYE	561	31.100	
DJIN-DJIN	595	20.050	
GOUNDAM	1.300	65.650	

Plusieurs remarques s'imposent :

TRANSPORTS SOLIDES A KANEYES



TRANSPORTS SOLIDES A GOUNDAM



- 1) Nous avons calculé la dégradation spécifique - obtenue en divisant le tonnage par la superficie du bassin - pour DIRE. La valeur de $2,4 \text{ t/an/km}^2$ est très faible. Elle est cependant voisine des $3,3 \text{ t/an/km}^2$ calculés en 1954 pour la crue du CHARI Inférieur (600.000 km^2 contre 340.000 km^2 à DIRE).

Evidemment, la majeure partie des éléments solides transportés par le NIGER se sont déposés dans la cuvette lacustre. Si l'on regarde dans le bassin du CHARI, la station de LAI sur le LOGONE (60.000 km^2) qui se trouve en amont des zones de déversement, sa dégradation spécifique est de l'ordre de 40 t/an/km^2 . On trouve, pour la BENOUE à GAROUA (Cameroun), 22 t/an/km^2 pour un bassin de dimensions voisines. Le régime du NIGER Supérieur s'apparente assez bien à ceux du LOGONE et de la BENOUE. On peut donc supposer qu'à KOULIKORO par exemple, la dégradation spécifique soit 10 fois plus élevée qu'à DIRE ; ainsi, le tonnage transporté par le fleuve dans son cours supérieur peut être estimé à 3 ou 4 millions de tonnes. C'est donc 70 à 80 % des éléments solides transportés par le NIGER qui se déposeraient dans la cuvette lacustre.

- 2) Le rôle de l'érosion dans la partie occidentale du KESSOU est mis en lumière par la confrontation des tonnages transportés par le marigot de KONDI. Ils sont multipliés par 2,5 entre BOUREM et KANEYE alors que l'accroissement du volume écoulé n'est que de 17 %.
- 3) Si l'on admet que le débit solide transitant par le bras de GALLAGA est de même importance qu'à DJIN-DJIN (estimation par excès), on peut calculer que le tonnage transporté à GOUNDAM est encore légèrement supérieur au total fourni par les deux marigots de KONDI et TASSAKANT, ce qui confirme encore l'action érosive dans ce bief.
- 4) L'année 1959-60 est d'hydraulicité moyenne. On peut calculer que les éléments solides apportés par le marigot de GOUNDAM au lac TELE, s'ils se déposaient tous dans ce premier lac et uniformément, y constitueraient une pellicule de $1/2 \text{ mm}$. Dans l'éventualité d'une construction de barrage en amont de GOUNDAM, la surface de la retenue serait plus faible que celle

du lac TELE et en admettant que tous les éléments solides s'y déposent, on arrive à un chiffre voisin de 1 cm par an, ce qui n'est pas excessif.

Bien entendu, tous les résultats avancés dans ce chapitre ne sont tirés que d'une petite série de mesures ; nous avons dû effectuer de grosses hypothèses d'extrapolation et la précision des chiffres ne doit pas dépasser 10 à 15 %. Cela est suffisant, malgré tout, pour nous faire une idée sur cette question des transports solides.

CHAPITRE IV - SALINITE DES EAUX

A - MODE OPERATOIRE

Avant d'entreprendre un aménagement coûteux et de lancer un plan de mise en valeur, il est bon de connaître la salinité des eaux qui serviront à irriguer les cultures, certaines plantes ayant un seuil critique assez bas vis-à-vis du sel. En cas de dépassement de ce seuil, il faudrait renoncer à cultiver ces plantes peu halophytes ou recourir à des variétés plus résistantes de la même plante.

Pour connaître la salinité des eaux, nous avons mesuré la résistivité de celle-ci à l'aide d'un pont de Kolrausch, qui n'est ni plus ni moins qu'un pont de Wheastone de mesure des résistances, fonctionnant avec le courant d'une pile de 4,5 V.

L'échantillon d'eau est mis dans une cuve à niveau prédéterminé, dont les deux électrodes en cuivre chromé reliées au pont, plongent dans le liquide à analyser.

La résistivité des solutions faiblement concentrées varie en raison inverse de la concentration ionique. Pour plus de compréhension, on la transforme en "équivalent ClNa" c'est-à-dire qu'à une résistivité correspond une quantité de chlorure de sodium qui dissous dans 1 litre d'eau conduit à la même résistivité. L'équivalence est la suivante :

$$1 \text{ mg/l ClNa} = 555.000 \text{ Ohms/cm à } 18^{\circ}$$

Bien entendu cette quantité de ClNa est fictive et ne correspond pas réellement à la teneur totale en sels dissous de la solution considérée ; mais les variations de l'équivalent ClNa suffisent à connaître la salinité et les mesures au pont de Kolrausch sont faciles à effectuer sur le terrain, alors que la détermination d'un extrait sec (à 110°) demande des précautions et un outillage de laboratoire déjà conséquent.

Les mesures ont été faites conjointement avec les jaugeages et les prélèvements de débits solides en suspension pour les stations hydrométriques du KESSOU. Des tournées spéciales ont dû être effectuées pour les mesures de salinité des eaux des lacs.

Point de problème en ce qui concerne la mesure sur un cours d'eau où l'on prenait quelques échantillons d'eau en surface, à différents endroits du profil en travers. Par contre, pour les lacs, nous n'avons pu faire des mesures que pour des distances à la rive inférieures à 1.000 mètres, car nous ne disposions pas d'appareils de repérage de position pour faire le point "au large" ni d'embarcation suffisante pour naviguer en pleines eaux sur le FAGUIBINE et y rester plusieurs jours.

Nos résultats incomplets, puisque le FAGUIBINE atteint 10 km de large, sont cependant très intéressants car ils concernent la zone riveraine proche des cultures et où la salinité est généralement la plus élevée.

B - RECAPITULATION des MESURES

Au cours de la campagne 1959-60, 50 mesures de salinité ont été effectuées à 11 points de mesures différents dont voici la répartition :

- DIRE sur le NIGER
- 5 stations de cours d'eau du KESSOU : BOUREM, KANEYE, ISSAFAYE, DJIN-DJIN et GOUNDAM
- 2 stations sur le lac TELE : la station piézométrique sur la rive occidentale du TELE-Sud et ALFAO sur le TELE-Nord
- 3 stations sur le FAGUIBINE : BITAGOUNGOU, TOUKABANGOU et M'BOUNA

Ces 5 derniers emplacements sont respectivement distants de GOUNDAM de 14 et 29 km pour ceux du TELE, de 48, 54 et 77 km pour ceux du FAGUIBINE.

Les tableaux récapitulatifs des mesures donnent les renseignements suivants :

- Colonne 1 : date de l'opération
- 2 : cote à l'échelle H en mètres, position en crue (C) ou en décrue (D) et débit liquide Q en m³/s
- 4 : température de l'échantillon d'eau en degrés c.
- 5 : la valeur du coefficient de t° A qui sert à calculer la résistivité exacte, l'appareil étant étalonné pour 18°
- 6 : la lecture L en ohm/cm de la résistivité au pont de Kolrausch
- 7 : la résistivité réelle $R = \frac{2L}{A}$ en ohm/cm
- 8 : l'équivalent en mg/l de ClNa pour chaque échantillon
- 9 : l'équivalent moyen pour la mesure
- 3 : le repérage du point de prélèvement d'échantillon par rapport aux rives.

MESURES de SALINITE

- 1 - Station de DIRE

Date	Cote & Débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T°	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa mg/l	moyen
24/12/59	H = 5m,73 (étale) Q = 2350		20°5	0,870	11.850	27.220	20,4	20,4
1/3/60	H=4m,38 D Q = 1120	150 m de RG	23°6	0,886	9.750	22.000	25,2	
-	-	300 m de RG	18°7	0,984	10.900	22.200	25	25
-	-	près la RD	19°8	0,961	10.750	22.400	24,8	
5/4/60	H=2m,38 D Q = 360	150 m de RG	19°1	0,975	8.750	17.990	31	
-	-	300 m de RG	22°	0,915	7.900	17.300	32,1	31,5
-	-	près la RD	19°8	0,961	8.500	17.700	31,4	

N.B.- L et R sont les résistivités lues (L) et corrigées (R) exprimées en ohm/cm.

- 2 - Station de BOUREM

Date	Cote & Débit m ³ /s	Reperage du prélèvement	T ₀	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa	mg/l moyen
14/11/59	H=3m,15 Q = 20	C: Milieu	23°6	0,879	13.350	30.340	18,3	18,3
7/12/59	H=3m,88 Q = 38	C: Milieu	23°	0,897	12.700	28.340	19,6	19,6
7/3/60	H=2m,61 Q = 8	D: près la RD	24°4	0,872	9.500	21.800	25,4	
-	-	Milieu	23°	0,897	9.550	21.300	26	25,5
-	-	près la RG	22°	0,916	10.100	22.000	25,2	

- 3 - Station de KANEYE

Date	Cote & Débit m ³ /s	Reperage du prélèvement	T ₀	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa	mg/l moyen
23/10/59	H=1m,66 Q = 25,2	C: Milieu	29°3 28°8	0,796 0,803	11.600 11.750	29.160 29.260	19 19	
4/12/59	H=3m,24 Q = 43	C: Milieu	24°7 24°5	0,874 0,870	11.650 11.750	26.640 27.160	20,8 20,4	20,6
14/12/59	H=3m,54 Q = 45	Milieu	19°2 18°9	0,973 0,980	13.300 13.300	27.300 27.340	20,3 20,3	20,3
14/1/60	H=3m,96 Q = 50	(étale) Milieu	23°3 22°9	0,892 0,899	11.000 11.150	24.700 24.800	22,5 22,4	22,4
13/2/60	H=1m,10 Q = 28	D: R.G. Milieu R.D.	22°2 20°8 19°8	0,912 0,940 0,961	10.400 10.200 10.450	22.800 21.700 21.700	24,4 25,6 25,6	25,1
2/3/60	H=0m,49 Q = 13,5	D: R.G. Milieu R.D.	21°3 22°4 21°4	0,929 0,908 0,927	9.800 9.850 9.750	21.100 21.700 21.100	26,3 25,6 26,4	26,1
31/3/60	H=0m,40 Q = 12	D: R.D. Milieu R.G.	20° 23°2 24	0,956 0,893 0,879	7.500 6.700 6.500	15.700 15.000 14.800	35,4 37 37,5	36,6

- 4 - Station d'ISSAFAYE

Date	Cote & Débit m ³ /s	Reperage du prélevement	T°	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa mg/l moyen
14/11/59	En crue	Milieu	25°	0,861	12.950	30.000	18,5
			26°6	0,851	13.000	30.600	18,2 : 18,3

- 5 - Station de DJIN-DJIN

Date	Cote & Débit m ³ /s	Reperage du prélevement	T°	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa mg/l moyen	
29/10/59	H=2,24 Q = 24,5	C: Milieu	28°6	0,806	10.800	26.810	20,7	
			28°	0,814	11.750	28.860	19,2 : 19,9	
30/11/59	H=2,75 Q = 36,4	C: Milieu	25°4	0,854	10.480	24.600	22,6	
			25°2	0,858	9.625	22.400	24,8 : 23,7	
15/2/60	H=2,87 Q = 45,2	D: R.G.	23°8	0,882	8.750	19.800	28	
			Milieu	23°5	0,888	9.000	20.300	27,4
				R.D.	22°6	0,904	9.000	19.900
3/3/60	H=2,30 Q = 23	D: R.G.	20°5	0,946	8.850	18.700	29,7	
			Milieu	19°9	0,958	9.000	18.800	29,6
				R.D.	20°2	0,952	8.850	18.600
1/4/60	H=0,79 Q = 2,2	D: R.G.	19°6	0,965	5.400	11.200	49,5	
			Milieu	18°2	0,995	6.350	12.770	43,5
				R.D.	19°8	0,967	6.750	13.990

- 6 - Station de GOUNDAM

Date	Cote & Débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	To	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa moy.	mg/l
25/8/59	H = 0,50 Q = 10	C: 12 m de R.G. : 52 m de R.G.	25°4	0,854	7.700	18.000	30,9	31,7
20/10/59	H = 1,04 Q = 42	C: R.G. : Milieu	26°2	0,842	12.250	29.120	19,1	19
30/11/59	H = 1,49 Q = 87	C: R.G. : Milieu	25°1	0,859	10.750	25.000	22,2	22
15/12/59	H = 1,60 Q = 100	C: R.G. : Milieu	19°7	0,963	11.300	23.460	23,6	23,1
13/1/60	H = 2,00 Q = 155	D: 60 m de R.G. : 20 m de R.G.	24°4	0,872	9.800	22.500	24,7	24,1
20/2/60	H = 1,25 Q = 61	D: R.D. : Milieu : R.G.	17°7	1,008	9.500	18.900	29,4	30,5
4/3/60	H = 0,95 Q = 37	D: R.D. : Milieu : R.G.	23°	0,897	8.600	19.200	29	28,9
4/4/60	H = 0,20 Q = # 0	D: R.D. : Milieu : R.G.	24°5	0,870	5.400	12.420	44,7	41,4

- 7 - Station piézométrique du Lac TELE

Date	Cote & Débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	To	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa moy.	mg/l
9/3/60	H = 0,87	D: 10 mdu bord	25°3	0,856	6.850	16.000	34,7	34,5
7/5/60	H = 0,34	: 10 mdu bord	20°7	0,942	5.650	12.000	46,3	46,3

- 8 - Station d'ALFAO

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	α	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa mg/l moy.
6/9/59	H = 4,05	D: près R.G.	25°6 : 0,851 25°8 : 0,848		3.870 4.000	9.100 9.450	61 58,7 : 59,9
22/10/59	H = 4,01	D: 10 m de R.G.	25°4 : 0,854 25°8 : 0,848		7.180 6.585	16.780 15.530	33,1 35,7 : 34,4
-	-	R.D	26°2 : 0,842 26°4 : 0,839		10.250 10.200	24.360 24.300	22,8 22,8 : 22,8
28/10/59	H = 4,00	D: près R.G.	25°8 : 0,848 24°6 : 0,868		8.800 9.100	20.800 21.000	26,7 26,4 : 26,5
10/12/59	H = 4,01	10 m de R.G.	21°9 : 0,918 22°2 : 0,912		8.370 8.100	18.200 17.780	30,3 31,2 : 30,7
-	-	Milieu	22°1 : 0,914 22° : 0,916		10.750 10.900	23.500 23.800	23,6 23,3 : 23,4
11/2/60	H = 4,48	C: 10 m de R.G.	24°1 : 0,877 23°9 : 0,880		6.800 7.000	15.500 16.050	35,6 34,6 : 35,1
-	-	Milieu	23°1 : 0,895 23° : 0,890		8.600 8.500	19.200 19.100	28,6 29 : 28,8
-	-	près R.D.	22°3 : 0,910 22° : 0,915		8.900 8.700	19.600 19.050	28,4 29,1 : 28,7
22/3/60	H = 4,43	D: R.D.	17°6 : 1,011 19°9 : 0,958		7.000 6.300	13.880 13.150	40 42,3 : 41,1
-	-	Milieu	18°5 : 0,988 20°8 : 0,940		7.500 6.900	15.200 14.690	36,6 37,8 : 37,2
-	-	R.G.	19° : 0,978 20° : 0,912		7.500 6.900	15.380 15.120	36,2 36,7 : 36,4

9 - Station de BINTAGOUNGOU

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T ₀	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa	mg/l moy
28/10/59	Décrue	1000m du bord	26°3	0,840	3.545	8.440	66	
			26°	0,845	3.570	8.450	66	66
10/12/59	Crue	10m du bord	22°3	0,910	8.100	17.800	31,2	
			22°2	0,912	8.050	17.660	31,4	31,3
-	-	500m du bord	22°6	0,905	6.400	14.140	39,3	
			22°4	0,908	6.500	14.300	38,8	39
-	-	1000m du bord	22°2	0,912	3.580	7.855	70,7	
			22°3	0,910	3.560	7.830	70,9	70,8
9/1/60	id.	10m du bord	22°2	0,912	9.450	20.720	26,8	
			23°2	0,894	9.300	20.800	26,7	26,7
-	-	500m du bord	24°	0,879	8.800	20.040	27,7	
			24°2	0,875	9.300	21.260	26,1	26,9

10. - Station de TOUKABANGOU

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T°	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa : mg/l : moy.
5/9/59	Décrue	10 m rive	19°	0,977	2.500	5.120	108,5
			19°5	0,967	2.450	5.070	109,5
-	-	500m rive	25°	0,860	2.250	5.240	106
			23°4	0,890	2.310	5.190	107
-	-	1000 m rive	20°6	0,944	2.380	5.040	110
			25°	0,860	2.160	5.020	111
28/10/59	Décrue	10 m rive	25°6	0,851	2.440	5.740	97
			25°9	0,847	2.420	5.720	97
-	-	500m rive	24°8	0,864	2.370	5.480	101
			25°1	0,859	2.350	5.470	101
-	-	1000 m rive	25°8	0,848	2.320	5.475	101
			25°5	0,853	2.325	5.450	102
10/12/59	Crue	10 m rive	20°	0,956	2.850	5.950	93,5
			21°	0,936	2.800	5.980	93
-	-	500 m rive	19°2	0,973	2.950	6.060	91,5
			20°1	0,954	2.895	6.075	91
-	-	1000 m rive	21°9	0,918	2.730	5.940	93,5
			21°9	0,918	2.730	5.940	93,5
9/1/60	-	près rive	24°5	0,870	3.730	8.570	64,8
			24°3	0,874	3.760	8.630	64,3
11/2/60	-	10 m rive	20°5	0,946	2.900	6.120	90,6
			20°9	0,937	2.850	6.080	91,2
-	-	500 m rive	21°2	0,932	2.800	6.000	92,5
			21°4	0,928	2.800	6.030	92
-	-	1000 m rive	22°4	0,908	2.700	5.950	93,4
			22°6	0,904	2.720	6.020	92,3

10 - Station de TOUKABANGOU (suite)

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa moy	mg/l
22/3/60	Décrue	10 m rive	18°8	0,982	2.600	5.300	104,7	
			21°2	0,932	2.400	5.150	108	106,3
-	-	500 m rive	18°5	0,987	2.550	5.117	107,2	
			20°8	0,940	2.350	5.000	111	109
-	-	1000m rive	19°6	0,965	2.500	5.180	107	
			20°6	0,946	2.400	5.070	109,5	108

11 - Station de M'BOUNA

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa moy	mg/l
3/9/59	H= 3,60 D	10m du bord	20°2	0,952	2.350	4.935	113	
			20°6	0,944	2.300	4.875	114	113,5
-		500m "	21°9	0,917	2.380	5.200	107	
			22°4	0,907	2.290	5.050	109	108
-		1000m "	18°5	0,990	2.560	5.170	107	
			19°	0,978	2.530	5.170	107	107
22/10/59	H= 3,42 D	10 m "	28°8	0,803	2.010	5.010	111	
			29°	0,800	1.995	4.995	111	111
-		500m "	29°	0,800	2.000	5.000	111	
			28°8	0,803	2.010	5.010	111	111
-		1000m "	28°8	0,803	2.030	5.050	110	
			29°	0,800	2.010	5.025	110	110

11 - Station de M'BOUNA (suite)

Date	Cote & débit m ³ /s	Repérage du prélèvement	T	A	Lecture L	R = $\frac{2L}{A}$	ClNa moy.	mg/l
9/12/59	H = 3,64 Crue	10m du bord	19°1 18°8	0,976 0,982	2.470 2.485	5.060 5.065	110 110	110
-	-	500 m "	19°4 19°2	0,969 0,973	2.465 2.430	5.080 4.995	109 111	110
-	-	1000m "	18°9 19°2	0,980 0,973	2.470 2.430	5.025 4.985	110 111	110,5
9/1/60	H = 3,86 Crue	10m du bord	23°6 23°3	0,886 0,892	2.080 2.080	4.680 4.660	118 119	118,5
-	-	500 m "	23°6 24°	0,886 0,879	2.200 2.160	4.960 4.915	112 113	112,5
-	-	1000m "	24° 23°8	0,879 0,883	2.160 2.175	4.920 4.925	113 113	113
11/2/60	H = 4,12 Crue	10m "	18°7 18°8	0,984 0,982	2.360 2.400	4.800 4.890	115,5 114	114
-	-	500 m "	20°5 20°4	0,946 0,916	2.500 2.400	5.290 5.230	105 106	105,5
-	-	1000m "	22°2 20°6	0,912 0,944	2.370 2.450	5.200 5.200	107 107	107
22/3/60	H = 4,10 Décrué	10 m "	20°8 22°4	0,940 0,908	2.300 2.200	4.900 4.850	113 114	114
-	-	500 m "	19°6 22°2	0,965 0,912	2.450 2.250	5.075 4.930	110,5 112,5	111,5
-	-	1000m "	19°6 22	0,965 0,915	2.400 2.250	4.970 4.887	111,5 113,5	112,5

D. - INTERPRETATION des RESULTATS

Pour les 6 stations de cours d'eau, les quelques mesures au cours desquelles on procéda à plusieurs prises d'échantillon font apparaître une remarquable homogénéité des salinités dans le profil. Ceci s'explique normalement par le brassage dû au courant.

On remarque aussi que les variations de la salinité dans le temps, au cours d'un cycle hydrologique, sont les mêmes en tous les points (graphique n° 7). L'exemple de GOUNDAM - où l'on dispose de 8 observations - est le plus significatif :

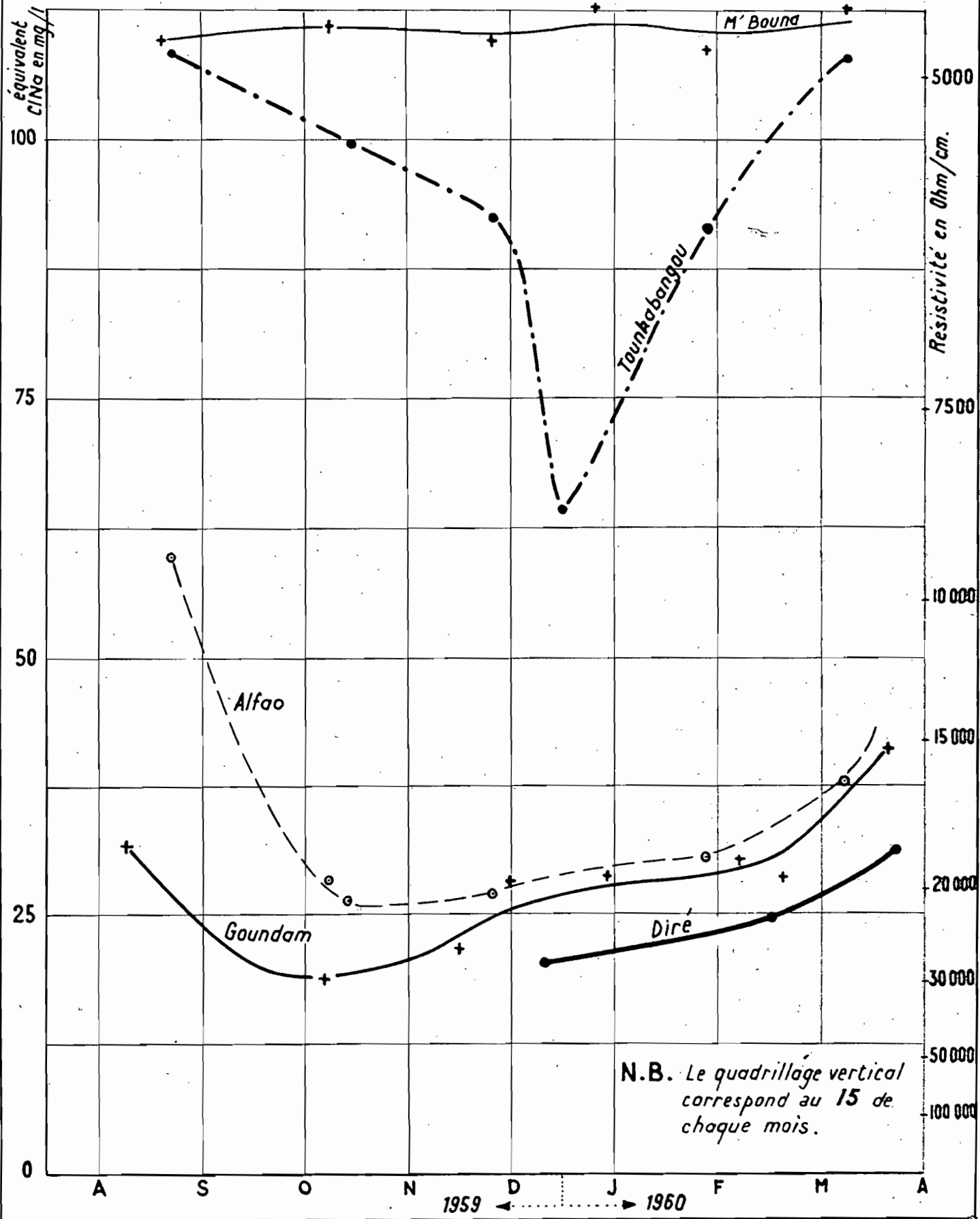
- 1 - En étiage, l'écoulement est nul ou presque et l'évaporation intense sur les mares résiduelles. La salinité est assez élevée, et l'arrivée des premiers ruissellements d'Août la voit encore supérieure à 30 mg/l.
- 2 - En Octobre, l'onde de crue du KESSOU amène les eaux fraîches et peu salées de la crue du NIGER et la salinité tombe à 19 mg/l.
- 3 - Elle va croître ensuite faiblement jusqu'au maximum de la crue, plus fortement pendant la décrue.
- 4 - En Avril, on retrouve une salinité de 41 mg/l pour un débit presque nul.

De DIRE à GOUNDAM, les salinités sont du même ordre de grandeur : elles varient entre 40 mg/l aux basses eaux et 20 mg/l en hautes eaux.

Pour suivre l'évolution de la salinité entre ces 2 stations, on ne peut prendre son maximum comme élément de comparaison, car pour les cours d'eau du KESSOU qui restent à sec quelques mois par an, cette valeur n'aurait plus de sens.

Comme nous disposons d'une série complète d'observations aux alentours du maximum de la crue 1959-60, nous allons en suivre les variations dans l'espace de la salinité à cet instant.

VARIATIONS ANNUELLES DE LA SALINITÉ DES EAUX



N.B. Le quadrillage vertical correspond au 15 de chaque mois.

NIG_10 204

Dans le KESSOU, la salinité au moment de l'étale semble croître très légèrement, mais l'écart entre les valeurs observées à DIRE et GOUNDAM n'étant que de 18 %, il n'est guère significatif :

DIRE	20 mg/l		
BOUREM	20		
KANEYE	22,5	DJIN-DJIN	env. 25 mg/l
	GOUNDAM	23-24	mg/l

L'onde de crue maximale traverse le lac TELE où elle subit une légère évaporation, ce qui relève sa salinité moyenne jusque vers 30 mg/l à ALFAO.

Au débouché du seuil de KAMA'NA, l'onde d'eau douce passe juste devant le village de BINTAGOUNGOU et la salinité du lac FAGUIBINE en ce lieu ne semble guère différente de celle du lac TELE.

Cette salinité s'accroît brusquement à 6 km de là, au droit de TOUKABANGOU : 90 mg/l au moment du maximum de la crue; 23 km plus loin, près du rivage de M'BOUNA, la salinité atteint 110 mg/l.

On pourrait en conclure que les eaux douces du NIGER ne jouent un rôle efficace que jusqu'au lac TELE et que dès les premiers kilomètres du FAGUIBINE, leur action s'atténue fortement, leur volume étant négligeable devant celui du lac. On ne peut pourtant pas affirmer une telle chose, car nous avons dit au début de ce chapitre que nos mesures n'intéressaient que le 1er kilomètre à partir de la berge. Or, cette berge entre TOUKABANGOU et M'BOUNA s'avance dans le lac, ce qui doit avoir pour effet de repousser vers le large le courant d'eau douce, qui, s'il atteint le méridien de M'BOUNA, doit passer à 4 ou 5 km du rivage.

Comment varie la salinité dans les lacs au cours de l'année ? Le graphique n° 7 à côté des courbes de DIRE et GOUNDAM donne celles d'ALFAO, TOUKABANGOU et M'BOUNA. On y fait 3 constatations :

- 1 - La salinité du lac TELE n'est pas beaucoup supérieure à celle du marigot de GOUNDAM, tout au moins pendant la crue de celui-ci qui, compte tenu de l'étroitesse du lac à ALFAO, en intéresse toute la largeur.

Nous n'avons pas de mesures entre Avril et Août, période sans apport d'eau douce durant laquelle l'eau du TELE est soumise à une forte évaporation ; la salinité doit y être plus élevée que celle observée le 6/9/59, soit 60 mg/l.

- 2 - La salinité des eaux croît brutalement entre BINTA-GOUNGOU et TOUKABANGOU, mais on voit encore nettement à cette 2ème station l'arrivée de l'eau douce qui abaisse la salinité de 90 à 65 mg/l en Janvier.
- 3 - La salinité est pratiquement constante à M'BOUNA, le long de la rive et égale à 110 mg/l.

Pour clore ce chapitre des salinités, nous tenons à faire les trois remarques suivantes :

1ère remarque - Dans le KESSOU, la salinité est minimale en Octobre, au début de la crue ; dans les lacs, elle diminue nettement avant l'arrivée des eaux douces du marigot de GOUNDAM.

Il faut en chercher l'explication du côté des pluies de Juillet à Septembre dont l'action adoucissante n'est pas négligeable puisqu'elles représentent environ 20 % du volume total des apports aux lacs.

2ème remarque - Nous avons déjà dit que les équivalents en $ClNa$ qui nous ont servi pour représenter la salinité des eaux diffèrent de la teneur en sels totaux. En effet G. PALAUSI (1) donne ces teneurs obtenues en extraits secs à 110° :

87 mg à DIRE

100 mg à GOUNDAM

160 mg dans le FAGUIBINE

Elles sont 1,5 à 2 fois plus élevés que nos équivalents $ClNa$, ce qui est normal puisqu'elles comprennent les débits solides en plus des sels dissous. Intervient aussi la composition des sels, par le rapport SO_4/Cl , ici plus petit que 1, ce qui confirme cette différence.

3ème remarque - N'ayant pas pu faire d'observations à RAZ-el-MA situé à l'extrême pointe occidentale du lac, on ne peut affirmer que les 110 mg/l de M'BOUNA représentent la salinité maximale du lac.

En effet, les eaux douces arrivent chargées à 30 ou 40 mg/l ; l'accroissement de salinité n'est que de 300 % environ. Or, sur le lac TCHAD, très bien étudié

(1) Hydrologie profonde du Delta Central Nigérien - Octobre 1953

à cet égard, la salinité des eaux douces du CHARI, qui titrent 40 mg/l, est multipliée par 10 pour atteindre 400 mg/l sur les bords septentrionaux de ce lac. Un phénomène comparable doit se produire sur le FAGUIBINE et il serait raisonnable d'estimer entre 250 et 400 mg/l, par exemple, la salinité maximale du lac FAGUIBINE le long de la berge, vers RAZ-el-MA.

Quoiqu'il en soit, une telle salinité reste faible pour un lac qui évapore une lame d'eau d'environ 2 m,25 par an, déduction faite des apports des précipitations.

En période humide, comme c'est le cas des 10 récentes années, la superficie du lac FAGUIBINE oscille autour de 800 km². Une évaporation annuelle de quelque 1,8 milliard de m³ devrait enrichir le lac de 200.000 tonnes de sels dissous si l'on prend une salinité moyenne de 110 mg/l.

Pour justifier le maintien de la salinité des eaux lacustres à un si faible niveau, la seule explication plausible consisterait à admettre un processus comparable à celui observé sur le 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.

Cette hypothèse a été pratiquement vérifiée par A. BOUCHARDEAU pour le lac TCHAD. Quant au FAGUIBINE, nous devons signaler qu'elle a déjà été formulée, avec de solides arguments à l'appui par le géologue G. PALAUSI dans son 2ème sujet de thèse "Hydrogéologie de la zone saharo-soudanaise au N.W. de la Boucle du NIGER" Novembre 1958.

L'existence, au nord du lac FAGUIBINE, dans la région prédesertique de l'AZAOUAD, d'une excellente couche aquifère, localisée dans les grès argileux du Continental Terminal, ne peut s'expliquer que si elle est alimentée par infiltration des eaux du FAGUIBINE, la dorsale primaire (Mts de GOUNDAM) constituant un barrage souterrain qui fait obstacle à l'alimentation par les eaux de la nappe phréatique du NIGER.

En général, les lacs rive gauche ont un fond imperméable (d'après VIGUIER), mais la bordure supérieure du lac FAGUIBINE est formée de sables particulièrement perméables, ce qui permet d'envisager la possibilité d'infiltrations pendant les cycles humides, lorsque le lac est plein.

En volume, l'infiltration que PALAUSI place entre 25 et 50 millions de m³, d'après la perméabilité des sables, ne représente évidemment que quelques % de l'évaporation, mais cette quantité d'eau est suffisante pour alimenter la nappe de l'AZAOUAD.

Deux arguments en faveur de cette alimentation depuis le FAGUIBINE :

- a) la nappe plonge vers le Nord si l'on regarde les cotes de l'eau dans les puits
- b) la concentration en sels dissous s'accroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du FAGUIBINE, ainsi que le rapport Mg/Ca alors que le rapport So_4/Cl reste constant justifiant l'origine homogène des eaux.

Deux questions restent à résoudre avant de porter un jugement définitif sur le projet d'aménagement des lacs TELE et FAGUIBINE :

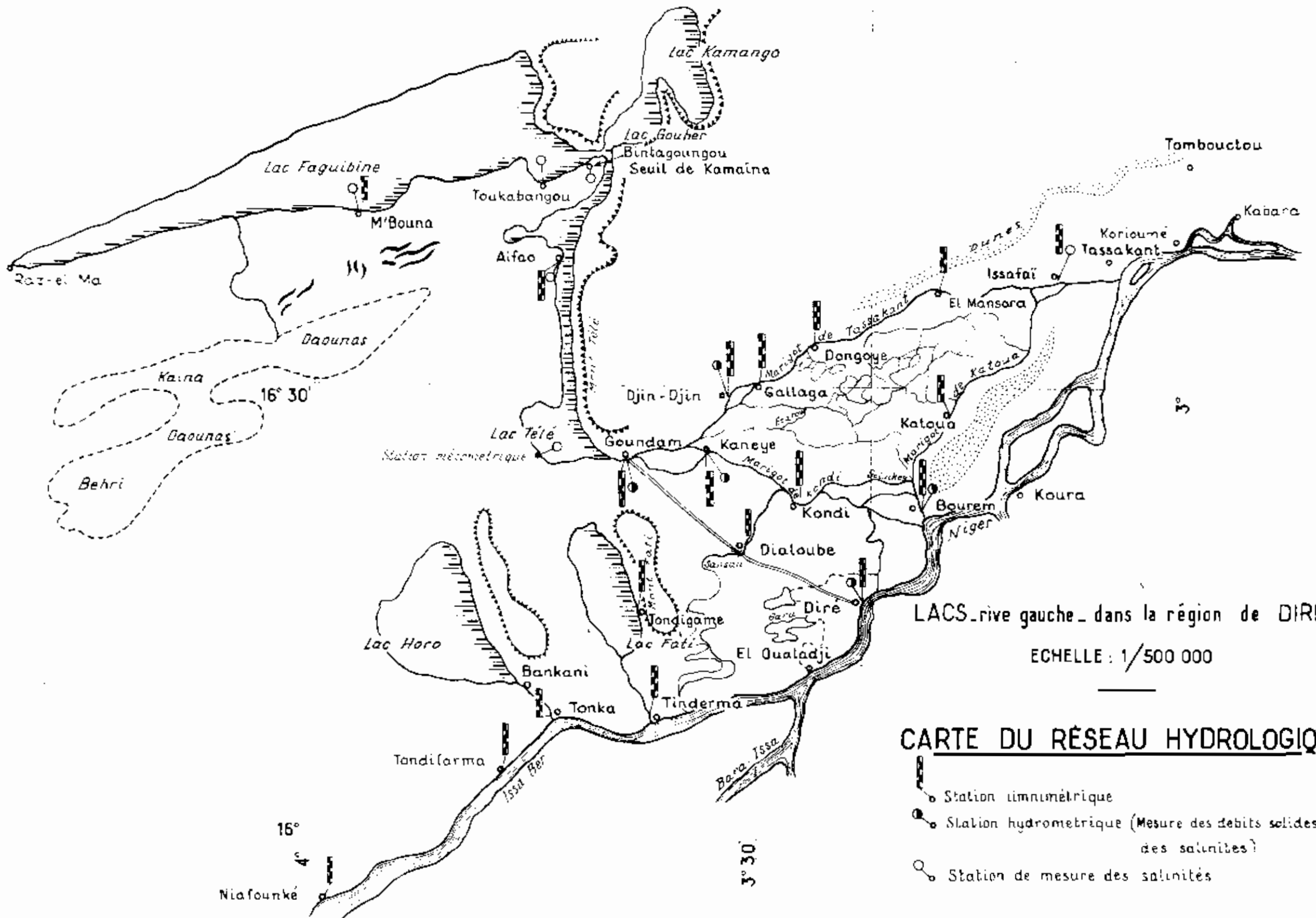
- 1°) il faudrait étudier la variation des perméabilités des sols riverains du FAGUIBINE pour connaître la cote à partir de laquelle cesse l'infiltration, et savoir si la régularisation du plan d'eau du lac, après l'aménagement, pourra se faire à une cote suffisamment élevée pour que cette infiltration continue afin que la nappe de l'AZAOUAD ne soit pas menacée de tarissement
- 2°) l'estimation par PALAUSI du volume infiltré nous semble faible, car il ne représente que 3 % environ du volume moyen des apports annuels. On comprend mal qu'une si faible ponction suffise à empêcher la croissance des salinités des 97 % d'eau restant dans le lac, même si l'eau infiltrée a une salure quatre fois plus élevée (400 mg) que la moyenne (100 mg).

La détermination plus précise de ce volume infiltré est une étude nécessaire qui irait de pair avec celle des perméabilités.

Il faut admettre que les sols recouverts par les eaux du FAGUIBINE ou soumis à l'humidification par ces eaux jouent un rôle fixateur de sels suffisamment important pour "tamponner" l'échange sol-eau et freiner la salinisation de l'eau. Un calcul rapide montre que ce rôle de frein est efficace si l'épaisseur de sol intéressé est d'environ 1,50 m ; seule évidemment, l'analyse des prélèvements d'échantillons du sol inondé pourrait confirmer cette hypothèse.

Fixation de sels par les sols et infiltration semblent pouvoir maintenir le niveau de la salinité des eaux à l'échelle humaine, mais il semble bien que l'accroissement de cette salinité soit un phénomène inéluctable à l'échelle géologique. Seul le tarissement de la nappe de l'AZAOUAD reste un danger réel et immédiat en cas d'aménagement ; les études complémentaires demandées ci-dessus doivent permettre de préciser si la menace de salure excessive risque d'affecter réellement les sols riverains.

17°



LACS_rive gauche_ dans la région de DIRE
ECHELLE : 1/500 000

CARTE DU RÉSEAU HYDROLOGIQUE

- Station limnométrique
- Station hydrométrique (Mesure des débits solides et des salinités)
- Station de mesure des salinités

2 ème PARTIE

ETUDES CLIMATIQUES

CHAPITRE 1er - LE CLIMAT DANS LA REGION DES LACS RIVE GAUCHE

A - Les PRINCIPAUX ASPECTS du CLIMAT

Nous disposons des observations à deux stations climatiques pour définir les principaux aspects du climat de type sahélien, auquel est soumise la région étudiée :

- a) TOMBOUCTOU (16°46' N - 3°01' W) située sur le même parallèle que le lac FAGUIDE, et à 13 km environ du NIGER alors que la cuvette lacustre s'achève. Son microclimat est assez sec. La station fonctionne depuis 1949.
- b) NIAFUNKE (15°56' N - 3°59' W), assez nettement au sud de la région étudiée, est située sur la rive gauche du NIGER face à plus de 100 km de zones inondées à l'Est. Son microclimat est humide ; le poste fonctionne depuis 1956.

La stabilité des facteurs climatiques - hormis la pluviométrie - dans le climat sahélien permet, malgré les courtes périodes d'observations, de pouvoir se faire une juste idée de celui-ci.

Le cycle des saisons est bien tranché avec une saison sèche nettement prédominante qui dure 7 à 8 mois, et au cours de laquelle 80 à 100 % des directions des vents s'inscrivent dans le secteur Nord à Est (la direction N-E étant privilégiée) et représentent l'harmattan, qui apporte l'air chaud et sec de l'anticyclone saharien.

Une petite saison des pluies réduite à 3 mois (Juillet, Août et Septembre), précédée d'un ou deux mois de transition, voit le remplacement de l'harmattan par la mousson, humide et fraîche, qui souffle du Sud-Ouest, 90 % des directions de vents observées provenant effectivement du secteur Sud à Ouest.

Il y a peu de vents calmes, c'est-à-dire de vitesse inférieure à 6 kmh ; à TOMBOUCTOU on en compte seulement 15 à 20 % en saison sèche et 30 à 35 % en hivernage. La grande majorité des vents souffle avec des vitesses comprises entre 6 et 25 kmh ; 2 % seulement des vents, de Janvier à Mai, ont des vitesses supérieures à 25 kmh (environ 7 m/s).

Dans le tableau n° 1, on trouvera rassemblées les valeurs moyennes mensuelles des températures maximales (Tx) et minimales (Tn) et des humidités relatives à 6, 12 et 18 h aux 2 stations de TOMBOUCTOU et NIAFUNKE.

Les températures maximales sont à NIAFUNKE toujours inférieures à celle de TOMBOUCTOU d'environ 1° en saison humide et de 3° en saison sèche. Le cycle annuel est double :

- 1 minimum absolu en Janvier (28°3 et 31°6)⁽¹⁾, 1 minimum secondaire en Août (33°6 et 34°8)
- 1 maximum absolu en Mai-Juin (41°1, 43°), 1 maximum secondaire en Octobre (37°4, 40°1).

Le cycle des températures minimales est plus simple :

- 1 minimum en Décembre - Janvier (13°8 - 13°2)
- 1 maximum en Mai - Juin (25°4 - 26°3)
- 1 palier intermédiaire de Juillet à Octobre (23° à 24°).

A NIAFUNKE, les températures nocturnes sont plus faibles de 0°5 à 1°, sauf en Janvier et Février, où l'influence de la latitude joue en faveur de TOMBOUCTOU.

Les écarts journaliers (Tx - Tn) varient régulièrement entre un maximum d'Avril de 17° et 19° et un minimum d'Août voisin de 10°.

(1) les chiffres cités sont relatifs respectivement à NIAFUNKE et TOMBOUCTOU.

TABLEAU N° 1

STATION de TOMBOUCTOU

Moyennes sur la période 1950-1959

Mois	Moyennes mensuelles		Humidité relative %		
	Tn °C	Tx °C	6h	12h	18h
Janvier	13°2	31°6	37	20	25
Février	15°5	34°7	33	17	19
Mars	18°7	38°4	30	15	19
Avril	22°2	41°4	28	14	17
Mai	25°7	43	38	19	20
Juin	26°3	41°8	59	31	30
Juillet	24°9	38	76	45	43
Août	23°7	34°8	86	57	56
Septembre	24°3	36°6	80	44	46
Octobre	23°1	40°1	53	24	30
Novembre	18°4	37°5	39	20	27
Décembre	14°1	31°9	40	22	28
Année moyenne	20°8	37°5	50	27	30

STATION de NIAFUNKE

Moyennes sur la période 1956-1959

Janvier	14°6	28°3	43	28	30
Février	16°4	31°2	39	24	24
Mars	18°4	36°3	30	17	19
Avril	22°5	39°4	27	18	19
Mai	25°3	41°1	40	27	27
Juin	25°4	40°5	53	35	29
Juillet	23°8	34°7	69	51	44
Août	23°2	33°6	79	63	62
Septembre	23°3	35°4	73	56	55
Octobre	21°5	37°4	50	35	36
Novembre	17°2	33°7	37	30	32
Décembre	13°8	29°6	42	31	33
Année moyenne	20°4	35°1	48	35	34

La position privilégiée de NIAFUNKE lui octroie des humidités supérieures à celles de TOMBOUCTOU, surtout à 12 et 18 h ; les écarts vont de 4 à 10 % pour des humidités de 15 à 60 %.

Le cycle annuel des humidités est une simple oscillation entre un minimum d'Avril et un maximum d'Août.

B - Les OBSERVATIONS de la CAMPAGNE 1959-60

La présence de vastes zones inondées (telles que le KESSOU) où de grands lacs créent certainement des microclimats assez particuliers, qui ne sont peut être pas suffisamment et clairement mis en évidence par la simple comparaison des facteurs climatiques observés à NIAFUNKE et TOMBOUCTOU.

Pour apporter une réponse à cette hypothèse, nous avons installé 2 postes climatiques qui ont fonctionné de Juin 1959 à Avril 1960 :

- à GOUNDAM (16°25' N - 3°39' W) à plusieurs centaines de mètres de la rive gauche du marigot, sur le sommet d'une dune, dans un microclimat relativement sec, l'influence des zones inondées du KESSOU étant nettement dominée par celle de l'exposition privilégiée aux vents du N.E.
- à M'BOUNA (16°41' N - 3°59' W) dans le village même, sur les bords du lac FAGUIBINE, protégé des vents du N.E. par la dune littorale, ce qui favorise l'établissement local d'un microclimat humide.

Mus par un souci évident d'homogénéité, nous avons extrait de ces observations les mêmes valeurs que celles qui, figurant au tableau n° 1, nous ont permis de caractériser l'aspect moyen du climat régional.

On trouvera donc les moyennes mensuelles des températures maximales (Tx), minimales (Tn) et des humidités relatives à 6h, 12h et 18h dans les tableaux :

- N° 2 pour la station de GOUNDAM de Juin 1959 à Avril 1960
- N° 3 " " M'BOUNA d°
- N° 4 pour les stations de TOMBOUCTOU et NIAFUNKE, de Janvier 1959 à Avril 1960.

TABLEAU N° 2

STATION : GOUNDAM

Année 1959

Mois	Moyennes en °C		Humidité U %		
	Tn	Tx	7 h	11 h	19 h
Juin	27,3	41,6	61,2	36,9	34,9
Juillet	24,7	39,1	66,3	44,8	44,9
Août	23,8	33,6	83,0	65,6	71,3
Septembre	24,0	36,0	79,3	57,7	61,7
Octobre	22,8	38,9	57,4	37,1	42,7
Novembre	18,9	35,5	41,1	30,5	36,3
Décembre	13,0	29,0	48,3	36,2	45,8

Année 1960

Janvier	12,5	29,2	40,5	26,8	37,8
Février	14,9	33,6	37,2	29,1	36,4
Mars	16,8	35,3	27,1	15,7	20,6
Avril	21,3	38,3	27,9	19,6	22,1

TABLEAU N° 3

STATION : M'BOUNA

Année 1959

Mois	Moyennes en °C		Humidité U %		
	Tn	Tx	7h	11 h	19 h
Juin					
Juillet	25,8	37,7	67,2	54,2	52,8
Août	24,7	34,0	82,1	64,3	63,1
Septembre	24,0	36,1	79,5	58,5	58,0
Octobre	23,0	37,4	62,2	43,4	50,9
Novembre	21,1	34,4	50,6	32,6	44,6
Décembre	15,2	27,5	57,2	34,9	45,2

Année 1960

Janvier	13,8	28,5	54,2	30,1	45,6
Février	15,6	32,6	50,5	31,2	42,9
Mars	19,0	34,6	46,3	30,4	43,7
Avril	21,7	37,5	44,3	26,5	42,5

TABLEAU N° 4

STATION : TOMBOUCTOU

Année 1959

Mois	Moyennes en °C		Humidité U: %		
	Tn	Tx	7h	11 h	19 h
Janvier	13,8	31,6	42	26	32
Février	15,1	34,2	37	21	25
Mars	19,8	39,4	32	16	20
Avril	21,6	42,9	27	13	18
Mai	26,0	43,6	45	22	23
Juin	26,8	43,7	53	27	27
Juillet	25,4	40,2	71	39	37
Août	23,4	34,6	88	61	59
Septembre	23,9	37,5	84	49	50
Octobre	23,0	40,7	55	26	31
Novembre	18,3	38,1	36	19	29
Décembre	12,5	31,4	38	22	28
Année	20,8	38,2	51	28	32

Année 1960

Janvier	12,6	31,8	38	22	27
Février	16,7	36,3	32	17	22
Mars	17,5	38,3	33	17	20
Avril	21,0	40,8	29	16	19

STATION : NIAFUNKE

Année 1959

Mois	Moyenne en °C		Humidité U %		
	Tn	Tx	7h	11 h	19 h
Janvier	15,4	28,5	46	33	36
Février	16,6	30,9	39	31	29
Mars	19,4	36,3	30	17	19
Avril	22,4	40,1	29	20	19
Mai	25,8	41,0	48	33	33
Juin	25,5	41,9	46	29	27
Juillet	24,2	39,1	62	40	38
Août	23,3	33,5	81	67	68
Septembre	23,2	35,5	74	60	61
Octobre	19,5	38,6	49	37	38
Novembre	10,8	34,7	31	27	29
Décembre	7,1	27,3	42	30	31
Année	19,4	35,6	48	35	36

Année 1960

Janvier	5,5	28,7	42	22	22
Février	7,8	33,7	33	20	18
Mars	9,7	36,1	33	20	22
Avril	22,7	39,3	27	16	16

Tout d'abord, quelles particularités animent les périodes observées par rapport aux valeurs moyennes du climat ? La comparaison entre les tableaux n° 1 et 4 nous montre la similitude presque totale des observations de 1959-60 avec l'année moyenne, si ce n'est :

- a) un léger excédent des Tx à TOMBOUCTOU (38°2 contre 37°5)
- b) une anomalie difficilement explicable dans les Tn de NIAFUNKE de Décembre 1959 à Mars 1960. L'apparition d'une "vague de froid" telle que les minimums moyens restent inférieurs à 10° pendant 4 mois (Décembre à Mars) et descendent jusqu'à 5°5 en Janvier, nous semble fort peu probable. Bien que les relevés du Service Météorologique semblent indiquer des froids comparables à 3 autres stations du pays (NARA, TILEMBEYA et M'PESOBA !) nous pensons plutôt qu'il s'agit là d'une erreur de lecture commune à tous les observateurs. Il serait concevable pour NIAFUNKE d'admettre l'existence d'une erreur systématique de 10° ; les relevés ainsi corrigés seraient cependant légèrement supérieurs à ceux des 3 autres années d'observations.

Quels renseignements nous apporte la comparaison des observations effectuées aux 4 stations, dans le domaine des températures ?

Nous avons groupé les variations des Tx et des Tn sur le graphique n° 8. En ce qui concerne les températures maximales, nos constatations sont les suivantes :

- Les Tx de GOUNDAM suivent une variation parallèle à celles de NIAFUNKE qu'elles dépassent de 0°5 environ, sauf en Février, Mars et Avril.
- Les Tx de M'BOUNA sont évidemment plus faibles que celles de GOUNDAM et coïncident souvent avec celles de NIAFUNKE ; elles leur sont nettement inférieures en Février, Mars et Avril sans que, là non plus, nous ne puissions en donner une explication valable.
- La température maximale d'Août est plus élevée à M'BOUNA, nettement moins arrosée que les 2 autres stations.
- La courbe des Tx de TOMBOUCTOU est très au-dessus du groupe des 3 autres.

Relativement aux températures minimales, nous relevons les points saillants ci-après :

- Similitude des T_n de GOUNDAM et TOMBOUCTOU
- Valeurs de T_n à M'BOUNA toujours plus fortes de 1 à 2° en saison sèche ; écart qui s'annule presque en hivernage
- NIAFUNKE est nettement plus froid, mais il y a doute sur les relevés.

La conclusion ressort de l'examen des écarts journaliers $T_x - T_n$:

- Identité des variations thermiques aux 4 stations pendant l'hivernage
- En saison sèche, la rigueur du climat s'atténue en passant de TOMBOUCTOU à GOUNDAM puis à M'BOUNA, ce qui est très net pour cette dernière station et tout à fait en accord avec son implantation dans un creux de dune, au bord du lac FAGUIBINE.

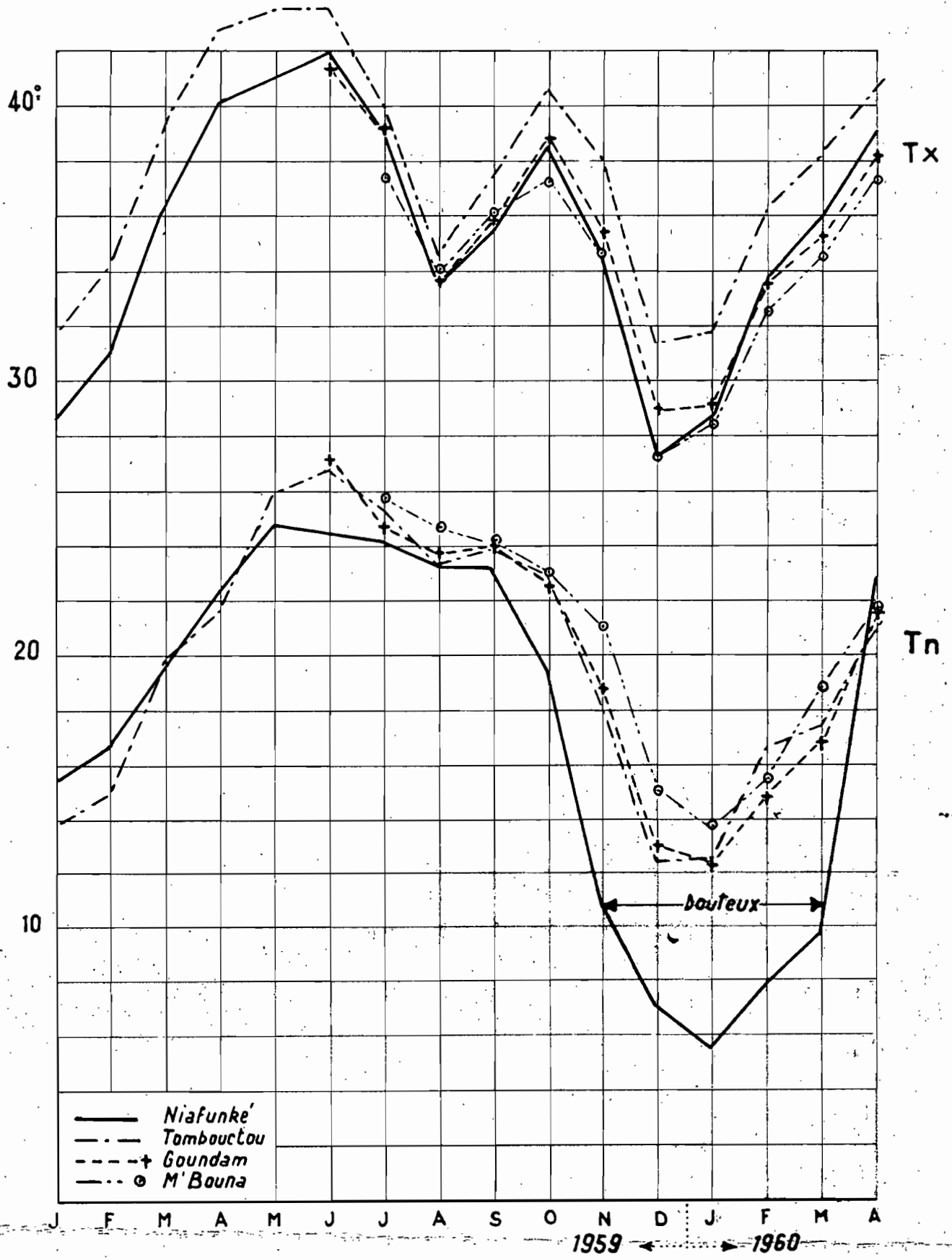
Jetons un dernier regard aux températures, en examinant les valeurs extrêmes atteintes en 10 ans à TOMBOUCTOU : 47°8 et 5°8, parallèlement à celles de GOUNDAM (44°3 et 5°4) et M'BOUNA (42°5 et 9°8) au cours de la période 1959-60. Il est curieux de noter le très faible minimum de GOUNDAM, alors qu'en Décembre 1959 le thermomètre ne descendait pas en-dessous de 7°2 à TOMBOUCTOU.

Peut-on suggérer une explication aux fraîcheurs relatives plus grandes à GOUNDAM et NIAFUNKE en s'appuyant sur le fait que l'harmattan y arrive après s'être chargé d'humidité - donc refroidi - sur les zones inondées du KESSOU ou des lacs rive droite ? Par contre, rien de tel ne se produit pour TOMBOUCTOU et M'BOUNA dont l'orient n'est que rochers et dunes. Si ce phénomène est possible exceptionnellement quelques jours par an, la "vague de froid" de l'hiver 1959-60 à NIAFUNKE reste malgré tout inconcevable.

Et dans le domaine des humidités relatives, que voyons-nous ? (graphique n° 9).

Nous savons déjà que NIAFUNKE est un peu plus humide que TOMBOUCTOU, l'écart étant réduit à 6 h. La courbe

VARIATIONS MENSUELLES DES TEMPÉRATURES



NIG-10205

de variation annuelle d' U_6 de GOUNDAM se confond d'ailleurs avec celle de ces 2 stations ; par contre, aux autres heures du jour de la saison sèche, l'humidité y est relativement plus grande. La décroissance des courbes depuis le maximum d'Août y subit un arrêt caractéristique en Décembre, correspondant à l'apogée d'extension des zones inondées du KESSOU.

Les courbes d'humidité relative de M'BOUNA se détachent nettement au-dessus des 3 autres, en saison sèche, quoique à degré moindre à 12 h. La décroissance annuelle y est lente, et à 18 h par exemple, l'humidité reste sensiblement constante de Novembre à Avril, et égale à 45 %. L'excédent sur les autres stations peut atteindre 10 et 20 % d'humidité.

En hivernage, par contre, et spécialement lors du maximum d'Août, on enregistre un classement des humidités proportionnel à la pluviométrie. Ainsi M'BOUNA, poste peu arrosé, présente-t-il le plus faible maximum d'Août à 18 h, heure privilégiée des tornades.

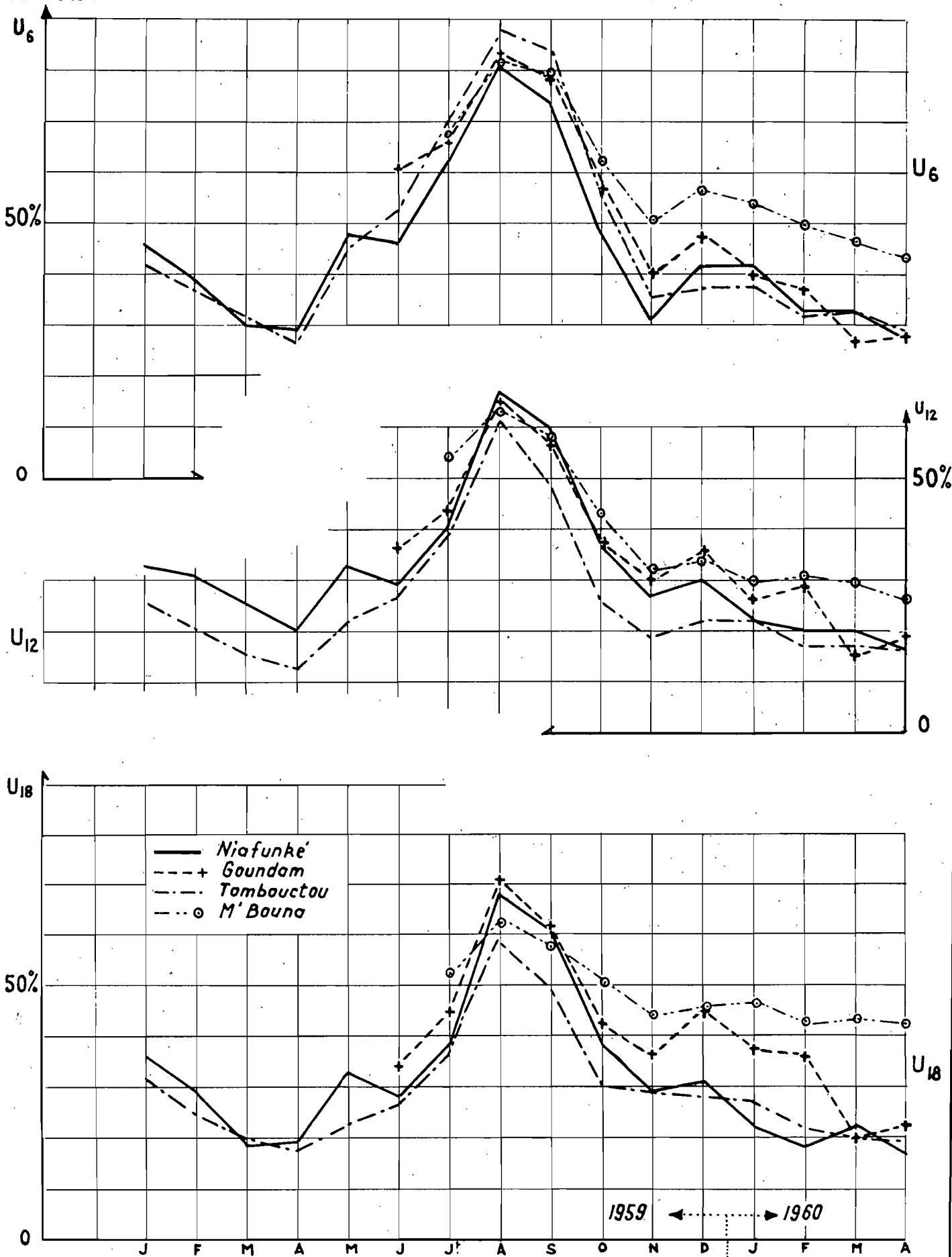
En matière de vents, la comparaison est malaisée.

Pour TOMBOUCTOU et NIAFUNKE, les bulletins du Service Météorologique pour 1959 et 1960 donnent uniquement les vitesses maximales de chaque mois. On y remarque ainsi qu'à NIAFUNKE les vents forts sont rares : 4 à 9 m/s ; alors qu'à TOMBOUCTOU s'ils oscillent dans la même gamme en saison sèche, les rafales annonciatrices des tornades atteignent 15 à 20 m/s.

Nous n'avons pas, à nos stations, d'anémomètre enregistreur, mais seulement un totalisateur à M'BOUNA. Cet appareil, relevé toutes les 12 heures, intègre la vitesse du vent et en donne la moyenne. Cette donnée est suffisante pour être introduite comme terme correctif du coefficient K de la relation $E = k (F - f)$ quand on cherche à relier l'évaporation sur eau libre au déficit hygrométrique.

Nous avons calculé les vitesses moyennes mensuelles du vent et les valeurs maximales des vitesses moyennes de 12 heures.

VARIATIONS MENSUELLES DE L'HUMIDITÉ RELATIVE



NIG_10206

Mois	Vitesse moyenne en m/s	
	du mois	maximale de 12h
Juillet 1959	0,495	1,0
Août "	0,415	1,05
Septemb. "	0,291	0,97
Octobre "	0,200	0,57
Novembre "	0,300	0,75
Décembre "	0,190	0,88
Janvier 1960	0,200	2,10
Février "	0,127	0,63
Mars "	0,157	1,41
Avril "	0,135	0,71

Ces vitesses sont faibles, surtout en saison sèche, mais la présence de la dune littorale constitue un écran certain pour l'harmattan.

CHAPITRE II - LES PRECIPITATIONS

On suivra l'exposé de ce chapitre sur la carte n° II

A - La PLUVIOMETRIE ANNUELLE MOYENNE

Nous reprendrons la période de 35 ans allant de 1923 à 1957 inclus, qui a été choisie comme période de référence dans la Monographie du NIGER. Dans notre région, 3 stations pluviométriques ont été observées pendant cette période : NIAFUNKE, GOUNDAM et KABARA. Des corrections d'hydraulicité ont permis d'y adjoindre EL OUALADJI et TOMBOUCTOU mises en service respectivement en 1935 et 1949.

Les pluviométries moyennes (1923-1957) calculées pour ces 5 stations, à savoir :

NIAFUNKE	323 mm	KABARA	217 mm
EL OUALADJI	300 "	TOMBOUCTOU	220 "
GOUNDAM	267 "		

ont permis de tracer les isohyètes 300 et 200 mm qui encadrent exactement la région étudiée ici.

L'analyse des variations pluviométriques interannuelles a été faite sur les 3 stations de base dont les séries de 35 valeurs observées ont été ajustées suivant une loi de Gauss. On trouvera dans le tableau suivant l'écart type σ de ces ajustements, les hauteurs pluviométriques calculées pour des fréquences décennales fortes (0,1) et faibles (0,9) et le rapport entre ces hauteurs, coefficient caractéristique de l'irrégularité interannuelle.

Stations	Ecart-type en mm	Pluviométries annuelles		Coefficient d'irrégularité interannuelle
		forte (0,1)	faible (0,9)	
NIAFUNKE	79	424	222	1,91
GOUNDAM	73	360	174	2,07
KABARA	68	304	130	2,34

Les régimes pluviométriques sont comparables aux 3 stations, et l'irrégularité interannuelle croît du Sud au Nord.

Les variations saisonnières de la pluviométrie apparaissent à la lecture du tableau des hauteurs mensuelles moyennes calculées pour la période 1923-1957 :

Stations:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
NIAFUNKE	1	0	0	2	5	20	89	122	77	7	0	0
GOUNDAM	0	0	0	10	3	21	78	109	48	7	0	0
KABARA	0	0	0	1	2	20	58	94	38	4	0	0

Plus de 85 % des précipitations tombent de Juillet à Septembre ; il y a en moyenne 22 à 28 jours de pluie par an, du Nord au Sud.

B - La SAISON des PLUIES de 1959

Nous avons profité de la présence de notre hydrologue à GOUNDAM pour essayer d'analyser en détail une saison des pluies. En plus des 5 postes pluviométriques précités - et parmi lesquels DIRE remplace El OUALADJI depuis 1956 - dont les hauteurs mensuelles de pluie nous sont communiquées par le bulletin du Service Météorologique, nous avons installé :

- 2 pluviographes à augets basculeurs et rotation du tambour de 24 h à GOUNDAM et M'BOUNA, mis en service le 1er Juillet
- 10 pluviomètres totalisateurs installés entre les 9 et 25 Juillet, et relevés 2 fois durant l'hivernage.

Ces derniers appareils ont reçu la quasi-totalité des précipitations de 1959, comme nous pouvons le contrôler avec les pluviographes et les pluviomètres de la Météo pour lesquels les pluies antérieures au 1er Juillet sont très faibles.

Nous donnons dans le tableau n° 5, l'état des relevés de nos totalisateurs pour les deux périodes d'observations :

- la 1ère période commence entre le 9 et le 16 Juillet pour 6 appareils et s'achève entre les 21 et 22 Août. Pour 2 autres appareils, elle s'étend du 25/7 au 22/8 et pour les 2 derniers du 25/7 à la fin Août.
- la 2ème période succède à la précédente et s'achève fin Septembre pour tous les appareils.

Pour chaque période de temps différente, nous avons indiqué les relevés correspondant aux pluviographes, pour permettre une éventuelle comparaison du rythme des pluies. Y figurent en outre les hauteurs d'eau recueillies à ces pluviographes avant l'installation des totalisateurs, et le total de la saison des pluies ; ces données ont permis d'estimation du total des précipitations de l'année à ces 10 postes.

A ces documents, nous ajouterons les relevés des postes du Service Météorologique, dont le détail mensuel - hauteurs d'eau et nombre de jours de pluie - figure dans le tableau n° 6 à côté des données de nos pluviographes.

Les hauteurs pluviométriques recueillies en 1959 sont reportées sur la carte II. Quelles conclusions tirer de l'examen de cette carte et des tableaux n° 5 et 6 ?

1- Le nombre de jours de pluie, mis à part NIAFUNKE plus arrosé avec 27 jours, oscille entre 17 et 22 jours. Il faut admettre que le chiffre de 30 avancé pour TOMBOUCTOU est sûrement excessif et doit comprendre les "traces" de pluie.

2- La répartition des pluies dans l'espace fait apparaître 2 points singuliers et bien arrosés : NIAFUNKE avec 375 mm et DIRE avec 281 mm. Le reste de la région peut être scindé en deux groupes :

- de 210 à 240 mm on trouve la région des lacs HORO et FATI (BANKANI, ATA, TONDIGAME) puis l'axe du marigot de TASSAKANT (GOUNDAM-ORSTOM, KANEYE, DONGOYE, ISSAFAYE et TOMBOUCTOU)
- en-dessous de 180 mm, la région du NIGER et de l'Est du KESSOU (KONDI, BOUREM, KABARA) d'une part, et les lacs TELE et FAGUIBINE, d'autre part (ALFAO et M'BOUNA).

TABLEAU N° 5

RELEVES PLUVIOMETRIQUES en 1959
(Totalisateurs)

Pluviomètres	Avant le 16/7	Période des 9-16/7 aux 21-22/8	Période du 25/7 aux 21-22/8	Période du 25/7 au 31/8	Période des 21-22/8 au 30/9	Période des 26-31/8 au 30/9	Total relevé à partir des 9-16/7	Total relevé à partir des 25/7	Total 1959
<u>GOUNDAM</u>	13,4	117,9	101,3	138,5	91,7	54,5	209,6	193,3	240
<u>M'BOUNA</u>	2,0	53,8	52	72,8	61,9	37,5	115,9	114,1	125
DONGOYE		109,2			102		211,2		(230)
KANEYE		95,4			85,6		181		(210)
KONDI		56,5			71,8		128,3		(160)
TONDIGAME		109,2			79,2		188,4		(220)
ATA		95			93,4		188,4		(220)
BANKANI		100			99,9		199,9		(230)
TELE-SUD			92,6		appareil volé				
ALFAO			106,3		55,8			162,1	(175)
ISSAFAYE				130,8		80,6		211,4	(235)
BOUREM				124,8		22		146,8	(180)

N.B.1 Les pluviographes sont soulignés

2 Les chiffres entre () dans la dernière colonne sont des estimations.

TABLEAU N° 6

HAUTEURS d'EAU et NOMBRE de JOURS de PLUIE en 1959
aux STATIONS PRINCIPALES

Stations	Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Année	
NIAFUNKE	3	1	8	2	86	8	150	10	128	6	375	27
DIRE	-		2	1	79	7	159	7	41	5	281	20
GOUNDAM-Météo	2	1	15	2	32	5	84	9	56	4	189	21
GOUNDAM-Orstom	(2)		(15)		30	5	138	10	55	4	240	22
M'BOUNA	-		(6)		4	4	77	9	38	3	125	18
KABARA	-		3	1	18	5	177	9	37	2	175	17
TOMBOUCTOU	0,4	1	4	3	27	9	164	14	40	3	235	30

Dans chaque colonne { le 1er chiffre représente la pluie en millimètres
le 2ème - - - le nombre de jours de pluie

Les chiffres entre () sont des estimations.

Si nous avons l'habitude d'observer de tels écarts sur de petites superficies, il faut convenir que les 2 pluviomètres de GOUNDAM en sont un exemple frappant. En effet, 51 mm séparent les 2 stations distantes de 400 mètres environ ; or, les relevés sont identiques pour tous les mois sauf Août : 84 et 138 mm. On peut admettre que l'averse du 7 Août qui donna 49,4 mm au pluviomètre ORSTOM n'a pas dû atteindre l'autre poste et être ainsi la principale cause de l'écart observé.

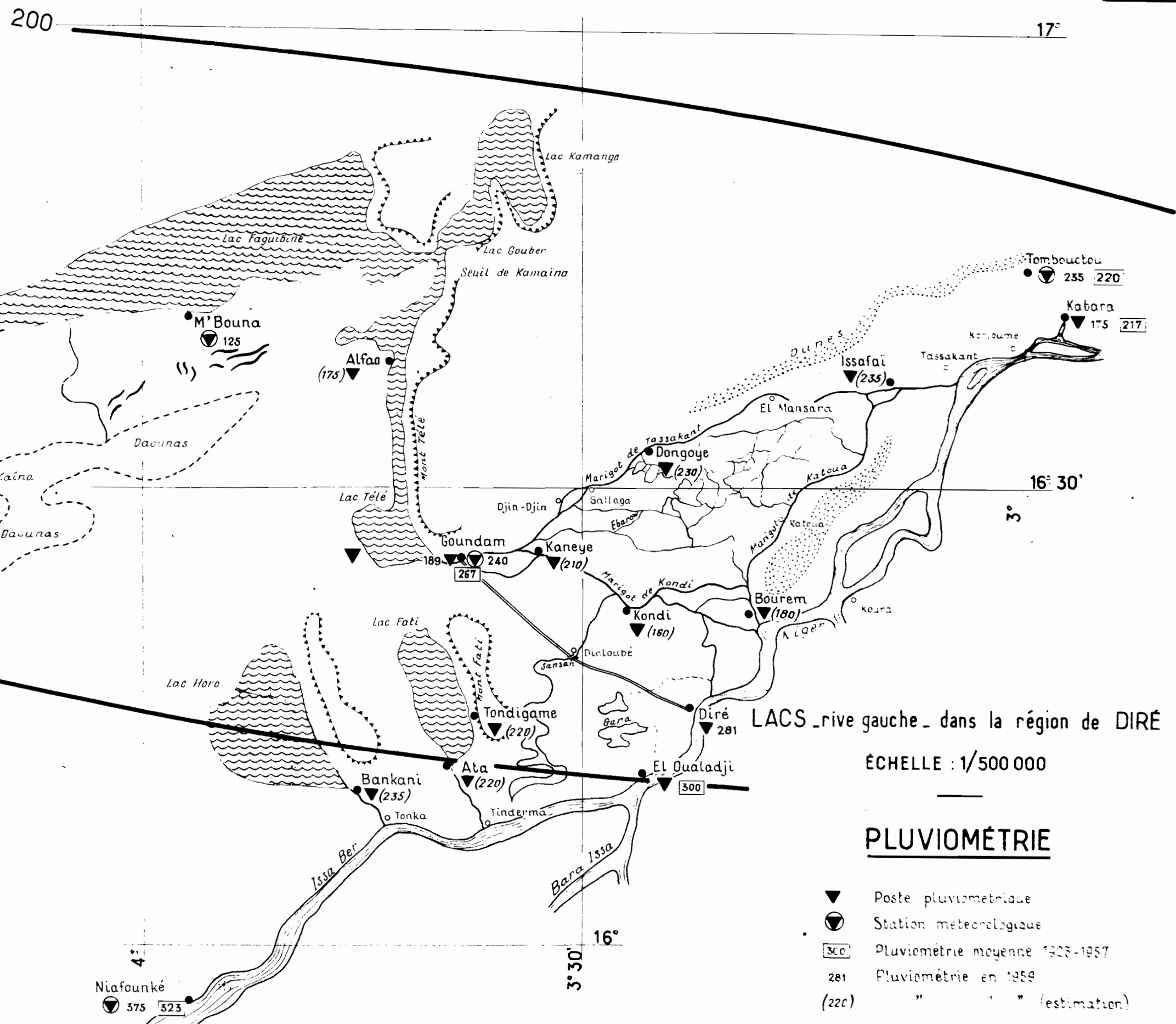
Quant au déficit qui affecte la zone des lacs TELE et FAGUIBINE, il n'est peut-être pas fortuit. On peut, en effet, supposer que le massif gréseux du Nord de GOUNDAM constitue un solide obstacle pour les grains en provenance du Nord-Est. Seule, une étude poursuivie plusieurs années pourrait confirmer cette hypothèse.

3- Quelle fréquence attribuer à 1959 ?

Vis-à-vis des 3 stations de base, la recherche de cette fréquence montre que si NIAFUNKE est assez nettement excédentaire, GOUNDAM et KABARA sont un peu en-dessous de la normale.

Stations	Rang de 1959 sur 35 ans	Fréquence au dépassement
NIAFUNKE	10	0,25
GOUNDAM	21	0,65
KABARA	24	0,73

Dans l'ensemble, l'année 1959 aura été normale ou légèrement déficitaire dans la majeure partie de la région, ce déficit étant plus accusé dans l'Est du KESSOU et vers le lac FAGUIBINE sans qu'il atteigne toutefois une récurrence d'une année sur cinq.



LACS _rive gauche_ dans la région de DIRE

ÉCHELLE : 1/500 000

PLUVIOMÉTRIE

- ▼ Poste pluviométrique
- Station météorologique
- 300 Pluviométrie moyenne 1923-1957
- 281 Pluviométrie en 1959
- (220) " " " (estimation)

NIG_9786 B

CHAPITRE III - EVAPORATION

A - Sur EAU LIBRE, en BAC COLORADO

A côté des postes climatiques de GOUNDAM et M'BOUNA, nous avons installé 2 bacs carrés (1m x 1m) et enterrés plein d'eau. L'évaporation y a été observée du 15 Juin 1959 au 30 Avril 1960. Il est regrettable que le seul hiatus de cette période de 10 mois corresponde précisément aux mois de Mai et Juin au cours desquels l'évaporation est maximale.

Pour pallier cet inconvénient, nous avons fait appel au bac de TIN ADJAR (16°19' N, 1°40' W) sis en plein coeur du GOURMA, à une latitude légèrement inférieure à celle de GOUNDAM. Implanté dans le thalweg d'un petit marigot, au pied d'une chaîne de quartzites, ce bac est légèrement abrité mais son microclimat est cependant sec, sans contestation. Les observations, poursuivies 3 ans (1956-58) par l'ORSTOM, sont des données sûres. Elles figurent dans le tableau n° 7, à côté des relevés de GOUNDAM et M'BOUNA. Les mois manquants à ces 2 stations ont été estimés d'après l'évaporation à TIN ADJAR.

On constate normalement :

- 1) Que le bac de GOUNDAM en microclimat sec et exposé aux vents évapore nettement plus que celui de TIN ADJAR (4100 mm contre 3170 mm) ; l'écart est d'environ 3 mm/jour.
- 2) Que le bac de M'BOUNA, en microclimat très humide sur les bords d'une grande nappe d'eau, et abrité, évapore moins que celui de TIN ADJAR (2 500 mm contre 3 170 mm). L'écart est voisin de 2 mm par jour et s'amenuise lors des mois très chauds.

Le cycle des variations saisonnières est une réplique exacte de celui des températures. Nous ne nous étendrons pas davantage à ce sujet, qui a été développé dans la Monographie du NIGER (Cuvette Lacustre).

L'analyse comparative montre la similitude, sur le plan de l'évaporation, entre les lacs TCHAD et FAGUIBINE. On a trouvé 2280 mm de lame d'eau évaporée par an sur le

TABLEAU N° 7

EVAPORATION sur BAC COLORADO

Périodes	S T A T I O N S		
	TIN-ADJAR	GOUNDAM	M'BOUNA
	Moyennes en mm/jour		
Janvier	7,7	8,6	4,4
Février	7,6	10,8	5,4
Mars	8,3	10,9	6,3
Avril	9,8	12,5	7,6
Mai	10,4	(14)	(8,9)
Juin	11,3	14,9 ⁽¹⁾	(9,5)
Juillet	9,2	12,8	9,3
Août	6,5	8,3	5,3
Septembre	7,6	8,7	6,0
Octobre	9,3	12,1	7,1
Novembre	8,7	12,5	7,2
Décembre	7,8	8,9	5,2
Evaporation annuelle en mm	3.170	4.100	2.500

(1) observations du 14 au 30 seulement

Les chiffres entre () sont des estimations.

ler, ce qui correspond à :

90 % environ de l'évaporation mesurée sur bac situé en microclimat humide, comme celui de M'BOUNA

60 à 70 % de celle que l'on mesure sur un bac en microclimat sec, selon l'exposition aux vents comme c'est le cas pour GOUNDAM et TIN ADJAR.

B - Sur BAC à VEGETATION

Si une grande nappe d'eau libre évapore environ 2m,30 annuellement dans la région de GOUNDAM, il est intéressant de savoir comment se situe comparativement l'évaporation des vastes plaines inondées, couvertes d'herbes, avec une couche d'eau de quelques décimètres, ou même juste affleurante au ras du sol.

La détermination de l'évapotranspiration d'un marécage ou d'une prairie inondée ne peut se faire avec précision qu'à l'aide d'une case lysimétrique. Nous avons remplacé cet appareil coûteux, encombrant, d'une installation et d'un entretien délicats et guère réalisables à GOUNDAM, par un simple bac Colorado.

Dans celui-ci, on dépose une couche drainante de graviers et de sable grossier, matériaux dont la granulométrie allait s'affinant en partant du fond du bac. Au dessus d'elle repose un sol reconstitué horizon par horizon, en prenant soin de n'en pas modifier la structure, et qui provenait des terrains alluvionnaires du lit majeur du marigot de GOUNDAM.

Ce bac est enterré à côté du bac évaporatoire de GOUNDAM. Nous avons renoncé à le voir fonctionner en hivernage, les pluies risquant de troubler nos mesures. (C'est d'ailleurs en saison sèche que les plaines sont inondées). Il a été mis en service le 26 Octobre 1959. Il a fallu d'abord réhydrater le sol sec, puis sa capacité de rétention atteinte, le drainage a commencé ; l'eau de drainage était récupérée par un robinet, placé au fond du bac et déversant dans un récipient clos. Après quelques tâtonnements pour déterminer la dose d'arrosage nécessaire à la réhydratation quotidienne du sol, à la croissance et à la transpiration de la végétation, nous avons adopté le

volume de 15 litres qui, donnant lieu à drainage continu, suffisait à combler ces besoins. Cette dose était distribuée en petites quantités à 7 - 11 - 15 - 19 et 22 heures.

Une fois la végétation herbacée démarrée, nous l'avons systématiquement fauchée quand elle dépassait le rebord du bac, c'est-à-dire environ 10 cm au-dessus du sol, de telle sorte que les besoins de ces herbes sont restés à peu près constants.

La différence entre le volume d'arrosage et le volume drainé représente l'évapotranspiration du sol et de la végétation herbacée qu'il porte. Les calculs ont été faits pour chaque mois et ramenés à une moyenne journalière en millimètres pour faciliter la comparaison avec l'évaporation sur eau libre.

Le tableau suivant donne cette évapotranspiration, en parallèle avec l'évaporation sur l'eau libre du bac de GOUNDAM.

Bac	Moyennes en mm/jour						Totale en mm
	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	
à végétation	12,9	11,6	10,3	9,8	10,3	12,2	2 027
à eau libre	12,5	8,9	8,6	10,8	10,9	12,5	1 944

L'évapotranspiration est excédentaire de 3 à 30 %, entre Novembre et Janvier ; elle devient déficitaire pour la période Février-Avril et ne représente plus alors que 88 à 98 % de l'évaporation sur eau libre.

L'évapotranspiration totale pour les 6 mois de saison sèche correspond à 104 % de l'évaporation sur le bac d'eau libre. L'écart n'est pas très significatif.

Cependant, nous pensons que l'évapotranspiration des plaines inondées doit dépasser celle d'une retenue d'eau libre.

Nous l'aurions peut-être observé en laissant dans le bac croître la végétation sans la faucher, ses besoins auraient certainement été plus importants.

Il n'est guère possible d'épiloguer plus longuement sur cette simple expérimentation, à nos yeux insuffisante pour clore le problème de l'évapotranspiration des plaines inondées.

CHAPITRE IV - ETUDE de la NAPPE RIVERAINE du LAC TELE

A - IMPLANTATION

La connaissance du milieu dans lequel s'effectuent les cultures de décrue sur les rives des lacs est encore imprécise. Nous avons fait un premier pas en avant, en abordant l'étude du mouvement de la nappe riveraine au cours d'un cycle hydrologique et en procédant à diverses mesures de températures et d'humidité du sol.

Le choix de l'implantation de la station piézométrique pour le contrôle des mouvements de la nappe a été le premier problème à résoudre. Problème difficile en ces périodes de hautes eaux qui ne laissent exondés qu'une mince bande de sols argilo-limoneux cultivables entre elles et la dune littorale. Nous avons pu trouver une bande cultivable assez large et accessible rapidement en auto depuis GOUNDAM. Elle se trouve sur la rive occidentale du lac TELE-Sud, peu après l'embranchement des pistes de NIAFUNKE et M'BOUNA (voir cartes I et II).

Le 11 Août 1960, les installations complètement terminées comprenaient 1 échelle, 7 piézomètres et 2 bornes.

Le tableau n° 8 récapitule les données numériques de ces installations, dont on suivra l'exposé détaillé ci-après sur le plan de la station piézométrique (graphique n° 10):

1) Une échelle limnimétrique de 2 mètres dans le lac TELE; grâce à la proximité du carrefour avec la piste de NIAFUNKE où se trouve une borne du nivellement général, M. GOUSTARD a pu lui rattacher l'échelle. Le zéro cote 254 m 035. On se reportera au chapitre II de la 1ère partie quant à l'utilisation purement hydrologique des relevés à cette échelle.

2) Les sept piézomètres sont des tubes métalliques 40/49 constitués d'éléments métriques ou semi-métriques. Nous nous sommes heurtés à l'impossibilité d'enfoncement au-delà de 2 m,50 environ (et même 1 m,50 parfois), par suite du "bourrage" des sols compacts qui inhibait le maniement de la tarière à main, le seul outil de forage dont nous disposions.

3) Deux bornes A et B ; la première sensiblement au niveau des P.H.E. du lac, la seconde 2 mètres plus haut.

Les 4 piézomètres situés entre les 2 bornes, donc hors d'eau, descendant évidemment en-dessous des P.H.E. maximales. Mais la crue 1959-60 ayant été tout simplement moyenne, le lac n'est monté que d'un mètre seulement, rendant ces 4 tubes inutiles. Le "bourrage" au creusement n'a pas permis de prolonger par exemple le P.4 à l'aide du tube du P.7. De telle sorte que 3 piézomètres seulement ont servi à suivre les mouvements de la nappe en crue ; dès l'amorce de la décrue, on a procédé à la pose d'un 4ème appareil, nommé 3 B, entre le P.3 et la borne A pour avoir un point supplémentaire de contrôle de la nappe.

Toutes ces installations ont été rattachées en nivellement et planimétrie à l'échelle du lac, dont le zéro servira de base aux données altimétriques de ce chapitre.

Quels sont les caractères physiques du terrain au droit de cette station ?

A partir du lac et jusque vers le piézomètre 3 B, les sols soumis à l'influence périodique de la submersion lacustre sont des sols hydromorphes, argileux à argilo-limoneux. Entre les bornes A et B, le placage dunaire dépasse au moins 1 m,50, car aucune trace argileuse n'a été rencontrée lors de la pose des piézomètres 4 à 7.

Des échantillons de sol ont été prélevés, lors de la pose des piézomètres. Des sachets en polyéthylène contenant des échantillons des divers horizons traversés au droit de chaque piézomètre ont été envoyés à la Direction de l'Hydraulique à BAMAKO, aux fins d'analyses. Bien que non prévues dans le texte de notre convention, ces analyses auraient pu être effectuées aux moindres frais par le Centre Pédologique ORSTOM de DAKAR-HANN. Les échantillons sont restés à BAMAKO, ce qui nous prive maintenant de renseignements complémentaires très utiles pour expliquer certaines anomalies observées et certainement imputables à des micro-hétérogénéités des sols.

La pente des sols argileux est faible : 0,36 % en moyenne. Le rebord de la dune, entre P. 3 B et P.4, forme "accident du relief" et la pente s'élève à 0,8 % pour redevenir égale à 0,5 % en moyenne sur les sols sableux.

TABLEAU N° 8

TABLEAU d'IMPLANTATION des PIEZOMETRES

N° des piézo-mètres	Cotes des sommets ramenées au zéro échelle	Cote du sol	Distances partielles	Distances cumulées	Longueur des piézomètres
1	0,544	0,46	93 m,6	-	1 m,50
2	0,935	0,83	113 m,1	206 m,7	1 m,50
3	1,460	1,34	108 m,5	315 m,2	1 m,50
3B	-	1,50	45 m	360 m,2	-
Borne A	2,228	1,86	42 m,6	402 m,8	-
4	2,540	2,43	76 m	478 m,8	1 m,50
5	3,148	2,97	141 m,3	620 m,1	1 m,50
6	3,884	3,76	139 m,7	759 m,8	2 m
7	4,276	4,11	134 m,9	894 m,7	2 m,60
Borne B	4,303	3,92	2 m,1	896 m,8	-

N.B.1 - Toutes les valeurs sont exprimées en mètres

N.B.2 - Le bord du lac, le 11-8-59 (0m,20 à l'échelle) sert d'origine à la mesure des distances.

NIG 10 262

ED:

LE: 11/11/1911

DES: J. P. M. M. M. M.

VISA:

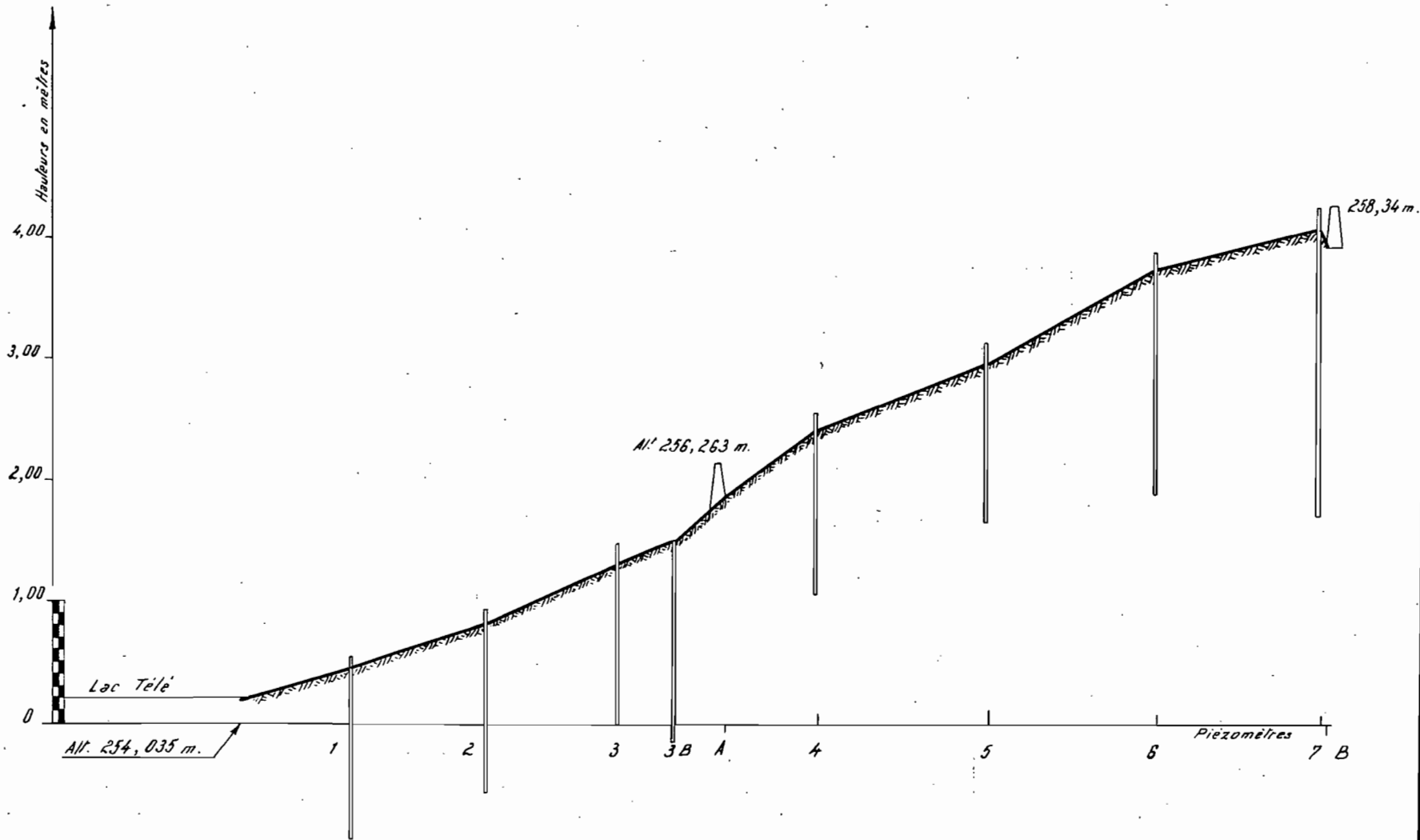
TUBE N°:

A 1

ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

PLAN DE LA STATION PIÉZOMÉTRIQUE DU LAC TÉLÉ

Gr. 10



Echelles des distances horizontales 1 / 5000

La pente du terrain va certainement en s'adoucis-
sant, sous le lac. Actuellement, la tranche de sols argileux
exondés et cultivables est maigre : 360 mètres entre le
bord du lac à l'étiage et de P.3 B. Cette bande est encore
réduite par la lenteur de la décrue qui rend inutilisable
les 200 derniers mètres. Les cultures en 1960 n'ont porté
que sur la frange de 150 mètres entre P.2 et P.3 B. La pré-
paration du sol s'effectue en Février, quand la décrue bien
amorcée libère les terrains et les semailles de mil (DIOKORO)
ont lieu début Mars.

La végétation arbustive naturelle des bords du lac
est composée des espèces caractéristiques de la zone sahé-
lienne, parmi lesquelles on rencontre plus particulièrement :

Acacia sp.
Ziziphus sp.
Maerua sp.
Calotropis procera
Euphorbia Aegyptiaca

La strate herbeuse est peu abondante ; signalons :

Andropogon sp.
Aristida sp.

B - Les MOUVEMENTS de la NAPPE

Couvrant à peu près la totalité d'un cycle hydrolo-
gique, onze série de mesures du niveau de la nappe dans les
tubes piézométriques ont été réalisées entre le 13 Septem-
bre 1959 et le 7 Mai 1960.

Toutes ces mesures dans les piézomètres sont fai-
tes à partir du sommet ; celui-ci étant rattaché au zéro
de l'échelle, on obtient facilement la cote de la nappe
par rapport à celui-ci. Tous les résultats sont groupés dans
le tableau n° 9.

Les onze lignes d'eau, ainsi déterminées, sont re-
portés sur le graphique n° 11. Quelles remarques inspire ce
graphique ?

TABLEAU N° 9

RESULTATS des OBSERVATIONS PIEZOMETRIQUES

N° de la mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Date	13/9/59	21/9	17/10	9/11	27/11	28/12	6/2/60	25/2	9/3	25/3	7/5
Cote à l'échelle	0,29	0,32	0,43	0,55	0,69	1,05	1,105	0,96	0,87	0,705	0,34
Piezomètres											
1	+ 0,004	+ 0,114	+0,234	← submergé				→ +0,074			
2	- 0,415	- 0,435	?	-0,295	-0,035	← submergé			+0,705	+0,370	+0,045
3	← nappe en-dessous du zéro					+0,220	+0,800	+0,605	+0,490	+0,370	+0,155
3 B	← nappe en-dessous du zéro					+0,110	+0,250	+0,180	+0,095	-0,115	

N.B. Les cotes de la nappe sont données par rapport au zéro de l'échelle.

- 1 - La pente de la nappe est forte en crue. Elle est régulière et croît avec la montée des eaux du lac. Egale à 0,38 % lors de la 1ère mesure, effectuée à la mi-Septembre alors que le lac n'est guère monté que 10 cm au-dessus de l'étiage, cette pente s'élèvera jusqu'à 1 % à la 6ème mesure, faite le 28 Décembre, 20 cm en-dessous de la cote maximale.

Ce phénomène est tout à fait normal car le déplacement de l'eau est difficile dans un sol argileux.

- 2 - En décrue, la pente de la nappe diminue de moitié. Lors de la 7ème mesure, le 6 Février, soit environ 15 jours après le maximum et 15 cm plus bas, la pente de la nappe est tombée en-dessous de 0,5 % dans les 100 premiers mètres à partir du lac.

Cette pente va rester sensiblement constante pendant toute la décrue et nous retrouverons le 7 Mai 1960 une ligne d'eau, entre le lac et P.1, à peine plus accentuée que celle des 1ère et 2ème mesures de Septembre 1959.

Il est important de signaler que, durant toute la décrue, le lac reste en charge sur la nappe, et que par conséquent celle-ci ne semble pas devoir restituer d'eau au lac au moment de l'étiage de ce dernier, entre Mai et Août.

- 3 - La pente de la nappe n'est régulière que dans les cent premiers mètres à partir du lac, tant en crue qu'en décrue. Il est normal, dans ces sols argileux, que la perméabilité horizontale soit faible et qu'ainsi le retard dans la propagation des mouvements du plan d'eau lacustre s'accroisse en s'éloignant de celui-ci. En outre, ces sols ne sont certainement pas aussi homogènes que pourrait le laisser entendre le premier examen ; des alternances de zones argileuses et sableuses sont concevables près de la dune. Cette hétérogénéité peut expliquer les variations de pente.

Un exemple frappant de l'hystérésis de la nappe s'observe au P.3 B où la montée des eaux s'est poursuivie de 15 cm environ entre les 2 premières mesures (7 et 8ème) de décrue alors que le lac était déjà redescendu de 30 cm.

- 4 - La pente de la nappe profonde est beaucoup plus faible qu'au bord du lac. En décrue, elle s'annule rapidement. Au début de l'étiage, en Mai, la pente est nulle (aux accidents près) entre P.1 et P.3 B.

Si l'on estime qu'en Août 1960, le lac retrouvant une cote de 0m,20 la nappe doit avoir la même position qu'en Août 1959, il faut admettre qu'entre Mai et Août (soit en 3 mois) le lac descendant de 15 cm, la nappe doit descendre davantage, d'environ 45 cm au droit du P.2 par exemple.

- 5 - Bien que non observée, la position maximale de la nappe peut être estimée à partir des mesures 6 et 7 l'encadrant. On constate ainsi que la nappe n'atteignit jamais la cote zéro au droit du piézomètre n° 4.

En conclusion, nous allons regarder à quelle profondeur se trouvait la nappe pendant la première période du cycle végétatif du mil.

La préparation du sol en fin Février s'est faite, la nappe affleurant au P.2 et atteignant une profondeur de 1,25m dans P.3 B. Lors des semailles, début Mars, la nappe se trouvait entre 0 m,25 et 1 m,30 de profondeur en s'éloignant du lac. La sortie des germes de mil coïncide avec un niveau de la nappe situé entre 0 m,60 et 1 m,30.

Enfin, début Mai, la nappe se trouvait entre 0,80 et 1 m,50 en-dessous du sol. Le mil avait alors 2 mois ; il lui restait 2 à 3 mois pour accomplir son cycle végétatif complet. Il est certain que la nappe devant encore descendre d'environ 0 m,50, le système racinaire de cette graminée ne pouvait prélever l'eau nécessaire à sa consommation que dans la frange humide surmontant la nappe. Quelle était l'importance de cette frange capillaire, nous allons le voir maintenant.

C - VARIATIONS de la TENEUR en EAU du SOL

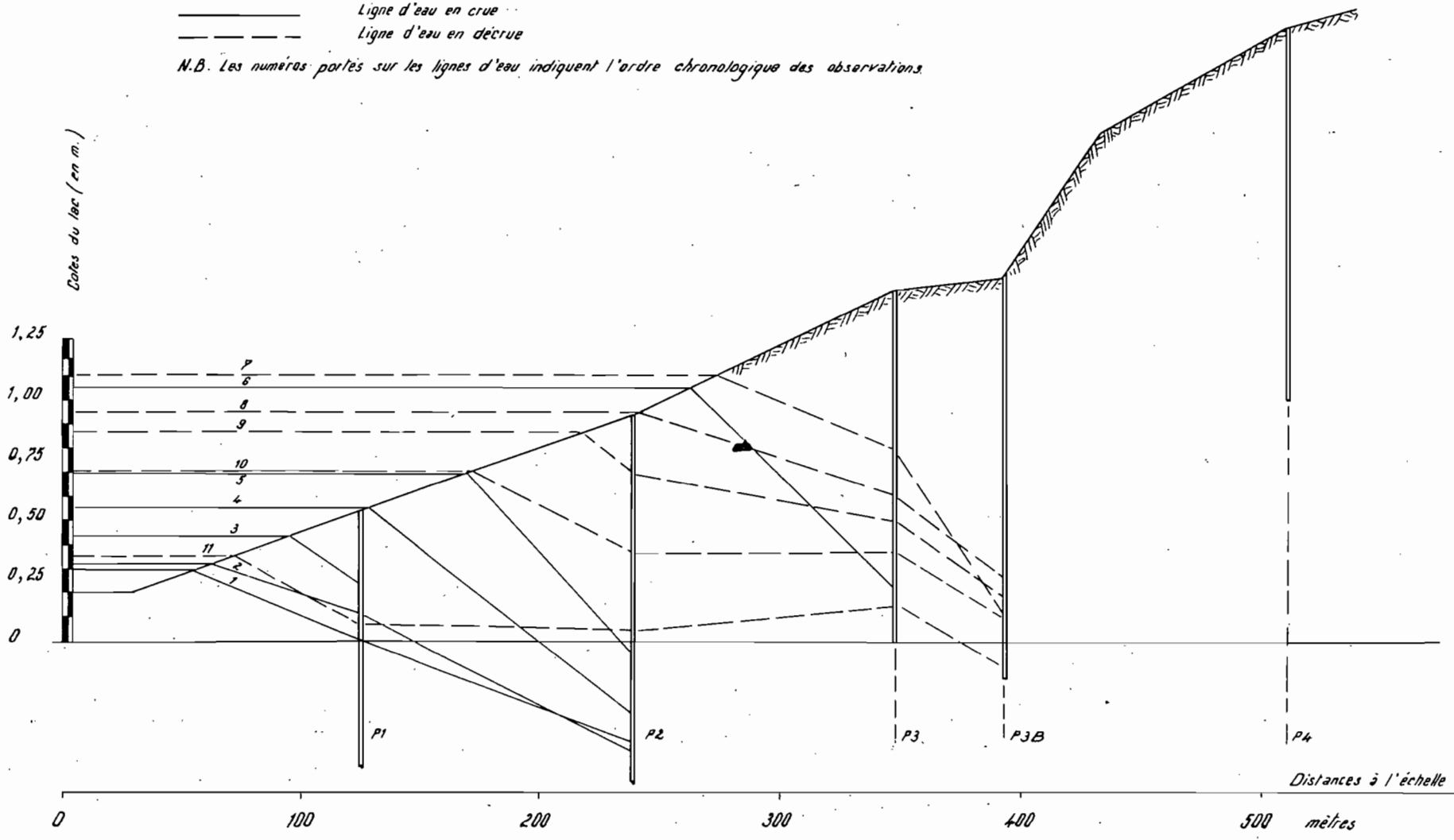
A partir du 21 Septembre 1959, c'est-à-dire le jour du 2ème contrôle de la nappe et à chacun des neuf contrôles suivants, l'hydrologue a procédé en outre à des mesures sur la teneur en eau du sol.

NIG 10 263

Gr. 11

MOUVEMENTS DE LA NAPPE PENDANT LA CRUE 1959 - 1960

_____ Ligne d'eau en crue
 - - - - - Ligne d'eau en décrue
 N.B. Les numéros portés sur les lignes d'eau indiquent l'ordre chronologique des observations.



ED: LE: DES: VISA: TUBE N°: A1
 ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

Sur le terrain, à côté de chaque piézomètre non submergé, un trou était creusé à la tarière. Quatre échantillons de sol étaient prélevés aux profondeurs de 0 m,10 0 m,50, 1 m,00 et 1 m,50 ; ils étaient, dès leur sortie du trou, placés dans des sacs imperméables. L'excès de friabilité de certains échantillons profonds, surtout au droit des piézomètres supérieurs, n'en a pas permis l'extraction.

Le jour même ou le lendemain, à GOUNDAM, l'hydrologue procédait à la mesure des teneurs en eau des divers échantillons prélevés. Il utilisa la méthode des deux pesées séparées par un passage à l'étuve à 105° qui débarrasse l'échantillon de sol de son eau. La différence de poids ramenée à 100 gr d'échantillon originel représente en pourcentage la teneur en eau dudit échantillon. Tous ces résultats sont rassemblés sur le tableau n° 10.

Au cours des 4 derniers contrôles de décrue, notre agent technique effectua en plus :

- des mesures de l'humidité de l'air, à l'aide d'un psychromètre à aspiration, au droit de chaque trou de prélèvement
- des mesures de la température instantanée du sol en surface (dans les 5 premiers centimètres) et à 0m,50 de profondeur dans chacun de ces trous, et à l'heure du prélèvement.
- des mesures des températures maximales et minimales sur un cycle journalier aux profondeurs de 0m,30 et 0m,60. Ces mesures ont été faites dans 2 trous de prélèvement, l'un près du P.3 dans une zone cultivée, l'autre près du P.5, hors de la zone de cultures ; les 2 trous étant recouverts de paille pendant la journée pour éviter l'action perturbatrice de l'insolation sur les 2 thermomètres fichés dans la paroi du trou.

Ces mesures complémentaires sont groupées sur le tableau n° 11.

Toutes les mesures d'humidité sont homogènes. Bien qu'elles aient été effectuées dans des conditions de travail assez précaires, et qu'ainsi leur précision soit diminuée, nous pensons que les teneurs en eau sont cependant très valables et relativement justes pour que l'on puisse en tirer des conclusions intéressantes.

TENEUR en EAU des ECHANTILLONS de SOL (en %)

TABLEAU N° 10

Date	Cote du Lac (m)	Profond. de la nappe à P1 (m)				Profond. à P2	Profond. de P2 (m)				Profond. à P3	Profond. de P3 (m)				
		0,10	0,50	1,00	1,50		0,10	0,50	1,00	1,50		0,10	0,50	1,00	1,50	
21-9-59	0,32	0,43	19,3	24,7	36,9	44,8	1,37	14	20	30,5	42,9	> 1,50	10,7	21,4	26,6	36,4
17-10	0,43	"					(1,30)	3,9	9,5	30,5	TF	"	7,7	15,2	23	36,1
9-11	0,55	"					1,23	5,5	18	31,4	TF	"	4,9	12,6	19	TF
27-11	0,69	"					0,97	4	19,2	32,8	TF	"	6	9	28,1	33,9
28-12	1,05	"										1,24	6,6	16,6	29,4	38,1
6-2-60	1,105	"										0,66	10,6	20,1	30,7	TF
25-2	0,96	"										0,85	11,5	19,8	32,9	41,2
9-3	0,87	"					0,23	25,7	21,9	30,9	40,8	0,97	13	23,9	29,4	39,7
25-3	0,705	"					0,56	22	27,3	32,5	43,1	1,09	7,2	11,3	25,6	38,8
7-5	0,34	"					0,89	17,5	20,4	32,2	42,9	1,30	2,1	10,3	26,1	38,6

Date	Cote du Lac (m)	Nappe à P4				Nappe à P5				Nappe à P6				Nappe à P6			
		Humidités à div. profondeurs près de P4	Humidités à div. profondeurs près de P4	Humidités à div. profondeurs près de P4	Humidités à div. profondeurs près de P4	Humidités à div. profondeurs près de P5	Humidités à div. profondeurs près de P5	Humidités à div. profondeurs près de P5	Humidités à div. profondeurs près de P5	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	Humidités à div. profondeurs près de P6	
21-9-59	0,32	> 1,50	4,9	7,3	8	12,9	> 1,50	5,1	TF	TF	7,8	> 2,00	8	TF	4,1	6,3	
17-10	0,43	"	0,9	3,2	18,9	8,4	"	TF	6,4	5,4	TF	"	1,9	4,2	3,3	4,8	
9-11	0,55	"	0,7	9,1	19,3	TF	"	2	3,3	6	"	"	1,4	2,4	3,2	TF	
27-11	0,69	"	2,2	9,3	2,4	7,9	"	2	2,8	4,5	"	"	1	1,9	3,2	"	
28-12	1,05	"	1,1	7	20,3	6,3	"	4,6	2,7	5,8	"	"	1,5	2,1	3,1	"	
6-2-60	1,105	"	0,4	7,7	20,2	5,3	"	0,7	1,6	5	3	"	0,3	2,3	2	2,5	
25-2	0,96	"	0,9	7,7	12,5	7,9	"	2,3	2,8	5,3	3	"	0,6	2,4	2,4	TF	
9-3	0,87	"	1,3	4,1	20,9	5,1	"	1,0	1,3	3,1	TF	"	0,8	2,3	2,2	"	
25-3	0,705	"	1,0	3,8	19,5	2,8	"	0,9	0,9	4,6	"	"	0,4	1,5	1,2	"	
7-5	0,34	"	0,6	2,3	18,7	8,1	"	0,6	1,2	4,5	4,5	"	0,6	1,1	1,3	2,3	

Date	Cote du Lac (m)	Nappe à P7				Nappe à P7			
		Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7	Humidités à div. profondeurs près de P7
21-9-59	0,32	> 2,60	8,9	3,2	3,8	3,7			
17-10	0,43	"	2	2,4	2,8	TF			
9-11	0,55	"	1,6	1,9	2,8	"			
27-11	0,69	"	1,7	2,2	3,5	"			
28-12	1,05	"	2,1	3	TF	"			
6-2	1,105	"	1	1,6	2,4	3,3			
25-2	0,96	"	1,2	2,1	3	TF			
9-3	0,87	"	0,9	1,7	2,5	3,3			
25-3	0,705	"	1,4	2,7	3,1				
7-5	0,34	"	0,8	1,2	2,2	TF			

N.B.1 - les blancs à P.1 et P.2 correspondent aux périodes de submersion de ces piézomètres

N.B.2 - T.F.: L'échantillon était trop friable pour être remonté à la tarière.

Les remarques qu'elles nous inspirent peuvent se grouper en 6 rubriques :

- 1 - Les mesures effectuées le 21 Septembre 1959 sont, pour les deux premiers horizons (0 m,10 et 0 m,50) nettement supérieures à celles qui leur succéderont. Il faut voir là l'influence des précipitations. Dans la décade précédente, il était en effet tombé 41 mm à GOUNDAM et 20 à M'BOUNA, sans compter la pluie de l'avant-veille - le 19 - qui représentait respectivement 8,4 mm et 18 mm à ces 2 postes. Les abords de la station piézométrique étaient donc, le 21, encore sous l'influence de ces pluies. Sur le graphique n° 12, on voit très bien qu'aux piézomètres 2 et 3, il y a un excédent d'environ 10 % d'humidité sur la mesure suivante.

Cette mesure survenant le 17 Octobre, soit 15 jours environ après la fin des pluies, on doit en conclure que l'influence des précipitations est de courte durée, toute l'eau de pluie s'évaporant, à moins que le ruissellement n'en permette la concentration dans les points bas du relief.

- 2 - Sur ce même graphique, figurent quelques profils hydriques intéressant les P.2 et P.3 sur lesquels la nappe remontant près de la surface joue un rôle très net. Les humidités dans le sol croissent au fur et à mesure que monte la nappe, avec une certaine avance sur le niveau de celle-ci par suite de l'existence d'une frange capillaire d'épaisseur non négligeable.
- 3 - La teneur en eau pour les profondeurs de 1 m,00 et 1 m,50 reste pratiquement constante et égale respectivement à 30 et 40 % quel que soit le niveau de la nappe. Ces horizons profonds sont toujours, soit saturés par la nappe, soit dans la zone d'action de la frange humide. Or, sur les 2 premières mesures effectuées à P.3 (graphique n° 12) les 21-9 et 17-11-59, les teneurs en eau pour ces horizons profonds sont de 30 et 40 % environ, bien que la nappe n'atteigne pas encore la cote 1 m,50. On peut en conclure que la frange humide doit avoir une épaisseur égale ou supérieure à 0 m,50, ce qui est concevable pour des sols hydromorphes à forte teneur en argile, donc à faible granulométrie, dans lesquels les forces capillaires sont intenses.

- 4 - En décrue, on constate au droit de P.2 (mais non à P.3) que, pour un même niveau de la nappe, le sol est plus humide qu'à la crue, ce qui peut s'expliquer par le fait que le niveau descend plus vite que la frange capillaire. Cette observation, non confirmée au P.3, doit être utilisée avec précaution. Or, ce point a un intérêt cultural indéniable. En effet, on voit qu'au droit de P.2 le mil va bénéficier pendant sa période de croissance, durant laquelle ses besoins en eau sont les plus impératifs, d'une humidité comprise entre 15 et 25 % dans les cinquante premiers centimètres du sol. Au contraire, plus haut près de P.3, l'humidité tombera en Mai en-dessous de 10 %.

Bien entendu, ces teneurs en eau totales sont supérieures à la quantité d'eau réellement disponible pour la plante, car il faut en soustraire celle qui correspond au point de flétrissement.

- 5 - Dans les terrains sableux, observés de P.5 à P.7, et que n'atteint pas ni la nappe, ni sa frange humide ici peu épaisse, les teneurs en eau sont homogènes, peu variables et excessivement faibles, puisqu'inférieures à 5 % en général, le coefficient d'hygroscopicité des sables étant très bas.
- 6 - Le piézomètre 4 représente un cas intermédiaire. Alors que la teneur en eau de l'horizon superficiel est aussi inférieure à 5 %, celle des horizons sis à 0 m,50 et 1 m,50 est voisine de 7 %. Anomalie étrange : la teneur en eau s'élève à près de 20 % entre ces 2 points, pour le prélèvement effectué à 1 m,00 de profondeur. Comme la mesure du 21-9-59, perturbée par les pluies antécédentes ne présente pas cette anomalie, il faut croire que son origine est à chercher ailleurs. Elle ne peut être imputée aux mouvements de la nappe puisque le sol est plus sec à 1 m,50 qu'à 1 m,00.

En outre, si l'on regarde le graphique n° 11, on voit que l'horizon 1,00 m à P.4 est au même niveau que l'horizon superficiel de P.3. Or, l'humidité de celui-ci dépasse rarement 10 %.

Nous ne voyons que 2 explications, guère plus satisfaisantes l'une que l'autre :

NIG 10 264

ED:

LE: instruments

DES: J. G. Verney

VISA:

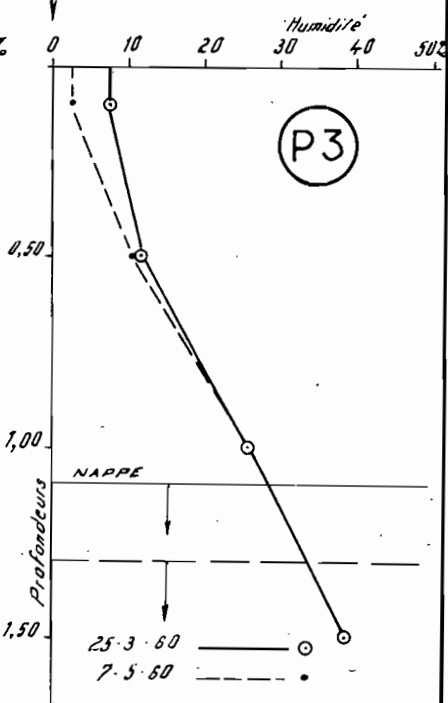
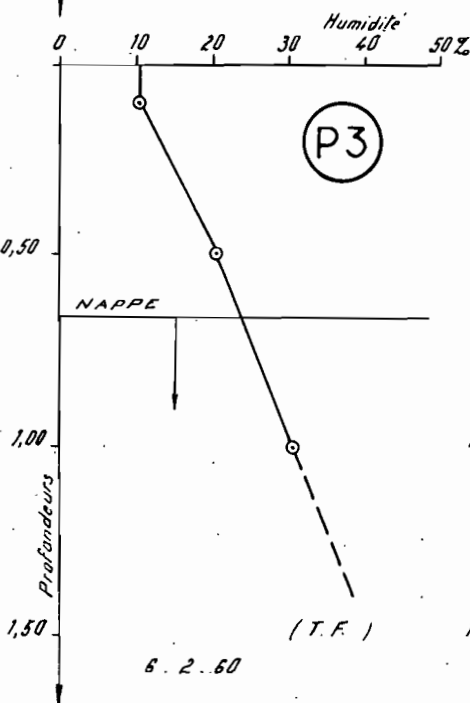
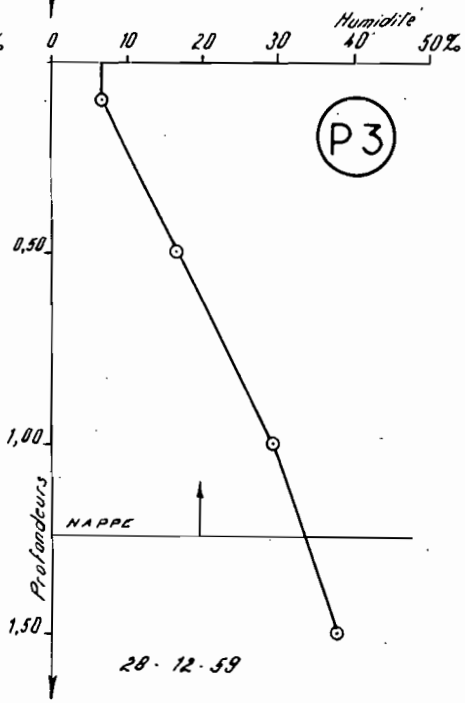
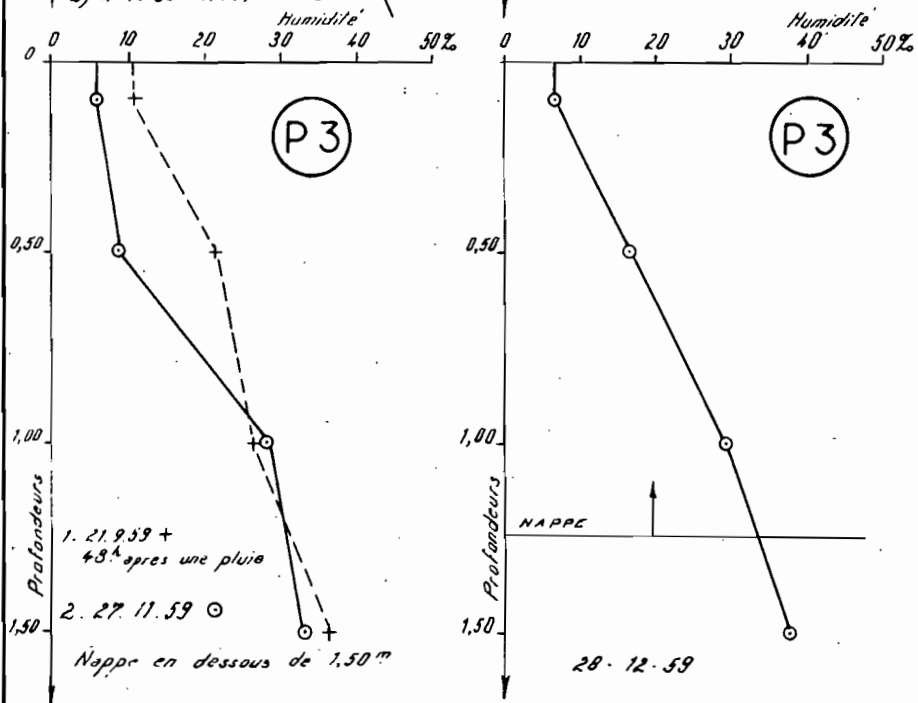
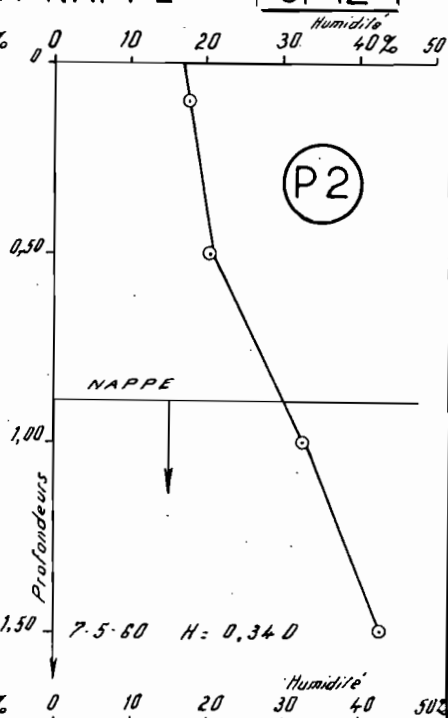
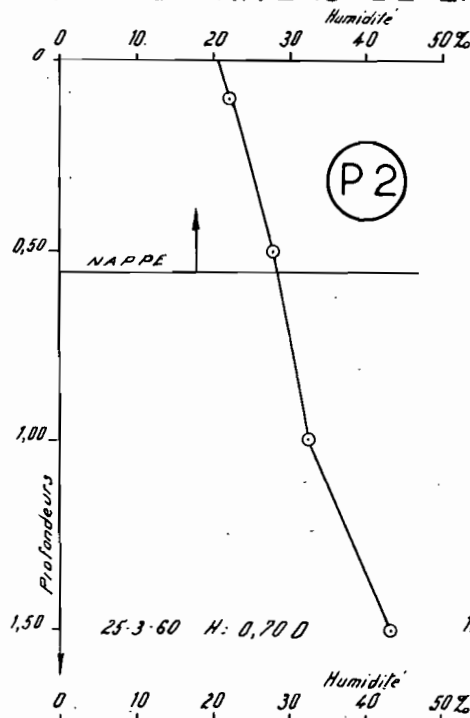
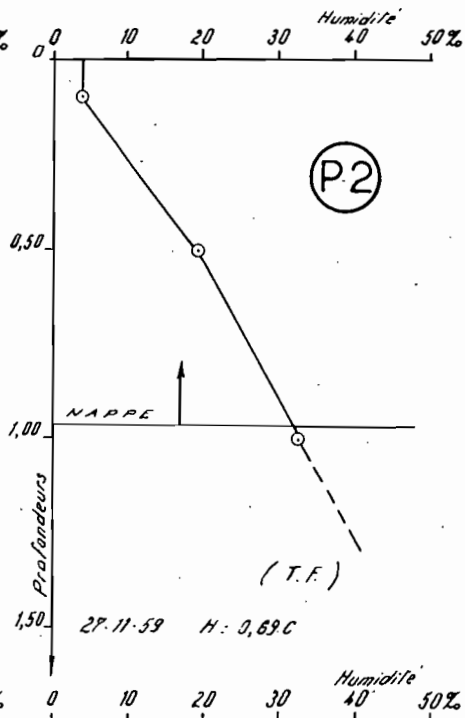
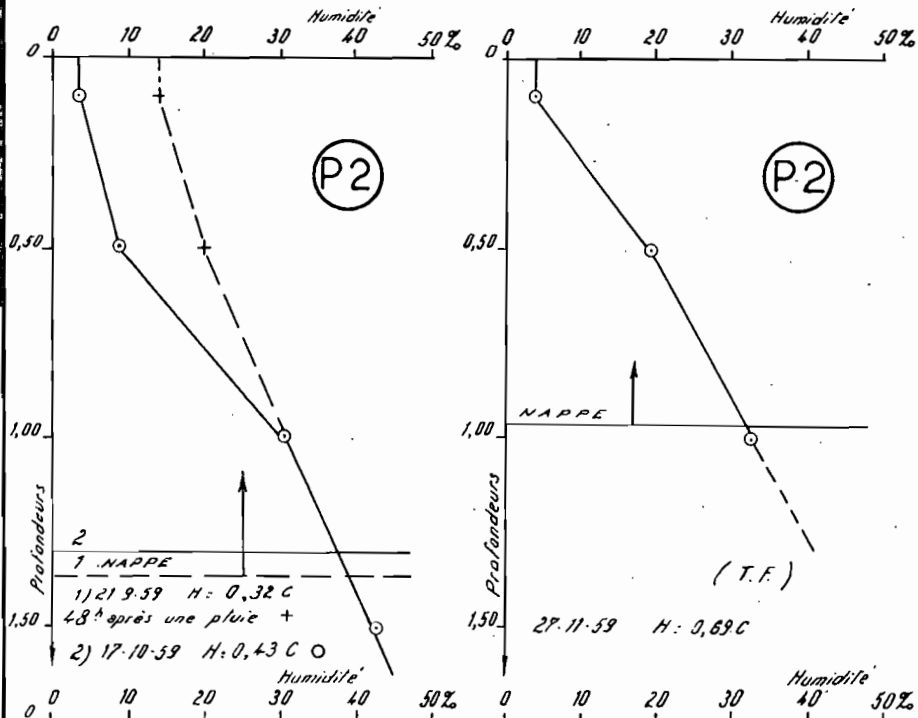
TUBE N°:

A1

ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

VARIATIONS DE LA TENEUR EN EAU DU SOL AVEC LE NIVEAU DE LA NAPPE

Gr 12



- il s'agirait d'une remontée oblique depuis l'horizon 0 m,50 vers P.3
- la structure du sol à P.4 est hétérogène et il est possible qu'une lentille plus argileuse occupe la zone proche de 1 m,00 ; sa capacité de rétention, plus élevée que celle des sables, justifierait cette curieuse concentration d'humidité.

D - Les MESURES de TEMPERATURES dans le SOL

Les procédés de mesure ont été mentionnés au paragraphe précédent ; les résultats sont groupés dans le tableau n° 11. Certains d'entre eux sont aberrants. Il faut en premier lieu incriminer le matériel utilisé : les thermomètres-cannes pour mesures dans le sol ne sont jamais parvenus à GOUNDAM où notre agent technique a dû employer des thermomètres ordinaires non adaptés à ce genre de travail.

Malgré cela, quelques tendances générales se détachent assez nettement :

- 1 - La conductibilité calorifique des sols étant très faible (1/5 de celle de l'eau environ), les sols subissent des variations thermiques plus amples que celles de l'air ambiant. (1) Ces variations s'atténuent beaucoup quand le sol est gorgé d'eau et avec la profondeur.

Ainsi, on assiste chaque matin à l'inversion des températures superficielles et profondes : la surface du sol s'étant refroidie considérablement par rayonnement pendant la nuit est à 8 h plus froide que 50 centimètres à l'intérieur du terrain : 20° contre 25°2 le 8 Mars 1960, l'inversion s'opère vers 9 h. A 11 h l'écart est considérable : 39° en surface contre 28°4 à 50 cm, soit une amplitude des variations de 19° contre 3° à 50 cm de profondeur.

Au fur et à mesure de l'avancement dans la saison chaude, les nuits vont cesser d'être fraîches et le sol se refroidit moins ; il n'y aura plus d'inversion thermique en Mai.

(1) tout au moins en surface

- 2 - A 0 m,60 de profondeur, l'écart entre températures maximale et minimale est plus faible qu'à 0 m,30
- 3 - Dans un sol cultivé argileux, les températures extrêmes sont légèrement inférieures à celles observées dans un sol nu sableux.

TABLEAU N° 11

MESURES des TEMPERATURES et HUMIDITES de l'AIR et du SOL

24 et 25 Février 1960 Cote du Lac : 0,96

Travaux culturaux : Arrachages des tiges (Saba-Kari)
Premiers labours (Harou)

Piézo	Profond. : Humidités en % à (m) :				Températures :		T° maximales & minimales :			
	nappe	0,10	0,50	1,00	1,50	au sol	Prof 0,30	Prof 0,60		
1	submergés				18°9 à 7h ½		Tx	28,2	27,2	
2					33° 10h		Tn	26,3	27	
3	0,85	11,5	19,8	32,9	41,2	42°8 12h				
4	> 1,50	0,9	7,7	12,5	7,9			Tx	27,3	27
5	"	2,3	2,8	5,3	3			Tn	26,2	26,5
6	> 2,00	0,6	2,4	2,4	TF					
7	> 2,60	1,2	2,1	3	"	sol nu				

sol cultivé

8 et 9 Mars 1960

Cote du Lac 0,87

Température de l'eau du lac 23°8 à 10 h

Travaux culturaux : Premières semailles (Diokoro)

Piézo	Heure de mesure	Températ. du sol :		Profondeur : nappe	Humidité en % à (m) :				Humidité de l'air :
		surface	à 0m,50		0,10	0,50	1,00	1,50	
1				submergé					
2				0,23	25,7	21,9	30,9	40,8	
3	9h	26°2	24°4	0,97	13	23,9	29,4	39,7	28,7
4	8h	20°	25°2	> 1,50	1,3	4,1	20,9	5,1	18,3
5	11h	39°	28°4	"	1	1,3	3,1	TF	14,6
6	9h ½	30°5	26°	> 2,00	0,8	2,3	2,2	"	15,5
7	8h ½	23°8	27°3	> 2,60	0,9	1,7	2,5	3,3	14,4

Températures maximales et minimales

	Profondeur	0m,30	0m,60
sol nu	Tx	27°8	27°3
	Tn	26°	27°
sol cultivé	Tx	27°2	27°
	Tn	27°	26°8

N.B. - T.F. désigne un échantillon trop friable pour être prélevé.

TABLEAU N° 11 (suite)

MESURES des TEMPERATURES et HUMIDITES de l'AIR et du SOL

24 et 25 Mars 1960

Cote du Lac : 0,70

Température de l'eau du lac : 22°7 à 10h

Cultures : Pousses de mil de 3 à 9 cm

Piezo	Heure de mesure	T° sol		Profondeur : nappe	Humidité en %				H % air
		surface	à 0m,50		0,10m	0,50m	1,00m	1,50m	
1				submergé					
2				0,56	22	27,3	32,5	43,1	36,5
3	8h	21°8	25°3	1,09	7,2	11,3	25,6	38,3	37,8
4	11h	39°2	36°3	> 1,50	1	3,8	19,5	2,8	22,8
5	9h <small>¼ 4 15 15</small>	32°	30°8	"	0,9	0,9	4,6	TF	30,5
6	8h	27°	24°5	> 2,00	0,4	1,5	1,2	"	32,2
7	7h <small>¼ 4 15 15</small>	23°	26°5	> 2,60	1	1,4	2,6	3,1	28,6

Températures maximales et minimales

	Profondeur	0m,30	0m60
sol nu	Tx	29°8	28°8
	Tn	28°	28°8
sol cultivé	Tx	28°9	28°
	Tn	28°4	28°

TABLEAU N° 11 (suite)

MESURES des TEMPERATURES et HUMIDITE de l'AIR et du SOL

7 Mai 1960

Cote du Lac : 0,34

Cultures : Tiges de mil entre 30 et 40 cm de haut

Piezo	Heure de mesure	T° sol		Profondeur : nappe	Humidité en %				H % air
		surface	à 0m,50		0,10m	0,50m	1,00m	1,50m	
1				0,47					
2	10h ¹ / ₂	30°2	27°2	0,89	17,5	20,4	32,2	43	26
3	10h	34°2	32°1	1,30	2,1	10,3	26,4	38,6	24,8
4	9h ¹ / ₄	32°5	30°1	> 1,5	0,6	2,3	18,7	8,1	27,6
5	8h ¹ / ₄	28°2	25°1	"	0,6	1,2	4,5	4,5	26,3
6	7h ¹ / ₄	26°2	24°3	> 2	0,6	1,1	1,3	2,2	24
7	6h ³ / ₄	24°3	22°7	> 2,6	0,8	1,2	2,2	TF	30,3

Températures maximales et minimales

	Profondeur	0m30	0m60
sol nu	Tx	33°3	32°8
	Tn	32°	32°
sol cultivé	Tx	32°8	33°
	Tn	32°	32°3

CONCLUSION

Dans le domaine hydrologique, trois années d'études menées avec un réel souci d'efficacité ont permis de comprendre le processus d'alimentation des lacs TELE et FAGUIBINE à partir des débordements du NIGER. Bien connue pour des années à hydraulicité abondante, cette hydrologie lacustre et pré-lacustre reste imprécise pour des années déficitaires. Mais ceci est d'importance secondaire maintenant que le choix d'implantation de l'ouvrage régulateur s'est raisonnablement porté sur le bief amont de GOUNDAM.

Notre année d'études hydro-climatiques a :

- 1°) affiné nos connaissances du micro-climat des lacs, tout particulièrement en ce qui concerne l'évaporation
- 2°) rassuré quant au risque d'ensablement par les transports solides des rivières du KESSOU
- 3°) apporté des éléments appréciables à l'agronome en lui divulguant les mouvements de la nappe riveraine du TELE, les variations de température et d'humidité du sol littoral

Un seul point noir obscurcit ce bilan : celui de la salinisation croissante d'un lac asséché partiellement ; ce risque (hypothétique certes mais très vraisemblable) est peut-être susceptible d'annuler à lui seul tous les espoirs de mise en valeur.

Techniquement réalisable, le projet d'aménagement des lacs TELE et FAGUIBINE n'est peut-être pas viable à longue échéance.

Les études complémentaires (analyse pédologique, perméabilité, salinité des sols riverains et inondés, précision sur le volume infiltré...etc...) doivent permettre ou non de lever cette hypothèque.