

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

Service hydrologique

**SECRÉTARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES
CHARGÉ DE LA COOPÉRATION**

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU LAC TCHAD

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT d'ETAT
aux AFFAIRES ETRANGERES
CHARGE de la COOPERATION

Service Hydrologique

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE

du

LAC TCHAD

par

P. TOUCHEBEUF de LUSSIGNY

Ingénieur en Chef à Electricité de France - IGECO

avec la collaboration de :

- MM. B. BILLON, A. BOUCHARDEAU, C. CHEVERRY,
B. DUPONT, J.P. LAMAGAT, G. MAGLIONE,
Ch. RIOU, M. SERVANT, M.A. ROCHE, chercheurs ORSTOM
- La Section Hydrobiologique du Centre ORSTOM de FORT-LAMY
- M. J.L. SCHNEIDER, géologue du B.R.G.M.

S O M M A I R E

	Pages
CHAPITRE 1 - <u>DONNEES GEOGRAPHIQUES</u>	1
1. 1 Situation et cartographie	1
1. 2 Description générale	3
1. 3 Bathymétrie et superficie	6
1. 4 Géologie et sédimentologie	11
1. 5 Hydrogéologie	16
1. 6 Végétation	21
1. 7 Hydrobiologie	24
1. 8 Conditions de navigation	27
1. 9 Le BAHR el GHAZAL	29
1.10 Polders et évaporites	34
CHAPITRE 2 - <u>DONNEES CLIMATIQUES</u>	37
2. 1 Généralités	37
2. 2 Vents	37
2. 3 Température de l'air	44
2. 4 Humidité de l'air	47
2. 5 Insolation et rayonnement	50
2. 6 Evaporation	53
2. 7 Pluviométrie	64
CHAPITRE 3 - <u>EQUIPEMENT et OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES</u>	75
3. 1 Station de BOL	75
3. 2 Station de NGUIGMI	77
3. 3 Stations diverses	78
3. 4 Observations anciennes	79
3. 5 Allure des variations du niveau du lac	82
3. 6 Hauteurs limnimétriques observées	84
CHAPITRE 4 - <u>CRUES et ETIAGES</u>	89
4. 1 Relation entre les niveaux extrêmes du lac et les crues du CHARI	89
4. 2 Reconstitution des crues et étiages du lac	98
4. 3 Etude statistique des crues et des étiages	104

	Pages
CHAPITRE 5 - <u>Le BILAN HYDROLOGIQUE</u>	113
5.1 Evaluation des différents termes du bilan	113
5.2 Interprétation du bilan	120
CHAPITRE 6 - <u>SALINITE des EAUX</u>	127
6.1 Mesures de salinité	127
6.2 Physico-chimie des eaux du CHARI à FORT-LAMY	130
6.3 Physico-chimie des eaux du lac TCHAD	135
6.4 Interprétation des résultats	146
6.5 Apports en sels au lac TCHAD	153
6.6 Salinité moyenne du lac en Mars-Avril 1967	161
6.7 Régulation saline du lac	162
Bibliographie sur la salinité des eaux du lac TCHAD	165

CHAPITRE I

DONNEES GEOGRAPHIQUES

1.1 - SITUATION et CARTOGRAPHIE

Le Lac TCHAD, véritable petite mer intérieure sans émissaire vers l'océan, est alimenté de nos jours par la partie méridionale de l'immense bassin tchadien qui s'étend du TIBESTI à la République CENTRAFRICAINE et du massif de l'AIR à la frontière soudanaise. Le CHARI, grossi du LOGONE, est le principal tributaire du lac, dépassant de beaucoup, par ses apports, la KOMADOUGOU et divers petits cours d'eau issus du NIGERIA et du CAMEROUN.

Compris entre les parallèles 12°20 et 14°20 de latitude Nord, d'une part, et entre les méridiens 13° et 15°20 de longitude Est, d'autre part, le lac TCHAD est partagé entre les territoires de quatre Etats :

- Le TCHAD à l'Est (pour moitié environ)
- La République du NIGER au Nord-Ouest (pour 1/6 environ)
- Le NIGERIA à l'Ouest (pour 1/4 environ)
- Le CAMEROUN au Sud (pour 1/12 environ)

Les parties du lac rattachées à des Etats francophones, c'est-à-dire à peu près les trois quarts de sa superficie, sont couvertes par les cartes de l'Institut Géographique National au 1/200 000è dont la liste est donnée ci-dessous :

- <u>GOULFEY</u>	14 à 15° E	12 à 13° N	CAMEROUN et TCHAD
- <u>FORT-LAMY</u>	15 à 16° E	12 à 13° N	TCHAD
- <u>BOSO</u>	13 à 14° E	13 à 14° N	NIGER et TCHAD
- <u>BOL</u>	14 à 15° E	13 à 14° N	TCHAD
- <u>NGOURI</u>	15 à 16° E	13 à 14° N	TCHAD
- <u>NGUIGMI</u>	13 à 14° E	14 à 15° N	NIGER et TCHAD
- <u>NOKOU</u>	14 à 15° E	14 à 15° N	TCHAD

La bordure occidentale du Lac qui est rattachée au NIGERIA est couverte par des cartes au 1/50 000^e publiées entre 1963 et 1965 par le "Directorate of overseas surveys" pour le Gouvernement Nigérian. Elles ont été établies à partir de diverses séries de photographies prises entre 1951 et 1963.

En 1958 la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD a établi une carte d'ensemble du Lac à l'échelle du 1/500 000^e en utilisant les cartes de l'IGN au 1/200 000^e mentionnées ci-dessus et une carte au 1/500 000^e de la partie nigériane du Lac, ainsi que des photographies aériennes fournies par l'IGN et le "Federal Survey Department" du NIGERIA. La rive Sud-Ouest du Lac entre BAGA-KAWA et WULKO avait, en outre, été l'objet d'une reconnaissance sur le terrain et plusieurs points astronomiques y avaient été déterminés pour améliorer la restitution des photographies aériennes.

Cette carte que l'on trouvera en annexe reste un bon document couvrant la totalité du lac sous un format facilement maniable. Elle est évidemment un peu moins détaillée que les cartes au 1/200 000^e et au 1/50 000^e que l'on utilisera de préférence pour naviguer dans les zones difficiles et notamment dans l'archipel.

Pour l'utilisation de ces cartes il ne faut pas oublier que l'aspect du Lac varie avec le niveau des eaux. Les cartes de l'IGN ont été établies à partir de photographies aériennes prises en 1951, à une époque où le niveau des eaux était assez bas. L'extension des zones marécageuses par rapport aux zones d'eau libre était alors nettement plus grande qu'elle ne l'a été de 1957 à 1968.

1.2 - DESCRIPTION GENERALE

Un premier coup d'oeil sur la carte du Lac permet d'y distinguer deux parties, l'une située au Sud-Est et l'autre au Nord-Ouest d'un axe reliant BAGA-KAWA à KAYA; elles communiquent plus ou moins bien, suivant le niveau du Lac, à travers ce qu'on appelle la "Grande Barrière".

Chacune de ces deux parties affecte en gros la forme d'un haricot dont la plus grande longueur orientée respectivement Ouest-Sud-Ouest - Est-Nord-Est et Nord-Nord-Ouest - Sud-Sud-Est mesure 180 et 140 km, tandis que la plus grande largeur est respectivement de 75 et 95 km environ. L' "intrados" des haricots correspond au delta du CHARI pour le premier et à celui beaucoup moins développé de la KOMADOUGOU pour le second.

La morphologie du Lac est loin d'être uniforme. On peut y distinguer les éléments suivants :

a) Les eaux libres qui donnent l'impression de pleine mer lorsqu'on les parcourt en bateau. Elles s'étendent au Nord, à l'Ouest et au Sud-Ouest du delta du CHARI d'une part, au Nord, à l'Est et au Sud-Est du delta de la KOMADOUGOU d'autre part. Leur extension varie beaucoup avec le niveau des eaux, comme on le précisera plus loin.

b) L'archipel constitué d'une myriade d'îles allongées dans le sens Nord-Ouest - Sud-Est qui sont les vestiges d'un réseau de dunes partiellement submergées. L'archipel occupe le Nord-Est et l'Est des deux parties du Lac.

c) Les "flots-bancs" qui sont des sommets d'anciennes dunes submergées sous une faible profondeur d'eau et recouverts d'une végétation aquatique dense (roseaux, papyrus et autrefois "ambadj"⁽¹⁾). Les flots-bancs forment la transition entre l'archipel et les eaux libres.

(1) - Voir description de la végétation plus loin (§ 1.6)

d) Les marécages ou "herbiers" qui sont également des hauts-fonds couverts de végétation aquatique. Ils forment le long des rives occidentales et méridionales du lac une frange qui atteint souvent plusieurs kilomètres de large, particulièrement dans les régions de WULKO et d'HADJER-el-HAMIS. Vu des eaux libres ils ressemblent aux îlots-bancs et sont difficilement pénétrables. Du côté de la terre ferme ils se présentent souvent comme des prairies de graminées aquatiques, qui par endroits sont mises temporairement en cultures ou utilisées comme pâturages.

L'extension des marécages est étroitement liée au niveau des eaux. En 1957, par exemple, l'inondation a atteint des terres qui n'avaient pas été submergées depuis un demi-siècle et qui s'étaient recouvertes d'une savane arborée. Celle-ci a laissé des vestiges sous la forme de troncs morts recouverts de boue.

Par contre la frange de roseaux et de papyrus est plus étroite le long de la côte Nord-Ouest, qui est longée par une dune de sable de part et d'autre de l'estuaire de la KOMADOUGOU.

e) La "Grande Barrière" qui est une région de hauts-fonds séparant plus ou moins complètement la partie Sud-Est du Lac de la partie Nord-Ouest. Lorsque le niveau du Lac n'est pas trop haut, la "Grande Barrière" présente un aspect analogue à celui des îlots-bancs, avec une épaisse végétation aquatique. Ces dernières années il n'en subsistait guère que des îlots à l'Ouest de BAGA - SOLA.

f) Les "Kirtas" qui se forment à la montée des eaux lorsque des papyrus se détachent en masse des hauts-fonds. Les "Kirtas" constituent des îlots flottants de forme circulaire dont le diamètre varie entre quelques mètres et quelques centaines de mètres. Ils dérivent au gré des vents ou des courants et viennent parfois boucher temporairement une passe entre deux îles.

Le général TILHO fut le premier à attirer l'attention sur les modifications importantes qu'apportaient à la physionomie du Lac les variations du niveau des eaux. Pour bien caractériser ces modifications il a considéré trois stades typiques "PETIT TCHAD", "MOYEN TCHAD" et "GRAND TCHAD" qu'il a décrits comme suit :

CARTE DE SITUATION

du bassin tchadien

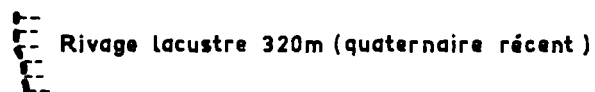
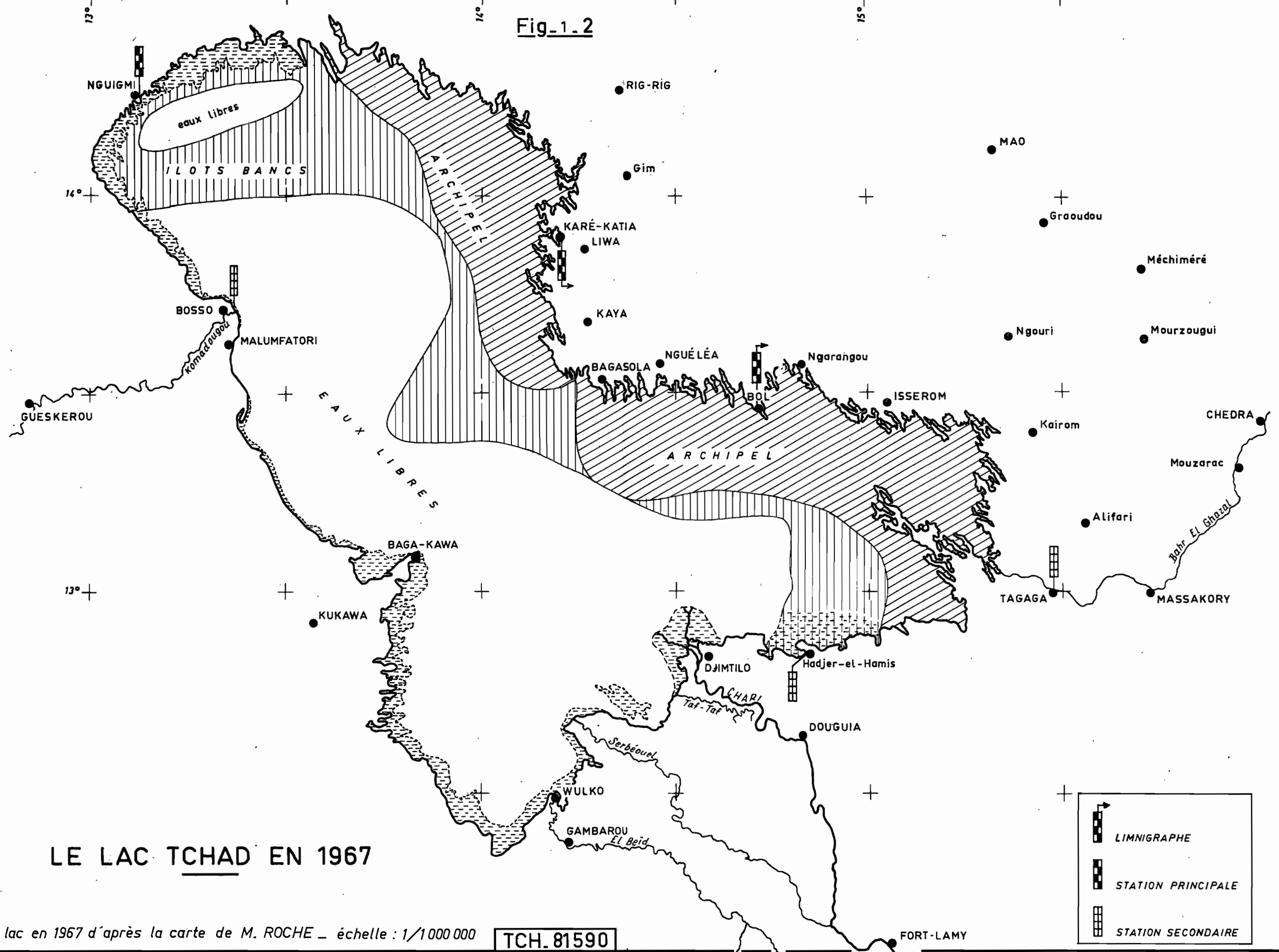


Fig. 1.2



LE LAC TCHAD EN 1967

PETIT TCHAD : (d'après observations de 1905 à 1908 et de 1914 à 1916). "Le Lac n'est qu'un immense marécage où subsistent çà et là de petits bassins d'eaux libres, encerclés par des forêts d' "ambadj" ... Sur la rive orientale les "bahrs" (1) se muent en chapelets de mares où les eaux concentrées par l'évaporation deviennent imbuables. De nombreuses îles se soudent à la terre ferme. Les populations et leurs troupeaux émigrent vers l'intérieur du Lac en quête d'eau douce et de pâturages verts. Dans la cuvette septentrionale et particulièrement au Nord de la KOMADOUGOU, le dessèchement s'accélère d'autant plus que s'épaissit davantage la barrière de végétation couvrant le seuil qui la sépare de la cuvette du Sud. Bientôt il n'y reste que des mares espacées et sans profondeur, le plus souvent encombrées de poissons en décomposition ... Dans la zone évacuée par la nappe lacustre les caravanes circulent librement ..."

MOYEN TCHAD : (d'après observations de 1909 à 1913 et de 1917 à 1920). "Les eaux reprennent possession de toute la cuvette Nord et des "bahrs" à demi desséchés de la côte orientale. Les rives Ouest et Sud, toujours changeantes et imprécises, bordées d'un épais rideau de roseaux et d'"ambadjs", laissent entrevoir par échappées le miroir scintillant des eaux libres. Par suite, en effet, de l'augmentation de profondeur du Lac les grandes forêts d'ambadjs ayant en partie disparu de l'intérieur (sans doute par arrachement automatique de cet arbuste plus léger que le liège) ne se maintiennent qu'au voisinage des rives et sur les bancs vaseux recouverts d'une mince couche d'eau ..."

GRAND TCHAD : (d'après relations de voyages d'explorateurs du 19^e siècle). "Les rives plates des côtes Ouest et Sud sont largement envahies par les flots qui viennent couper les routes et inonder les villages. Dans le Nord et dans l'Est des presque-îles se transforment en îles, par le remplissage de "bahrs" restés longtemps à sec ... Dans l'intérieur du Lac les forêts d'ambadjs et les champs de grands roseaux se raréfient de plus en plus; les flots-bancs disparaissent sous les eaux, la nappe liquide s'étend à perte de vue sans discontinuité et d'un bord à l'autre du TCHAD la navigation devient libre ..."

(1) - Ce terme, qui signifie "cours d'eau" en général, désigne ici les bras entre les îles de l'archipel.

Depuis 1953, date où des observations continues sur le Lac ont été reprises, jusqu'à 1968 le niveau du Lac s'est maintenu au stade du "MOYEN TCHAD", sauf en 1957 et de 1962 à 1965 où il a atteint le niveau du "GRAND TCHAD" (en restant toutefois assez nettement au-dessous des niveaux vraisemblablement observés au siècle dernier). Dans leurs grandes lignes les descriptions du Général TILHO correspondent bien aux observations des années récentes sauf la nature de la rive Ouest au stade "GRAND LAC", nous avons vu que cette rive est très nette. Précisons également que l'extension de la végétation aquatique varie en fonction du niveau des eaux avec un certain décalage dans le temps. Ainsi en 1967 l'aspect du Lac se rapprochait davantage du stade "GRAND TCHAD" qu'en 1957 bien que le niveau des eaux fut inférieur.

1.3 - BATHYMETRIE et SUPERFICIE

1.3.1 - Bathymétrie

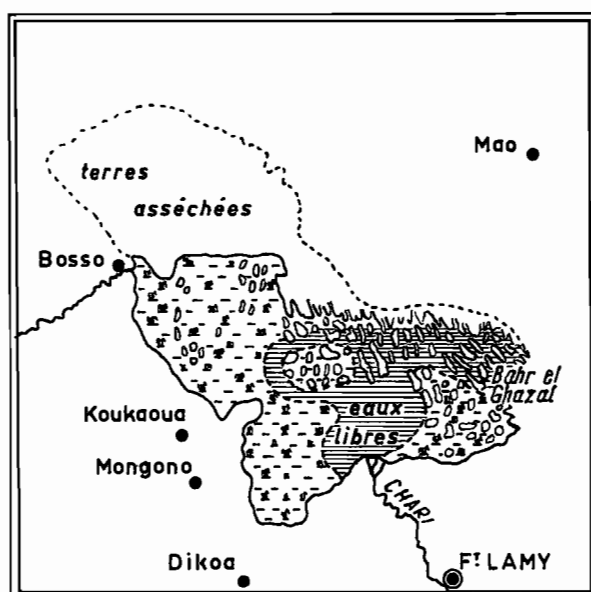
En 1957 la Mission LOGONE-TCHAD avait commencé des mesures systématiques de profondeur à l'aide d'un sondeur à ultrasons Kelvin-Hughes (type MS - 26 F). Ces mesures n'ont pu être continuées par la suite et se sont limitées à une série d'itinéraires à travers le Lac totalisant à peu près un millier de kilomètres (voir graphique 1-4).

En 1962 une seconde campagne de mesures a été réalisée avec le même sondeur à ultrasons en vue d'étudier les conditions de navigation entre FORT-LAMY et la zone côtière susceptible d'être aménagée en "polders"*. En plus des levés effectués sur le cours du CHARI, on a relevé les profondeurs du Lac sur des itinéraires totalisant 200 km entre le delta du CHARI, BOL, BAGASOLA et TATAVEROM (voir graphique 1-5).

Le graphique 1-6 montre les aspects caractéristiques de divers profils de sondage dont la situation est repérée sur le graphique 1-4. Il est fréquent que les enregistrements du sondeur fassent apparaître deux échos distincts qui correspondent à des couches de sédiments nettement différenciés.

* - Cf "Navigation entre FORT-LAMY et BOL - Sondages campagne 1962" par B. BILLON et E. BOULIN - ORSTOM

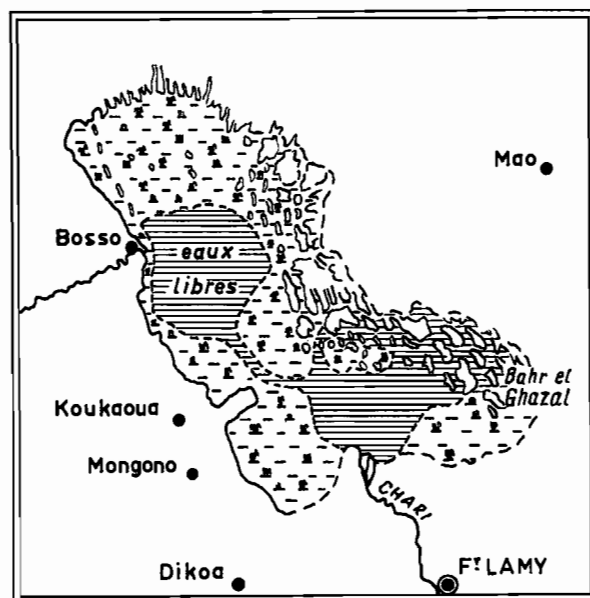
Divers stades de remplissage du lac



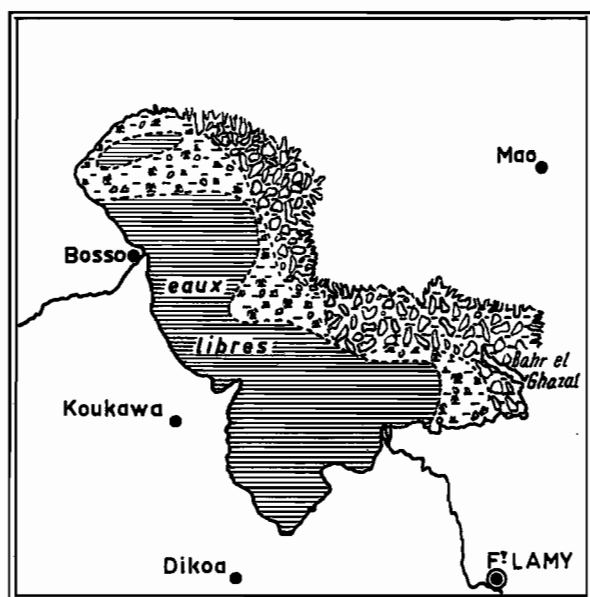
D'après la carte de la mission TILHO.

début 1908 - "PETIT TCHAD"

1904 - "MOYEN TCHAD"



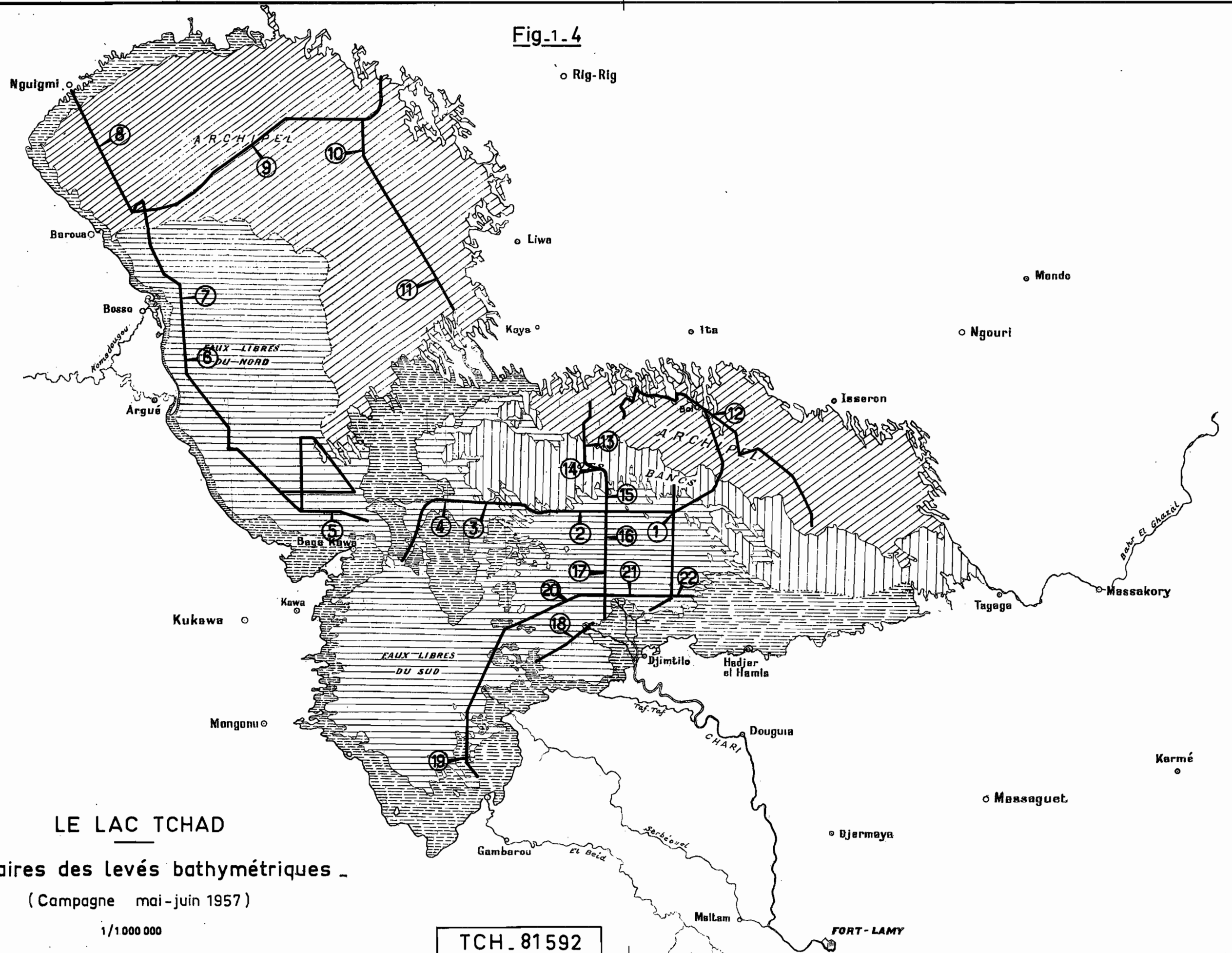
D'après la carte de M. Jean TILHO. (mission MOLL)



D'après la carte de M. Michel ROCHE.

1967 - "GRAND TCHAD"

Fig. 1.4



LE LAC TCHAD

_ Itinéraires des levés bathymétriques _

(Campagne mai-juin 1957)

1/1 000 000

TCH. 81592

Itinéraires des levés bathymétriques

(Campagne juillet 1962)

1/400 000

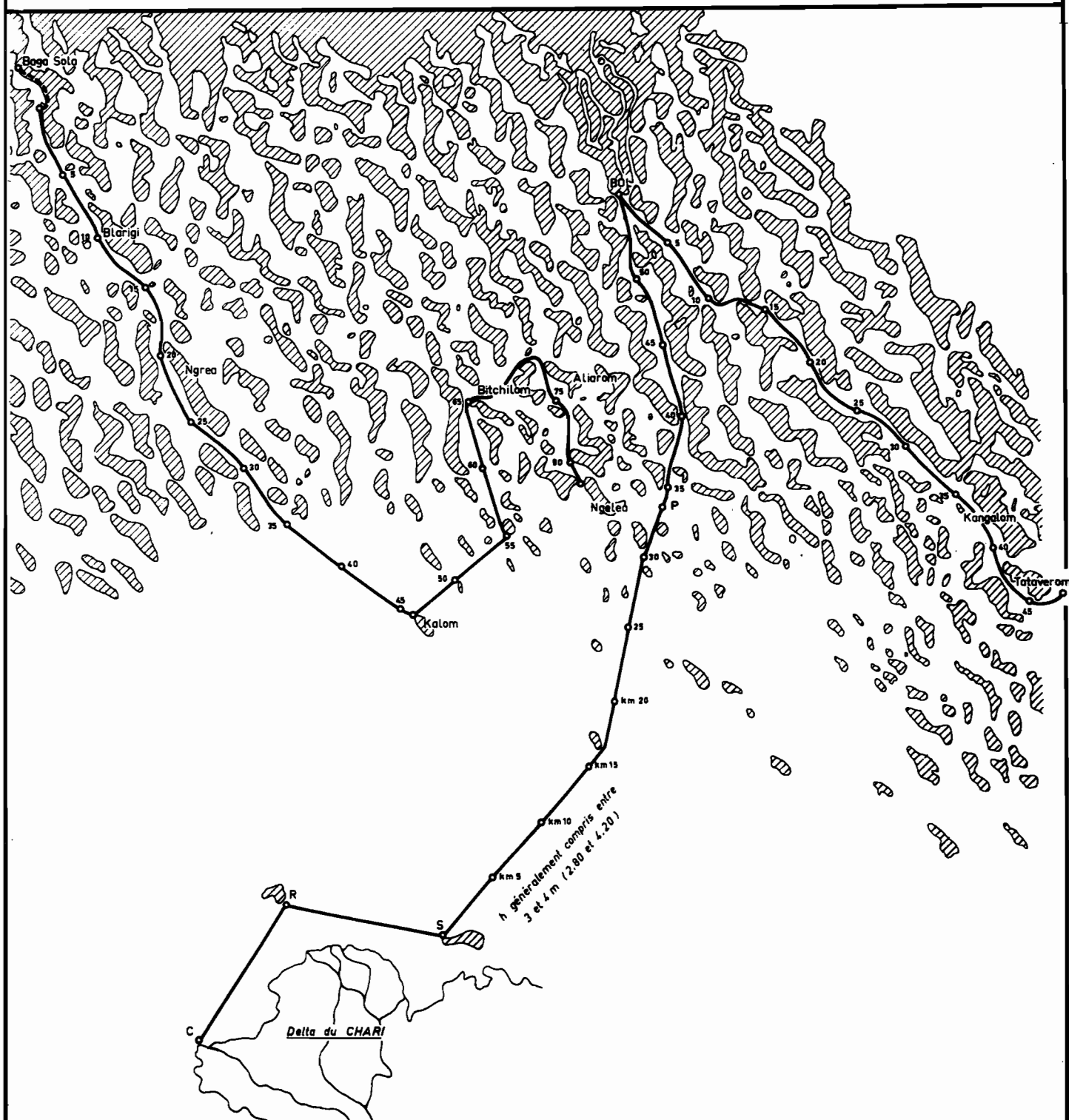
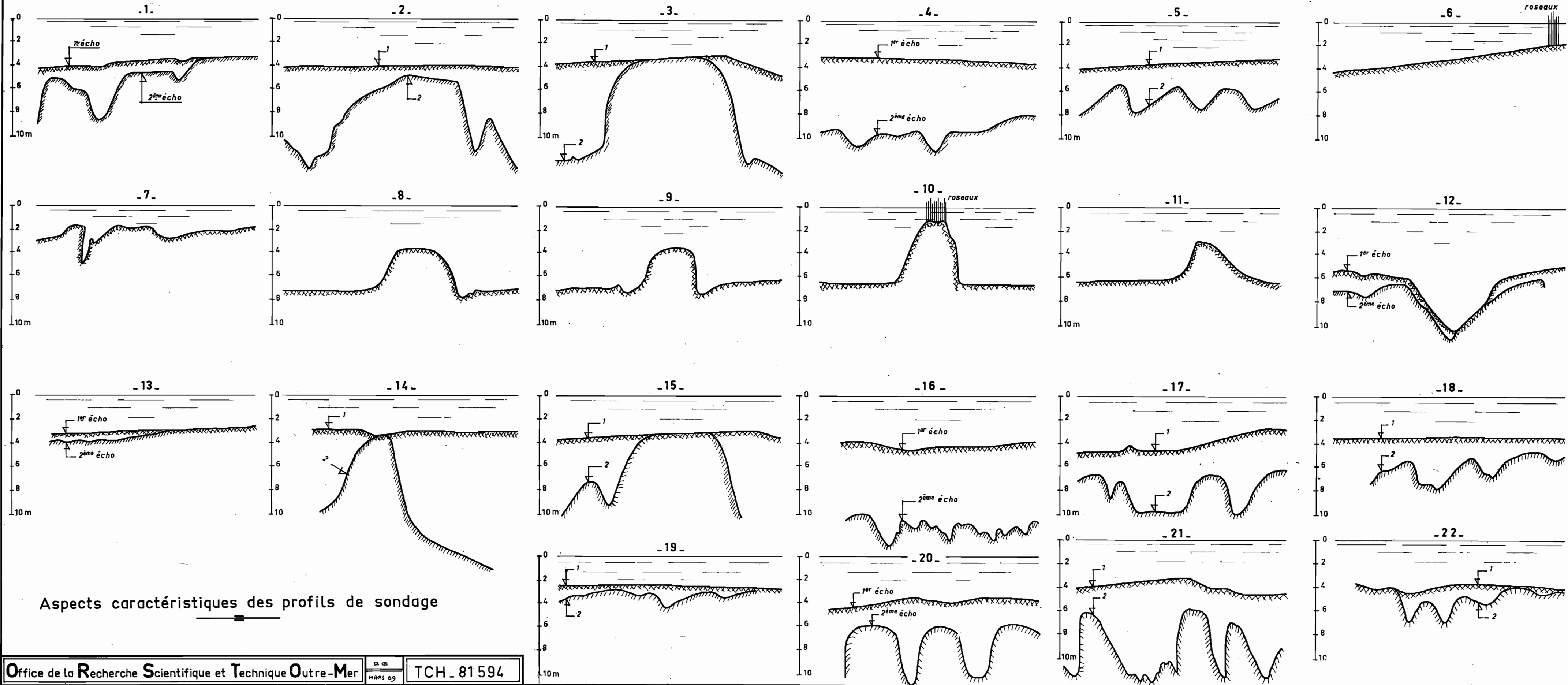


Fig.1.6



Aspects caractéristiques des profils de sondage

Les relevés bathymétriques effectués à ce jour sont très insuffisants pour permettre d'établir une véritable carte des fonds du Lac. Ils donnent cependant un aperçu intéressant sur les profondeurs du Lac. Celles-ci sont partout extrêmement faibles en comparaison de sa superficie. Si l'on prend comme niveau de référence l'altitude 282,00m * définie par rapport à la borne de nivellement de la Sous-préfecture de BOL dans le système IGN 1956 (borne M, matricule 11), on trouve que sauf sur les îlots-bancs les profondeurs sont le plus souvent comprises entre 4 et 7 mètres dans la partie Nord-Ouest du Lac, avec quelques maximums d'une dizaine de mètres dans certains bras de l'archipel.

Dans la partie Sud-Est du Lac les profondeurs tendent à diminuer par suite de l'alluvionnement du CHARI. Elles sont généralement comprises entre 3 et 4 mètres près de l'estuaire du CHARI et une dizaine de mètres dans la frange côtière de l'archipel large d'une vingtaine de kilomètres. Entre cette frange côtière et les eaux libres, les fonds tendent par contre à se relever et parfois ne dépassent pas 1,5 à 2 m entre les îlots-bancs submergés de façon plus ou moins permanente.

Ces îlots-bancs ainsi que les marécages, qui sont comme eux couverts de végétation aquatique, ne peuvent pas être sondés aux ultra-sons. On peut estimer que la profondeur de l'eau n'y dépasse jamais 3 mètres et reste le plus souvent inférieure à 2 mètres.

1.3.2 - Superficie

Il est intéressant de déterminer la superficie du Lac en fonction du niveau des eaux, mais en fait on ne peut établir qu'une courbe de variations assez grossière pour les raisons suivantes :

a) Au Nord et à l'Est les limites du Lac sont extrêmement sinueuses et découpées. Sur les cartes il est impossible de suivre avec la pointe d'un planimètre le contour des myriades d'îles et de presque-îles de l'archipel. On est donc obligé de recourir à des simplifications plus ou moins approximatives. De plus le contour des îles bordées de roseaux ou de papyrus manque souvent de netteté, ce qui nuit encore à la précision de mesures de surface.

* - Ce niveau de référence correspond à une hauteur de 4,13 m à l'échelle de BOL -

b) Au Sud et au Sud-Ouest les rives du Lac sont marécageuses et indécises. La végétation aquatique ou semi-aquatique ne permet généralement pas de déterminer avec précision la limite des eaux du Lac sur les photographies aériennes. La distinction entre les eaux du Lac et les eaux de débordement des tributaires est, par ailleurs, assez arbitraire. Or ces eaux de débordement occupent de vastes superficies dans la région du delta du CHARI et des autres tributaires camerounais ou nigériens.

c) Lorsque le niveau des eaux reste assez bas pendant plusieurs années consécutives, la "Grande Barrière" isole plus ou moins complètement la partie Nord-Ouest du Lac qui tend ainsi à s'assécher. Il n'existe alors plus de relation bien définie entre le niveau des eaux relevé dans la partie Sud-Est du Lac et la superficie totale de celui-ci.

Ceci dit, nous nous reporterons aux "Documents Scientifiques de la Mission TILHO (1906 - 1909)" où l'on trouve les premières informations intéressantes sur le sujet qui nous occupe :

Au début de l'année 1904, lors de l'arrivée au TCHAD de la Mission MOLL, la surface liquide du Lac y est évaluée à 16 000 km². Le niveau des eaux tel qu'il a été reconstitué approximativement par A. BOUCHARDEAU (cf § 3-4) devait alors être voisin de l'altitude 281,50 m.

Au commencement de l'année 1908, toujours selon J. TILHO la surface liquide était de 12 700 km², le niveau des eaux étant alors voisin de l'altitude 280,50 m.

Reportons-nous maintenant à des documents plus récents. Les cartes IGN au 1/200 000^e ont été établies pour la plupart à partir de photographies aériennes prises en 1950 - 1951 à une époque où d'après A. BOUCHARDEAU le niveau des eaux était à peu près à l'altitude 282,0 m. Ces cartes ne couvrent malheureusement pas la partie nigérienne du Lac et il est assez difficile de combler cette lacune avec les cartes D.O.S. au 1/50 000^e car celles-ci ont été dressées à partir de différentes séries de photographies aériennes prises entre 1951 et 1963. On peut cependant évaluer à environ 20 000 km² la surface liquide du Lac correspondant à l'altitude 282,0 m.

Enfin, la carte au 1/500 000^e établie en 1958 par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD à partir de photographies aériennes prises en 1956 donne une surface liquide de 21 600 km² pour un niveau des eaux voisin de 282,65 m.

En résumé on peut retenir les données approximatives qui figurent dans le tableau ci-dessous :

Date	Niveau du Lac (IGN - 1956)	Hauteur à l'échelle de BOL: zéro à 277,87 m	Surface liquide du Lac
Début 1904	281,5 m	3,63	16 000 km ²
Début 1908	280,5 m	2,63	12 700 km ²
1950 - 51	282,0 m	4,13	20 000 km ²
1956	282,65 m	4,78	21 600 km ²

On en a déduit le graphique 1-7 ci-joint qui a été tracé en tenant compte du fait que les fonds de la partie Sud-Est du Lac ne descendent pratiquement pas au-dessous de l'altitude 278 m et que si cette partie venait à se vider complètement la partie Nord-Ouest se serait déjà asséchée, bien que plus profonde, à cause de la "Grande Barrière". On trouve alors que la courbe de variation de la surface liquide S (km²) en fonction du niveau z (mètres) des eaux ou de la hauteur H (cm) à l'échelle de BOL est pratiquement une droite.

Cette relation linéaire qui peut s'écrire :

$$S = 4\,800 (z - 278) \quad \text{ou} \quad S = 48 (H - 13)$$

ne peut prétendre à une grande précision pour les diverses raisons qui ont déjà été indiquées. Il sera d'ailleurs assez difficile dans l'avenir d'en améliorer beaucoup la précision, car la végétation aquatique et la complexité de la topographie du fond et des bords du Lac constitueront toujours de sérieux obstacles. Il faudra peut-être aussi attendre de nombreuses années avant de pouvoir exécuter une couverture aérienne complète du Lac au stade du "PETIT TCHAD".

La relation linéaire ci-dessus permet par intégration de déterminer le volume d'eau V (m^3) emmagasiné dans le Lac en fonction du niveau z (m) ou de la hauteur à l'échelle H (cm). On obtient l'expression suivante :

$$V = 2,4 \times 10^9 (z - 278)^2$$

$$\text{ou } V = 240 \times 10^3 (H - 13)^2$$

qui conduit aux résultats donnés dans le tableau ci-dessous :

: Niveau du	:	:	:	:	:	:	:
: Lac (IGN 56):	278	280	281	282	283	284	:
: (m)	:	:	:	:	:	:	:
: Hauteur à	:	:	:	:	:	:	:
: l'échelle de:	13	213	313	413	513	613	:
: BOL (cm)	:	:	:	:	:	:	:
: Volume	:	:	:	:	:	:	:
: d'eau V	0	9,6	21,6	38,4	60	86,4	:
: ($10^9 m^3$)	:	:	:	:	:	:	:

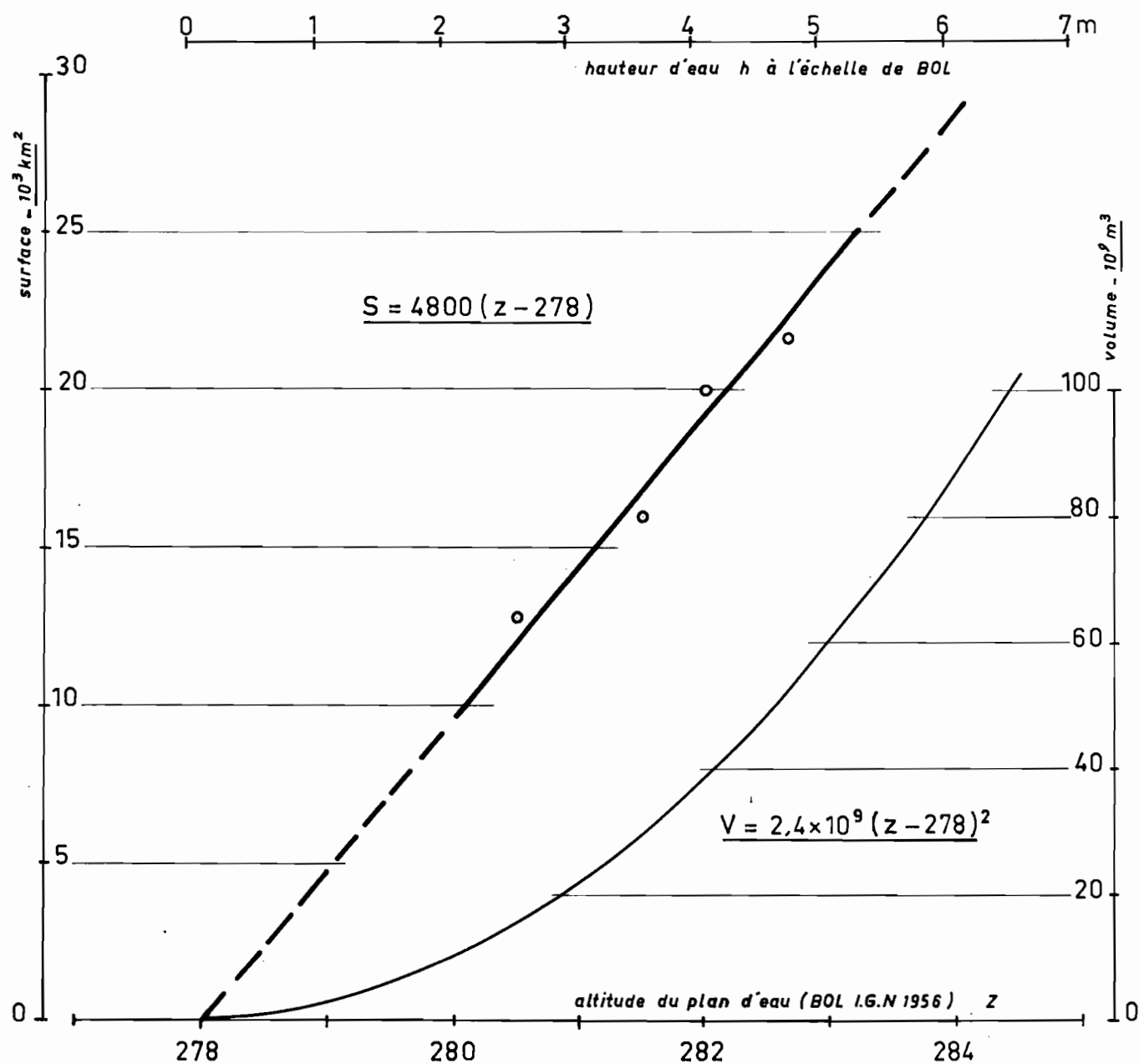
On remarque que le volume d'eau emmagasiné dans le Lac est du même ordre de grandeur que le volume des apports des tributaires qui est voisin de $40 \times 10^9 m^3$ en année moyenne.

1.3.3 - Remarques

Suivant la valeur de sa superficie qui peut varier pratiquement entre 12 000 et 26 000 km^2 , le Lac TCHAD se classe par son étendue entre le 12^e et le 18^e rang parmi les grands lacs du monde. Il est le quatrième des lacs africains après les lacs VICTORIA, TANGANYIKA et NYASSA. Si l'on ne considère que les lacs endoréïques, il est le troisième du monde après la mer CASPIENNE et la mer d'ARAL.

LE LAC TCHAD

Variations de la surface et du volume liquides du lac
avec le niveau des eaux



Une des particularités les plus frappantes du Lac TCHAD est sa très faible profondeur moyenne qui permettrait presque de le considérer comme un immense étang plutôt que comme un véritable lac. Cependant on connaît dans le monde quelques cas analogues comme le grand lac salé de l'UTAH et le lac EYRE en AUSTRALIE. Il s'agit là de lacs endoréiques situés en zone aride du type "sebkra" ou "salt pan", qui peuvent s'assécher plus ou moins complètement à la suite d'un déficit pluviométrique prolongé; c'est le cas du Lac TCHAD mais, contrairement à ce qui est habituel pour les lacs de ce type, la salinité de ses eaux est faible comme on le verra plus loin (cf. ch. 6).

1.4 - GEOLOGIE et SEDIMENTOLOGIE

1.4.1 - Esquisse géologique (d'après J.L. SCHNEIDER)

Le socle a été reconnu en divers points du CHARI-BAGUIRMI. Il montre un enfoncement vers l'Ouest, l'isobathe 200 m passant sensiblement au 16ème méridien et une remontée aux pitons volcaniques d'HADJER-el-HAMIS; la profondeur de 550 m a été déterminée par sismique à FORT-LAMY.

Dans la région du Nord du Lac le socle descendrait de façon continue et serait à plus de 1 500 m à la frontière nigérienne.

L'activité tectonique paraît marquer la région selon une direction Sud Ouest-Nord Est avec les "hadjer" du Lac et les anomalies gravimétriques positives déterminées par l'ORSTOM au Nord du 13ème parallèle; on note que la vallée fossile du BAHR-el-GHAZAL, au cours rectiligne de MASSAKORY à KORO-TORO soit sur plus de 450 km, correspond à la même orientation.

Excepté quelques formations à faciès sidérolithique reposant sur le socle, le remplissage du bassin est de type fluvio-lacustre, avec tous les intermédiaires entre l'argile pure et les sables pluviatiles caractéristiques.

1.4.2 - Histoire géologique du Lac TCHAD

(Article rédigé par M. SERVANT d'après :
J. TILHO, 1910; BARBEAU et COPPENS Y., 1960; J. PIAS, 1967;
J.L.SCHNEIDER, 1967; M. SERVANT, 1967; S. SERVANT, 1967; B. DUPONT,
1968; H. FAURE, 1962-1966).

1.4.2.1 Le paléo-TCHAD holocène (Quaternaire récent)

Le Lac TCHAD est bordé au Nord et au Nord-Est, par un erg fossile actuellement fixé : l'erg du KANEM. En direction du Sud, les cordons dunaires (orientés sensiblement du Nord Ouest au Sud Est) s'ennoient progressivement sous le niveau du lac d'où l'aspect très particulier des rivages dans la zone de l'archipel. Il est évident que les dunes ont été façonnées par le vent pendant une période aride antérieure à l'installation du lac.

Plusieurs datations au C-14 situent la création du lac aux alentours de 12 000 ans avant nos jours à une époque qui coïncide sensiblement avec la fin des grandes glaciations européennes du Würm et un réchauffement apparemment général de l'atmosphère terrestre. A cette date, et au KANEM, le paléo-TCHAD n'était probablement qu'une mosaïque de mares ou d'étangs fortement minéralisés et principalement alimentés par une nappe phréatique dont le niveau piézométrique s'élevait, traduisant ainsi - peut-être avec un certain retard - les profonds changements climatiques qui affectaient alors le bassin du TCAHD. Des lacs peu profonds existaient également dans les Pays-Bas vers 11 900 ans.

La transgression du paléo-TCHAD holocène, après 12 000 ans B.P.*, ne s'est pas faite de manière continue mais elle procède au contraire par "crues" successives que séparent des phases de retrait ou même d'assèchement. La plus importante de ces "crues" débute vers 10 000 ans avec alimentation probable par les rivières du TIBESTI (ce qui n'exclue pas, a priori, que pour l'essentiel l'alimentation ait pu être d'origine méridionale). Tous les auteurs s'accordent à reconnaître l'existence d'une vaste étendue lacustre atteignant les dimensions de la mer CASPIENNE entre 6 000 et 5 000 ans : le plan d'eau se situe alors vers 320 m d'altitude. Un cordon littoral s'édifie à cette cote au NIGER

* Les initiales "B.P." employées pour les datations au Carbone-14 signifient "Before Present", c'est-à-dire avant nos jours" -

en NIGERIA (BAMA RIDGE), au Nord CAMEROUN et au TCHAD (cordon de YAGOUA-BONGOR). L'extension du lac a vraisemblablement été limitée par le seuil de la BENOUE. Au TCHAD, et d'après les données actuelles qu'il faut considérer comme provisoires, il ne semble pas que le paléo-TCHAD ait pu de beaucoup dépasser l'altitude des 320 m. Par contre, au NIGER oriental, on connaît des dépôts lacustres jusqu'aux abords de la cote 400 m où ils sont datés de 8 000-9 000 ans B.P. (L'altitude de ces derniers dépôts confirmerait l'hypothèse avancée par H. FAURE d'un affaissement relatif des régions tchadiennes entre 8 000 et 6 000 ans B.P.).

Le mouvement de régression qui succède à la phase précédente d'expansion n'est pas encore bien connu mais il est certainement accidenté d'une ou plusieurs pulsations transgressives (l'une d'elle est datée de 3 200-3 300 ans environ à KORO-TORO et dans les Pays-Bas). Il aboutit vers 2 400 ans B.P. à un assèchement général au KANEM mais on ne peut exclure, pour le moment, que des lacs résiduels aient pu, à cette date, subsister localement.

Enfin, vers 1 800 ans B.P. le BAHR-el-GHAZAL précédemment asséché fonctionne à nouveau et dépose des alluvions sableuses. Il a pu être alimenté par le déversement du lac TCHAD dont le niveau pouvait se situer à quelques mètres au-dessus de l'actuel. Les témoignages recueillis par TILHO évoquent un écoulement du BAHR-el-GHAZAL vers la fin du XVIIIème siècle. Les données géochronologiques confirment l'existence vers cette date d'une sédimentation fluviale ou marécageuse, mais dans l'état actuel des connaissances il n'est pas possible de préciser les caractéristiques de cet écoulement récent, probablement, sporadique, et peut être local en aval de SALAL.

1.4.2.2 Le paléo-TCHAD pléistocène

Pendant le Quaternaire, il est certain que plusieurs extensions lacustres ont eu lieu dans le bassin du TCHAD comme en témoignent certaines formations sédimentaires et les traces d'anciennes lignes de rivages au-dessus de la cote 320 m. Mais la paléogéographie des anciens lacs et leur chronologie restent actuellement très mal connues.

- Aux environs de KORO-TORO et sur la bordure sud du DJOURAB plusieurs gisements de vertébrés villafranchiens ont été découverts au sommet d'une série fluvio-lacustre qui témoigne de la présence d'un ancien lac, dans cette région, au passage Tertiaire-Quaternaire.

- D'autres formations lacustres ont été décrites mais les rapports stratigraphiques qui les relient ne sont pas encore définis. Nous citerons : la série de PADELANGA, à cendres volcaniques intercalées, dans le BAHR-el-GHAZAL et le MOJI; les argiles dites "à nodules calcaires" au Sud de BONGOR, etc...

- Parmi les dépôts les plus récents, il faut également mentionner la série de KAMALA (plus ancienne que 35 000 ans B.P.) et les séries de GONDRA-ETIRE (40 000-22 000 ans B.P.) qui sont interstratifiées dans les sables dunaires du KANEM et qui témoignent d'épisodes lacustres contemporains du Würm.

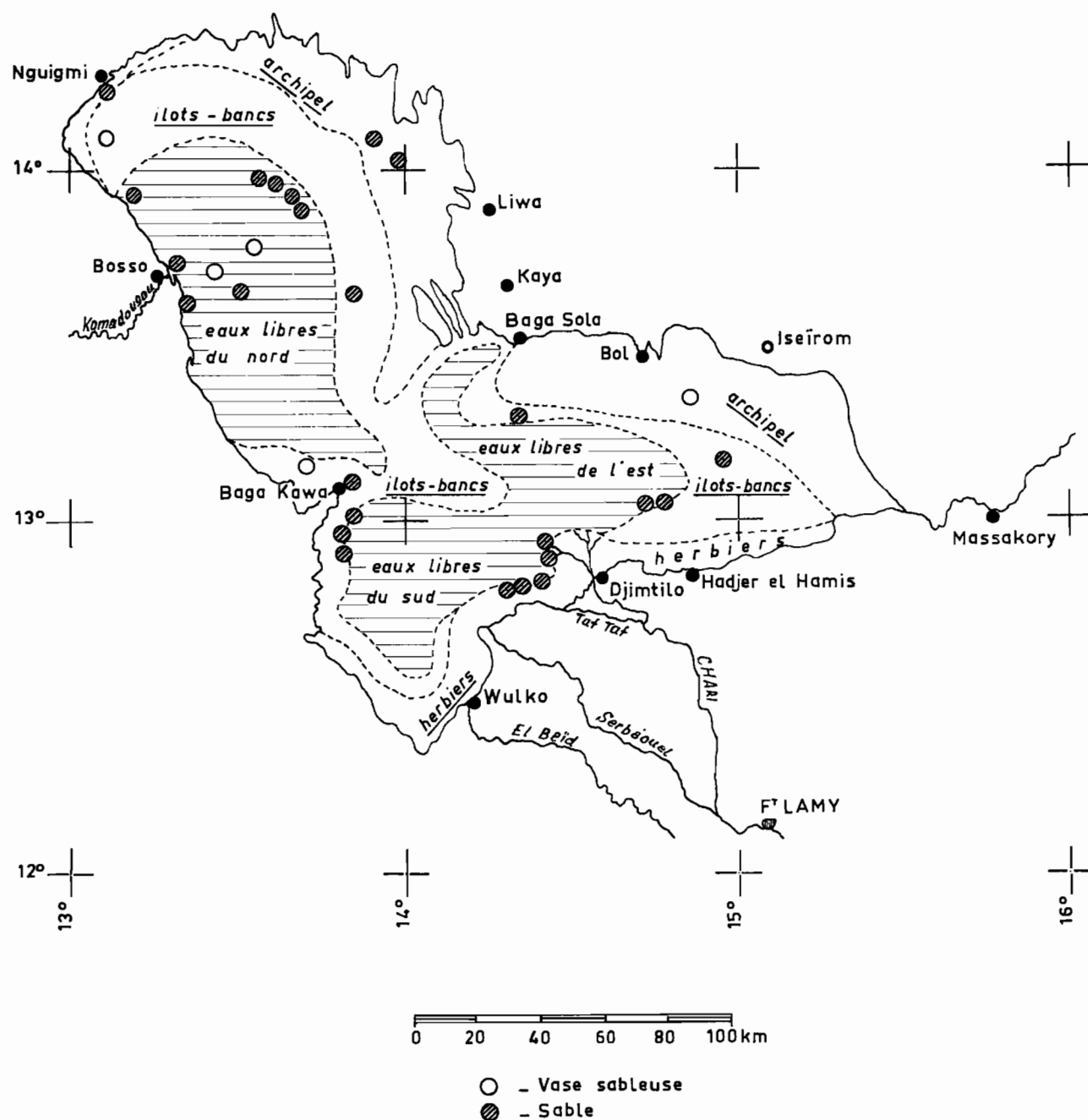
1.4.3 - Sédimentologie (d'après B. DUPONT)

a) Les dépôts qui tapissent actuellement le fond du Lac TCHAD sont essentiellement argileux. Il s'agit :

- soit d'une vase grise à noire, gorgée d'eau et très riche en matière organique sous forme de débris végétaux de l'ordre du millimètre. Cette vase est composée pour environ de $1/3$ d'argile, $1/3$ de limon et $1/3$ de sable.
- soit d'une argile se présentant sous la forme d'éléments polyédriques de 0,5 cm à quelques centimètres, aux arêtes émoussées. En profondeur, cette argile passe à une argile gris-bleu bien structurée, se débitant en polyèdres anguleux de plusieurs centimètres. Cette argile renferme $1/5$ de sable et de 1 à $2/5$ de limon.
- soit d'une argile gris clair à gris bleu, sans aucune structure mais offrant une certaine cohésion. Ce matériau est à l'analyse très proche de celui décrit au paragraphe précédent.

LE LAC TCHAD

Nature des fonds



b) On drague également :

- des sables fins, uniquement quartzeux dans l'archipel, micacés au débouché du CHARI. Ces sables couvrent des séries très localisées.
- un "pseudo-sable" se présentant sous l'aspect de marc de café dont il a exactement la couleur. Il s'agit d'un dépôt de particules d'argile arrondies et durcies qui couvre de grandes surfaces et atteint jusqu'à 40 cm d'épaisseur.

c) Sur les bordures des îles de l'archipel, des îlots-bancs et plus généralement près des côtes on rencontre des épaisseurs de tourbe de quelques centimètres.

Comme l'avait noté A. BOUCHARDEAU, les enregistrements d'un sondeur à ultra-sons permettent d'avoir une idée de la nature du fond suivant la netteté de l'écho. Nous avons déjà signalé qu'il était fréquent d'enregistrer deux échos correspondant à des couches de sédiments distincts. Ces indications sont précieuses pour le sédimentologue et devront être utilisées largement à l'occasion des futures campagnes de sondage. Leur interprétation est cependant assez délicate et doit être contrôlée soigneusement par des prélèvements de matériaux.

Les observations récentes ont confirmé l'existence de hauts-fonds sableux correspondant à des sommets d'anciens cordons dunaires plus ou moins ennoyés dans des dépôts argileux. Leur extension paraît cependant moins importante que ne le pensait A. BOUCHARDEAU. Sur plus de 200 observations réparties sur l'ensemble du Lac moins de 15 % ont décelé des fonds sableux. Ceux-ci étaient localisés autour des deltas du CHARI et de la KOMADOUGOU ou en bordure du Lac et des îles. Ce n'est que très exceptionnellement que l'on a rencontré du sable dans les eaux libres.

1.5 - HYDROGEOLOGIE

Nous esquisserons rapidement les grandes lignes de l'hydrogéologie des régions qui entourent le Lac TCHAD (1), puis nous examinerons les relations entre le lac et la nappe phréatique, particulièrement dans les régions situées au Nord-Est du lac, qui ont été l'objet d'études plus poussées.

Au Sud et à l'Ouest du lac, la surface de la nappe phréatique se caractérise en gros par des crêtes sous les cours d'eau et par des dépressions dans les zones non soumises à des inondations périodiques. On note trois dépressions principales : la première au Sud-Est du lac, entre FORT-LAMY et le lac FITRI (dépression du CHARI-BAGUIRMI, altitude minimale : 240 m environ, soit une quarantaine de mètres au-dessous du niveau du lac); la seconde au Sud-Ouest du lac, entre MAIDUGURI et la KOMADOUGOU (altitude minimale : 240 m environ); la troisième à l'Ouest du lac, entre la KOMADOUGOU et NGUIGMI (altitude minimale : 260 m environ).

Au Nord du lac, la frange côtière est marquée par une légère dépression piézométrique, puis la surface de la nappe phréatique s'élève lentement en direction du Nord-Ouest.

(1) - Une étude hydrogéologique de l'ensemble du bassin tchadien a été entreprise en 1966 sous la direction de C.E. GISCHLER, dans le cadre du Projet PNUD/UNESCO "Synthèse hydrologique du bassin du Lac TCHAD". Ce projet comporte l'établissement d'une synthèse de toutes les études antérieures et la réalisation de nouvelles études : analyses isotopiques, datations au carbone 14, couverture photographique à l'infra-rouge, modèle analogique de la nappe phréatique et de la nappe artésienne du Sud-Ouest du bassin.

Le rapport final du projet PNUD/UNESCO n'a pas été publié à ce jour (Mars 1969) mais des résultats partiels nous ont été aimablement communiqués.

Dans les régions orientales du lac la morphologie de la nappe phréatique a été précisée par J.L. SCHNEIDER (1). Elle comporte en premier lieu un dôme piézométrique (dôme de KIMI-KIMI; altitude maximale : 313 m, soit une trentaine de mètres au-dessus du niveau du lac), situé entre MAO et RIG-RIG et séparé du lac par une dépression côtière, de 10 à 25 km de large qui fait suite à celle de la bordure septentrionale. Un second dôme beaucoup moins marqué existe entre MOUSSORO et ATI (altitude maximale : 280 m environ).

Entre le dôme de KIMI-KIMI, d'une part, la dépression du CHARI-BAGUIRMI et le dôme de MOUSSORO-ATI d'autre part, prend naissance un thalweg piézométrique qui, peu marqué à l'extrémité orientale du lac, tend à s'accentuer lorsqu'il rejoint le tracé du BAHR-el-GHAZAL. Il aboutit à la dépression des Pays-Bas (BODELE) située entre KORO-TORO, FAYA-LARGEAU et KICHI-KICHI. Dans cette dépression la nappe, tout en restant proche de la surface du sol, descend à 160 m d'altitude, soit à 120 m environ au-dessous du niveau du lac.

Indépendamment de la nappe phréatique, il existe deux aquifères en charge qui ont été reconnus par des forages profonds au NIGERIA et au NIGER. L'aquifère, dit de la zone médiane, couvre une surface d'au moins 50 000 km² dans le Nord-Est du NIGERIA et 33 000 km² au NIGER. Son toit a été recoupé par des forages artésiens à des profondeurs variant entre 150 et 375 m au-dessous de la surface du sol. Son épaisseur varie de 1 à 120 mètres. L'aquifère, dit de la zone inférieure, n'est actuellement connu que dans la région de MAIDUGURI où il se trouve à des profondeurs supérieures à 400 mètres.

Les relations entre le lac et la nappe phréatique des régions avoisinantes sont encore assez mal connues. Jusqu'à récemment on admettait que les eaux du lac s'infiltraient principalement en direction de la "gouttière" piézométrique de la bordure Nord et Nord-Est, où elles étaient censées subir par évapotranspiration une forte concentration saline, attestée par la présence

(1) - Cf "Relation entre le Lac TCHAD et la nappe phréatique"
J.L. SCHNEIDER (BRGM) - Communication au Symposium de GARDE
(A.I.H.S. - Octobre 1966) -

de nombreux gisements de "natron" notamment dans la région de LIWA et de KAYA. De récentes mesures relatives à la composition isotopique de l'oxygène de l'eau (1) sont venues modifier sérieusement ces vues et ont conduit J.Ch. FONTES (2) aux conclusions suivantes :

Dans sa partie Nord-Est, "le lac TCHAD ne présente pas de phénomènes d'infiltration massive vers l'intérieur des terres. Il imprègne périodiquement les rives sur une frange limitée, de l'ordre de quelques dizaines de mètres de large. L'influence de l'eau météorique se fait déjà sentir sur la nappe littorale. Très vite, cette contribution devient prédominante, au point de rendre indécélable la participation de l'eau du lac à la nappe phréatique".

"L'ensemble du système repose sur une série de nappes communiquant entre elles et dont l'essentiel de la réserve provient d'une alimentation météorique, vraisemblablement fossile. La partie supérieure de cette masse hydrique est actuellement réalimentée par les pluies. L'évaporation n'intervient pas après l'infiltration. Le couple infiltration rapide - protection efficace contre l'évaporation, qui constitue la caractéristique des systèmes dunaires, est à nouveau mis en évidence".

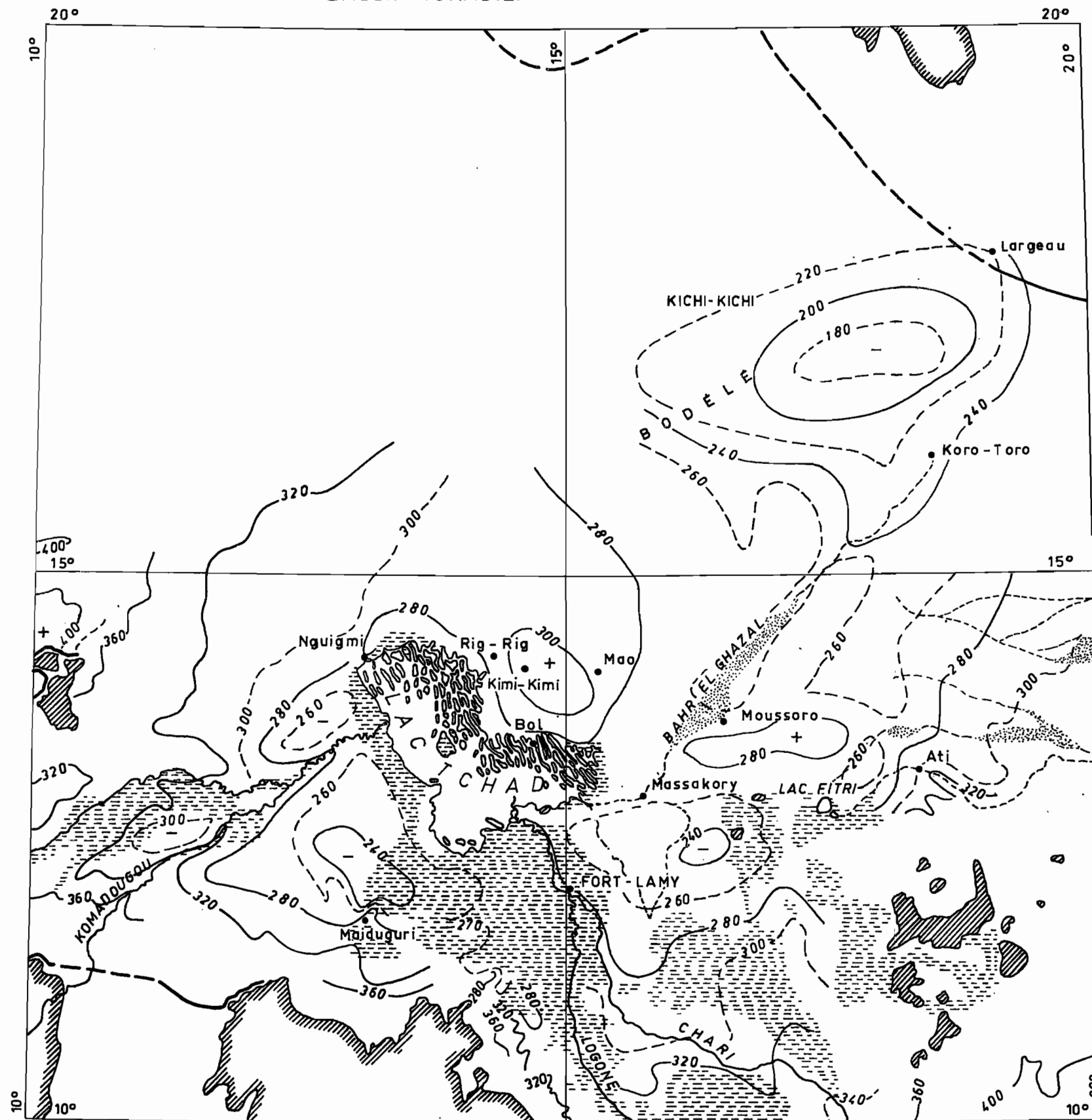
"... Les études en cours vont devoir tenir compte d'une éventuelle mobilisation par les pluies des flaques concentrées ou des laisses salines, avec transit dans les dunes et prise en charge par la nappe phréatique avant la remontée au niveau des mèches évaporantes des fonds argileux de ouadis".

(1) - Le rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ d'une eau dépend de son histoire au sein du cycle hydrologique. Les eaux météoriques ont un rapport isotopique inférieur à celui des eaux marines pris comme standard de référence (SMOW), tandis que les eaux du lac soumises à l'évaporation s'enrichissent en ^{18}O et ont un rapport isotopique relativement élevé.

(2) - Voir "Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac TCHAD avec les nappes de la bordure Nord-Est" de J. Ch. FONTES, G. MAGLIONE et M.A. ROCHE - 1968 -

Surface de la nappe phréatique BASSIN TCHADIEN

Fig.1.9

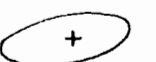


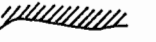
Courbes isopièzes : équidistance 40 m

Courbe normale ———— 240 ————

Courbe intercalaire ———— 220 ————

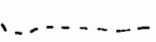
Zone de dépression de la surface
de la nappe phréatique ———— 

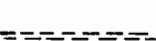
Zone culminante de la surface
de la nappe phréatique ———— 

Limite du socle ———— 

Limite du bassin géologique ———— 

Cours d'eau permanent ———— 

Cours d'eau intermittent ———— 

Zone inondable ———— 

Echelle : 1 / 5 000 000

Fig. 1.10

Piézométrie de la nappe phréatique à l'est du lac Tchad

D'après J-L SCHNEIDER du BRGM

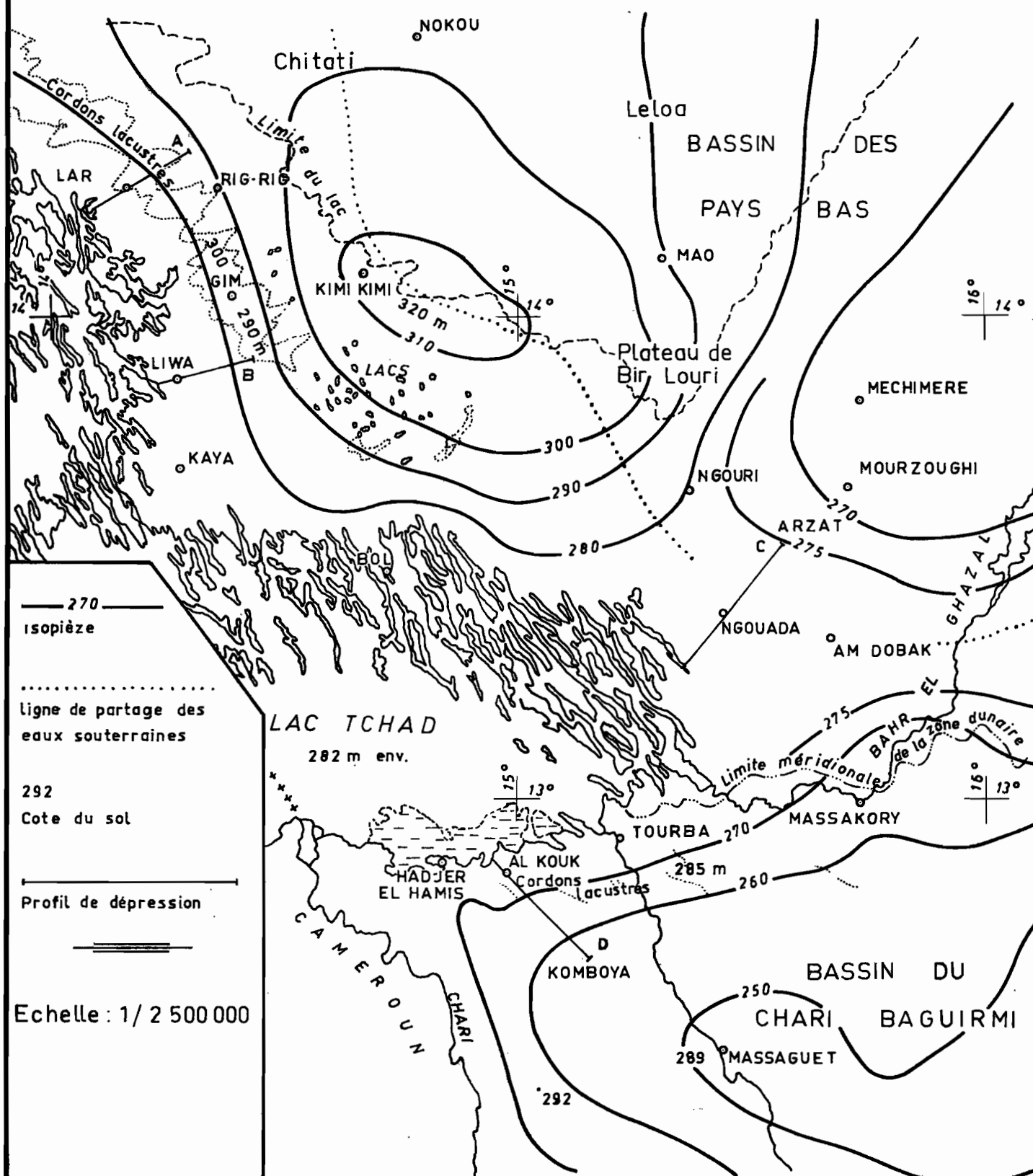
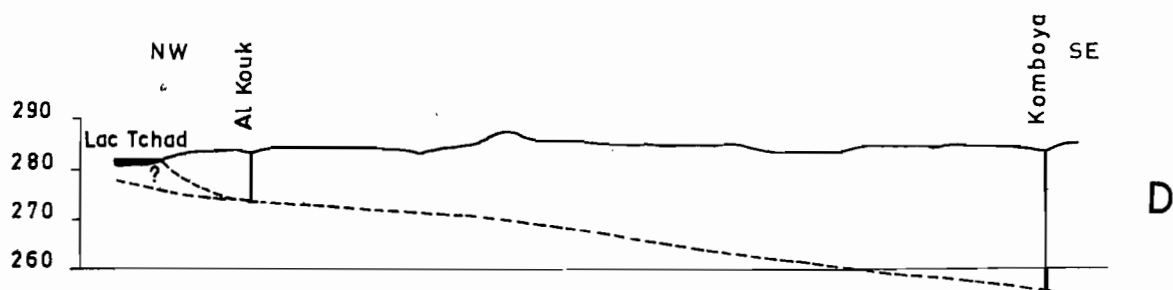
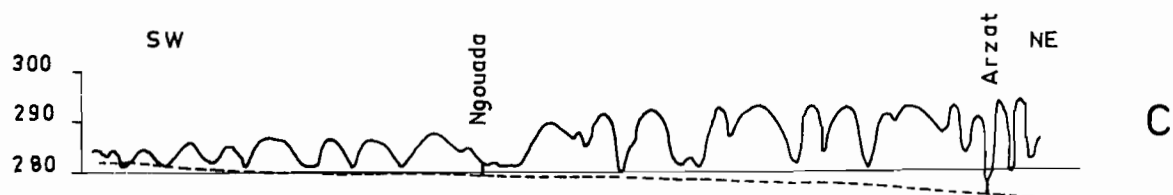
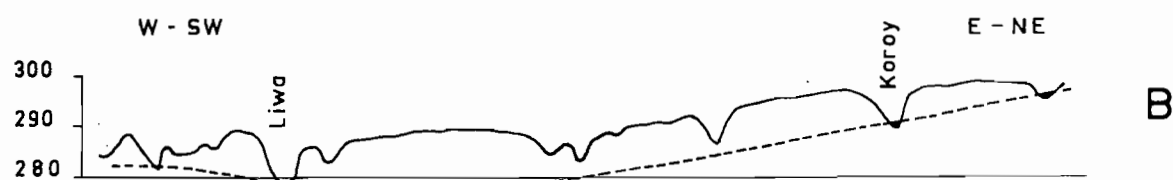
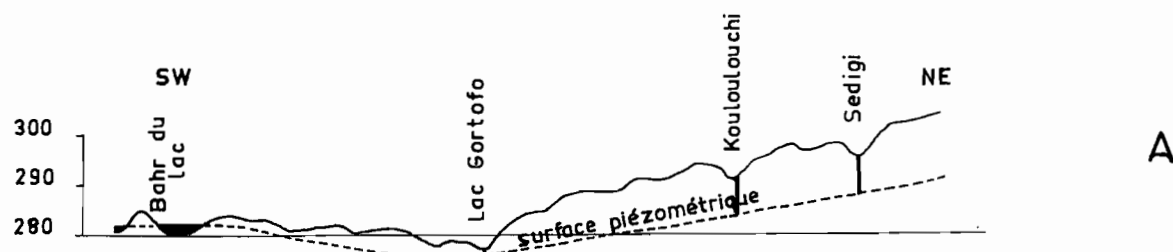


Fig-1.11

Profils de dépression

D'après J-L SCHNEIDER du BRGM



5 m
0 2 4 km.

A ces conclusions on peut objecter que, mise à part la région de BOL où des prélèvements ont été effectués jusqu'à 40 m au-dessous du niveau du lac, la tranche d'eau échantillonnée pour les mesures isotopiques a été tout à fait superficielle. Elle peut ainsi ne pas avoir été représentative de l'ensemble de la nappe phréatique. Il n'est pas impossible que l'eau du lac, stratifiée par densité, se trouve sous la tranche d'eau échantillonnée qui est essentiellement d'origine météorique.

Les conditions hydrogéologiques de cette région côtière sont en fait assez complexes, comme l'a montré le sondage effectué en 1963 par l'Institut de WAGENINGEN dans le polder de BOL-GUINI. Selon J.L. SCHNEIDER, ce sondage "a atteint 103,5 m et a recoupé sur 70 m une série à prédominance détritique, mais qui présente en particulier un horizon argilo-limoneux à 15-20 m donnant malgré ses discontinuités des aquifères à charges différentes. L'ensemble aquifère recoupé par le sondage comprend une nappe phréatique de quelques mètres de puissance contenue dans une argile fissurée récente, un aquifère de 5 à 15 m et un second de 20 à 70 m qui peuvent présenter un léger artésianisme".

Comme on le verra au chapitre 6, la faible salinité des eaux du lac laisse supposer que celui-ci subit des pertes par infiltrations, relativement faibles mais non négligeables, que l'on peut chiffrer entre 5 et 12,5 % des apports des tributaires, soit entre 65 et 160 m³/s en moyenne. Comment s'effectuent ces infiltrations ? Il est impossible de le dire avec quelque précision dans l'état actuel de nos connaissances. On sait seulement que leur processus est plus complexe qu'on ne le pensait primitivement.

Il est probable cependant que la majeure partie des infiltrations du lac se produit le long des rives Nord-Est, Nord et Nord-Ouest, qui sont beaucoup moins colmatées par des dépôts argileux que les rives Sud et Sud-Ouest (1). Il est possible aussi

(1) - Des analyses isotopiques effectuées dans le cadre du Projet PNUD/UNESCO ont confirmé que le long de la rive méridionale il n'y avait pas de relation entre les eaux du lac et la nappe phréatique.

que des infiltrations se produisent par le fond même du lac dans certaines zones sableuses, par exemple dans les eaux libres au Nord de la Grande Barrière. Ces infiltrations n'alimentent pas la tranche superficielle de la nappe phréatique, tout au moins le long de la rive Nord-Est, mais sont susceptibles de l'alimenter au-dessous d'une lentille d'eau météorique légèrement moins dense. Il est même possible qu'à l'occasion de certaines discontinuités elles rejoignent d'autres aquifères étagés en profondeur.

De nouvelles études très poussées seraient nécessaires pour préciser les relations entre le lac TCHAD et les nappes souterraines des régions avoisinantes. Une particularité de l'hydrogéologie de ces régions qui ne simplifie pas les études, est que la circulation des eaux souterraines y subit encore l'influence d'époques lointaines (3 000 ans avant J.C.), où le climat et la morphologie du lac étaient fort différents de ce qu'ils sont aujourd'hui. Le dôme piézométrique fossile de KIMI-KIMI en est un exemple frappant.

1.6 - VEGETATION

1.6.1 - Les papyrus (cyperus papyrus)

Les papyrus, nombreux dans la partie Sud-Est du lac, sont en général groupés en îlots circulaires dont les dimensions varient de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres.

Il n'y en avait pas dans la partie Nord du lac en 1951; tout l'archipel en est maintenant envahi jusqu'à TABOUA. Les bancs se sont détachés de la zone de marécages de KINDIN-BAGA-KAOUA en 1955 et 1956.

Les papyrus ne peuvent croître que sur les hauts-fonds, mais se détachent à la montée des eaux et, sous l'influence du vent, vont errer sur le lac. Ces îles dérivantes peuvent atteindre des vitesses élevées. Nous avons vu, près de BOL, par un vent de 10 à 15 m/seconde, des bancs de papyrus se déplacer à 7 km/heure. Cette progression continue après l'arrêt du vent, et même son renversement, par suite de l'inertie de ces énormes masses.

Poussés tantôt par les vents du Nord-Est, tantôt par ceux de l'Ouest ou du Sud-Ouest, les papyrus se collent aux îles de sable et aux roseaux et modifient constamment l'aspect des côtes.

Durant la saison sèche, de Novembre à Juin, les vents soufflent du Nord-Est et les îlots de papyrus restent bloqués contre les côtes Sud et Sud-Ouest. Sur les eaux libres, on rencontre rarement des îlots dérivants.

Au contraire, de Juillet à Octobre, les vents sont plus variables. Les îlots vont et viennent. La traversée des eaux du Sud ne donne alors nullement l'illusion de la pleine mer, tant les eaux sont parsemées de taches de verdure.

On serait tenté de croire que les papyrus se développent chaque année et que le moment viendra où toute la surface du lac en sera couverte. Mais en fait, les îlots de papyrus finissent par jaunir et s'enfoncent sous les eaux. Ils disparaissent ainsi et forment des limons analogues à ceux des polders.

1.6.2 - Les roseaux (echinochloa pyramidalis, phragmites, tipha)

Contrairement aux papyrus qui forment des îlots mobiles, les roseaux restent fixés au sol dans les zones relativement moins profondes.

Les roseaux prennent racine jusqu'à 5 mètres de profondeur et le sommet des tiges s'élève à plus de 2 mètres au-dessus des eaux.

A l'extrême Nord du lac, il n'y a pas de papyrus, mais uniquement des roseaux.

Ils couvrent également les zones moins profondes du Sud-Ouest et de l'Est.

Les hauts-fonds de la "Grande Barrière" sont également couverts de roseaux.

Entre BAROA et NGUIGMI et dans le Nord du lac, les roseaux sont moins denses que dans les marécages du Sud; il existe des chenaux continus, praticables à la navigation lorsqu'ils ne sont pas trop encombrés d'herbiers.

1.6.3 - Les ambadjs (herminiera elaphroxylon)

Les ambadjs sont des arbres, dont la densité est deux fois moindre que celle du liège, dont les troncs atteignent exceptionnellement 40 cm de diamètre et 8 mètres de hauteur, mais plus couramment 15 cm de diamètre et 5 m de hauteur.

Les ambadjs ne se rencontrent qu'en milieu très humide, parmi les roseaux et ne supportent pas de profondeur supérieure à 2 m.

Les ambadjs étaient très nombreux lors du passage de la Mission TILHO en 1908 (les eaux du lac étaient alors exceptionnellement basses).

D'après M. MOSRIN, il y en avait sur les rives des îles voisines de BOL en 1949, et de véritables forêts entre KINDIN et BOESMEROM. Tout a disparu depuis la montée des eaux de 1955-1956 et les ambadjs en place sont devenus très rares.

1.6.4 - Les herbiers (potamots, ceratophylles)

Constitués de longues herbes aquatiques ils entravent sérieusement la navigation. On les rencontre dans certains chenaux qui coupent la frange de roseaux de la côte Nord-Est, dans les chenaux de la partie Est de la "Grande Barrière" et surtout de l'extrémité Sud-Est du lac.

1.7 - HYDROBIOLOGIE

(Article rédigé par la Section Hydrobiologique du Centre ORSTOM de FORT-LAMY)

Le Lac TCHAD présente, à l'intérieur des quelques grandes zones précédemment définies (Archipel, zone des flots-bancs, eaux libres, marécages), des milieux très variés, souvent étroitement imbriqués, dans lesquels les peuplements en poisson, encore mal connus, paraissent assez différents.

Qualitativement, la faune piscicole du bassin tchadien offre de nombreuses affinités avec celle des bassins voisins par suite des communications relativement récentes qui existaient autrefois entre eux et ne présente que très peu d'espèces endémiques. Les espèces des biefs moyens et inférieurs se retrouvent presque toutes dans le bassin du NIGER ou celui du NIL ; le peuplement des biefs supérieurs a d'assez nombreux points communs avec ceux de l'OUBANGUI, de la LUALABA et des lacs ALBERT et RODOLPHE. Le lac TCHAD lui-même présente les mêmes espèces que celles du réseau fluvial, non compris toutefois une partie de celles qui habitent les biefs supérieurs du bassin. Sa faune présente donc les mêmes caractéristiques générales, c'est-à-dire abondance de Mormyridae, Characidae, Citharinidae, silures (Bagridae, Clariidae, Schilbeidae, Mochocidae et Cichlidae).

En ce qui concerne les proportions relatives des espèces, les résultats de pêche sont très variables dans le temps, dans l'espace et en fonction des engins utilisés. Parmi les petits poissons abondants dans les herbiers, signalons Haplochromis uringati, Barbus leonensis, Barbus pleurophlis, Barbus callipterus, Alestes dageti, Petersius intermedius, Micralestes acutidens, Paradistichodus dimidiatus, avec parfois les jeunes de quelques autres espèces de plus grande taille. En ce qui concerne les poissons de taille moyenne ayant une grande importance économique, Alestes baremoze (Salanga) surtout pullule dans l'Archipel, Hydrocyon forskali (binga) est abondant dans le Sud du Lac et les Tilapia (carpes), difficiles à capturer, paraissent abondants dans les zones abritées et encombrées de végétaux. Parmi les poissons de grande taille notons les Citharinus, les Distichodus, les Labeo, certains Silures, les Lates (Capitaines).

L'exploitation de ces peuplements par la pêche n'est pas intense. Elle s'effectue principalement à l'aide de filets dormants à grande maille et de lignes à nombreux hameçons non appâtés. Signalons au passage que les innombrables Alestes baremoze (Salanga) de l'Archipel sont totalement inexploités.

Comme la faune ichthyologique, la faune benthique présente de grandes variations selon les milieux considérés, tant qualitativement que quantitativement. Dans l'ensemble, aucune espèce ne semble être endémique au lac, les formes dominantes se retrouvant un peu partout dans toute la région éthiopienne.

La zone des herbiers du Sud et Sud-Est renferme une faune entomologique extrêmement abondante, principalement formée par des Chironomides (vers de vase) des genres Cryptochironomus, Polypedilum, Tanytarsus, Clinotanypus) et des Ephémères (Caenidae et Baetidae principalement). Les vers Oligochètes (Allonais, Branchiodulus) y sont aussi très abondants ainsi que les mollusques pulmonés (Bulinus, Biomphalaria).

L'ensemble des eaux libres représente une zone à biomasse importante où dominent nettement les mollusques (Caelatura, Cleopatra, Corbicula ...). Dans les eaux libres du Sud on peut estimer la biomasse en mollusques à environ 50 kg de matière organique à l'hectare.

Les îlots-bancs et les bordures végétales des îles renferment une faune abondante où domine Povilla adusta, un Ephéméroptère vivant principalement dans les viges décomposées de papyrus.

Par ailleurs, les bordures végétales des îles laissent très souvent entre elles et la dune une zone d'eau plus ou moins libre, peu profonde et calme, où se développent énormément de larves d'Odonates (libellules) : Diplacodes, Agrionidae et beaucoup d'Hémiptères (punaises aquatiques) : Anisops, Micronecta ... Cette zone est aussi un biotope typique des mollusques pulmonés.

L'ensemble de la zone de l'Archipel, plus profonde et abritée est caractérisée par deux mollusques (Bellamya et Bisano-donta). La faune entomologique y est très variée, les formes dominantes étant généralement les suivantes : Cryptochironomus, Clinotanypus (chironomidae) Ecnonus, Dipseudopsis (Trichoptères) et les trois espèces de Chaoboridae qui peuplent le lac.

Dans les zones où circule un léger courant, les Oligochètes appartenant aux genres Alluroïdes, Aulodrilus, Euilyodrilus et Pristina sont très abondants trouvant là une oxygénation plus importante et une nourriture abondante.

Au point de vue plancton, la faible profondeur, l'étendue des zones abritées, la température élevée du milieu et l'importante énergie lumineuse reçue favorisent la formation d'un peuplement particulièrement dense. Pour le phytoplancton, on remarque l'abondance des formes de petite taille et la dominance des Cyanophycées. Les Chlorophycées et les Diatomées comprennent une quantité appréciable d'espèces tandis qu'Euglenophycées, Pyrrophytes, Xanthophycées et Chrysophycées ne sont qu'en nombre limité. Dans le Zooplancton, on note la dominance des Copépodes, dont la reproduction semble avoir lieu toute l'année, sur les Rotifères et les Cladocères.

Les eaux libres de la partie Sud sont directement influencées par le régime du CHARI et de ses défluent : une baisse sensible de la densité du plancton intervient au moment de la crue du fleuve; de plus, les sédiments du fond sont, à cette époque, remis en suspension par les vagues soulevées par les vents d'Ouest et la turbidité devient très forte limitant le développement planctonique. Dans les différentes zones de l'archipel, la densité du plancton reste toujours élevée et varie peu au cours de l'année. On y remarque fréquemment des fleurs d'eau à Anabaena ou Microcystis. Dans les herbiers à potamots de la partie Sud, le plancton est particulièrement varié.

De façon générale, les peuplements paraissent de moins en moins riches en espèces à mesure que l'on gagne les régions septentrionales du lac et que la salinité des eaux croît.

Le cas extrême se trouve dans les mares fortement natronnées de la bordure Nord-Est du lac où se développent en grande abondance des peuplements presque uniquement formés par une Cyanophycée du genre Spirulina. Cette algue, appelée algue bleue, récoltée et séchée est utilisée dans l'alimentation par les populations locales sous le nom de Dihé.

A remarquer dans le plancton, la présence de méduses dans les prélèvements effectués dans l'Archipel et de quelques espèces de crevettes trouvées dans l'ensemble du lac.

1.8 - CONDITIONS de NAVIGATION

Un trafic de quelques milliers de tonnes par an est assuré entre FORT-LAMY et BOL par des barges accouplées à un remorqueur. Ce trafic est constitué de denrées alimentaires et de matériaux divers dans le sens FORT-LAMY - BOL et de natron dans le sens inverse. Il est appelé à s'accroître avec le développement des polders de la région de BOL, dont la production de blé devra être acheminée vers FORT-LAMY.

Un trafic de natron peu important mais non négligeable existe également à partir de BOL et BAGA-SOLA en direction de BAGA-KAWA. Il utilise des bateaux légers ("kadeye") faits de roseaux ou de papyrus.

Les conditions de navigation varient beaucoup avec l'état de remplissage du lac. Lorsque le niveau des eaux est assez haut, comme ce fut le cas de 1956 à 1966, les profondeurs d'eau entre l'estuaire du CHARI et BOL sont presque partout supérieures à 2 mètres, même en étiage. Les principales difficultés viennent alors du vent qui crée parfois une houle courte dont le creux dépasse un mètre et qui peut être dangereux pour des bateaux mal adaptés. C'est ainsi qu'en 1956 une tempête a provoqué le naufrage d'une pinasse du Service des Douanes.

Depuis 1966 le niveau du lac a commencé à baisser assez sérieusement et il est possible que des difficultés de navigation apparaissent dans les années à venir. Entre l'estuaire du CHARI et BOL les profondeurs risquent de devenir insuffisantes dans la zone des îlots-bancs qu'un bateau calant 1 mètre ne peut franchir sans difficulté que si le niveau du lac est supérieur à l'altitude 281,60 m * (soit une hauteur d'eau de 3,73 m à l'échelle de BOL).

Par ailleurs, si la baisse des eaux se poursuit, elle s'accompagnera d'une extension de la végétation aquatique qui reconstituera le barrage végétal quasi infranchissable qui existait avant 1953. D'après M. MOSRIN, ancien chef de district de BOL, on était obligé jusqu'en Octobre 1953, et cela depuis plus de vingt ans, de contourner les îlots-bancs en passant par SEYROM et NGELEA au Sud de BAGA-SOLA, ce qui doublait largement le parcours entre l'estuaire du CHARI et BOL. Actuellement, il peut arriver que cer-

* - Cf "Navigation entre FORT-LAMY et les Cuvettes Lacustres - Sondages campagne 1962" de B. BILLON et E. BOULIN - ORSTOM

taines passes soient provisoirement bouchées par des bancs de papyrus dérivants, mais on peut généralement trouver une autre passe. D'ailleurs, en saison des pluies les changements fréquents de la direction du vent dégagent assez rapidement les passes.

La navigation entre les eaux libres du Sud-Est et celles du Nord-Ouest ne présentait pas de graves difficultés ces dernières années, mais si le niveau du lac continue à baisser il faut s'attendre là aussi à la reconstitution de la "Grande Barrière" dont le franchissement pourrait devenir fort mal aisé, comme il le fut dans le passé. En 1904 le lieutenant de vaisseau AUDOIN l'avait franchie à son extrémité Nord-Est en passant par KADIN, mais cet itinéraire est resté impraticable pendant près de quarante ans. En 1908 le Général TILHO s'était frayé difficilement un passage par la poche de BAGA-KAWA, itinéraire qui est resté longtemps le seul accessible.

Du 23 Mars au 11 Avril 1967 deux chercheurs de l'ORSTOM, à l'occasion d'une étude hydrobiologique et physico-chimique, ont effectué avec une pinasse calant 0,90 m le tour de toute la partie du lac située à l'Ouest et au Nord de l'estuaire du CHARI. Le niveau des eaux était alors voisin de l'altitude 282,0 m (soit une hauteur d'eau de 4,13 m à l'échelle de BOL). Ils ont signalé des hauts-fonds susceptibles de gêner la navigation aux approches des deltas du CHARI et de la KOMADOU-GOU-YOBE, au Sud et à l'Ouest de la presqu'île de BAGA-KAWA et enfin au franchissement de ce qui reste de la "Grande Barrière" près de la côte orientale. Dans ce dernier secteur ils ont essayé sans succès plusieurs passes barrées par des hauts-fonds ou des "herbiers" avant de réussir à emprunter celle située entre FENDE et NDOUGOUDOM FETE. La côte occidentale des eaux libres du Nord leur a réservé quelques désagréments car elle ne présente aucun abri en cas de mauvais temps. A ce point de vue la côte orientale est moins dangereuse car des îlots innombrables permettent toujours de se protéger rapidement contre le vent et la houle.

1.9 - Le BAHR-el-GHAZAL

1.9.1 - Description

Le BAHR-el-GHAZAL est un émissaire fossile du Lac TCHAD qui, à certaines époques de son histoire, le reliait aux "Pays-Bas" du TCHAD dont l'altitude minimale se situe à quelque 120 m plus bas que le niveau actuel du lac. Cet émissaire long de 500 km quitte le lac à son extrémité Sud-Est, passe au voisinage de MASSAKORY, puis sur 450 km environ suit une direction Nord-Est jusqu'à KORO-TORO.

Lorsqu'à la suite d'une série d'années pluvieuses le niveau du lac est particulièrement élevé, le BAHR-el-GHAZAL tend à jouer à nouveau le rôle d'émissaire mais la pénétration des eaux dans sa vallée dépasse très rarement quelques dizaines de kilomètres et s'arrête toujours très loin de KORO-TORO.

Le BAHR-el-GHAZAL apparaît d'abord comme le prolongement de l'une des nombreuses dépressions interdunaires orientées Nord-Ouest - Sud-Est qui caractérisent la rive Sud-Est du lac. Un peu en amont de TAGAGA son lit devient plus marqué; sa largeur excède rarement une centaine de mètres et lorsqu'il est inondé il se présente comme une succession de mares reliées par des chenaux étroits.

Cet aspect subsiste sur une dizaine de kilomètres en aval de MASSAKORY. Le BAHR-el-GHAZAL aborde ensuite des régions ensablées couvertes d'une maigre steppe et sa morphologie se modifie profondément. Son lit commence à s'élargir et à se subdiviser en plusieurs bras, puis en aval de CHEDRA, où l'on note encore quelques méandres bien conservés, la dégradation s'accroît et la vallée devient très confuse. Dans la région de MOUSSORO, elle s'étale sur une quarantaine de kilomètres et devient encombrée de bras morts sinueux, plus ou moins reliés à d'innombrables dépressions intermédiaires qui sont occupées par des mares temporaires.

La vallée du BAHR-el-GHAZAL reprend peu à peu un aspect moins confus et se distingue nettement des régions avoisinantes par sa végétation plus dense. Dans la région de SALAL sa largeur varie entre 2 et 7 km. On y observe encore de nombreux vestiges de méandres et de bras morts, mais leur comblement éolien est de plus en plus avancé de sorte que la route de KORO-TORO peut sans

grande difficulté emprunter la vallée sur une bonne partie de son tracé. Vers NEDELEY toute trace d'anciens bras a disparu et l'on ne rencontre plus çà et là que des mares temporaires alimentées épisodiquement par le ruissellement des versants de la vallée. Celle-ci s'estompe progressivement et disparaît dans les sables vers KORO-TORO.

A l'origine du BAHR-el-GHAZAL, le sous-sol est constitué par un sable fin d'épaisseur inconnue. Dans le fond des dépressions on observe des dépôts limono-argileux sur des argiles feuilletées interstratifiées de sable. En surface, on trouve :

- entre les dépressions, des sols bruns sableux couverts par une savane arbustive dense,
- sur les pentes, des sables colluviaux plus épais sur argiles feuilletées,
- dans les fonds, des argiles noires tropicales couvertes de cultures de mil et de bosquets d'acacias scorpioïdes.

Les dunes qui apparaissent au Nord-Est de MASSAKORY sont constituées de sables grossiers donnant naissance à des sols bruns ou bruns-rouges steppiques couverts de graminées. Sur les pentes, on observe des terrasses couvertes d'une végétation arbustive clairsemée comportant en particulier des balanites. Des touffes de palmiers doums poussent parfois en bordure des fonds.

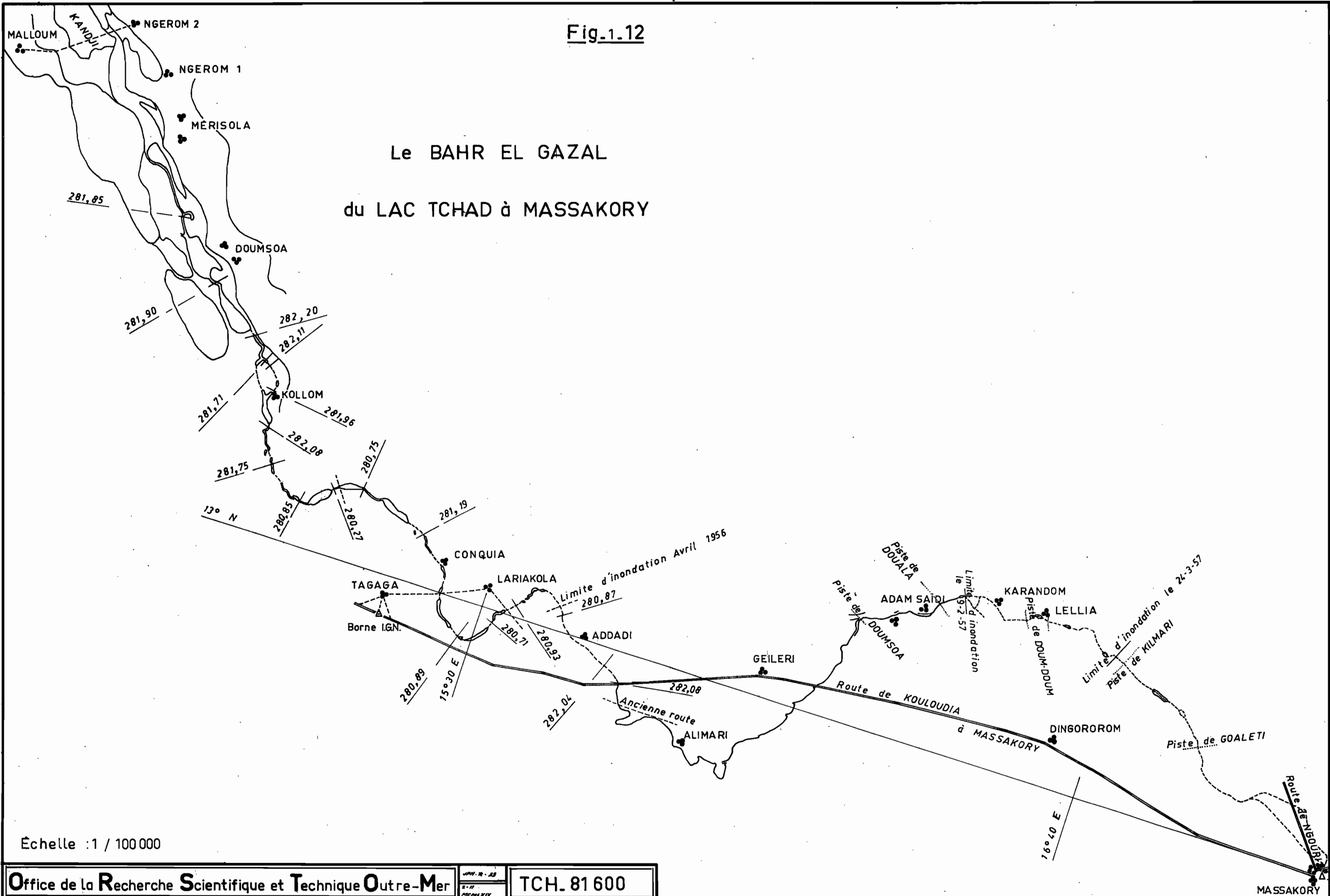
1.9.2 - Pénétration des eaux du Lac dans le BAHR-el-GHAZAL

Comme on l'indique plus loin (paragr. 3.4), les mémoires de NACHTIGAL et du Général TILHO mentionnent diverses inondations du BAHR-el-GHAZAL survenues au siècle dernier. On sait ainsi que la pénétration des eaux a atteint environ 120 km en 1870, 95 km en 1873 et 180 km (jusqu'à REMELE, près de MOUSSORO) en 1874. Une dernière inondation s'est produite en 1900 sur 70 km environ (jusqu'à BIR ACHIM), puis il a fallu attendre jusqu'en Janvier 1956 pour que les eaux du Lac entrent à nouveau dans le BAHR-el-GHAZAL.

En Janvier 1955, les eaux avaient déjà atteint un seuil que l'on peut considérer comme le point d'origine du BAHR-el-GHAZAL et qui se trouve à 14 km au Nord-Est de KOULOUDREI, près de la piste reliant MALLOUM à NZEROM.

Fig. 1.12

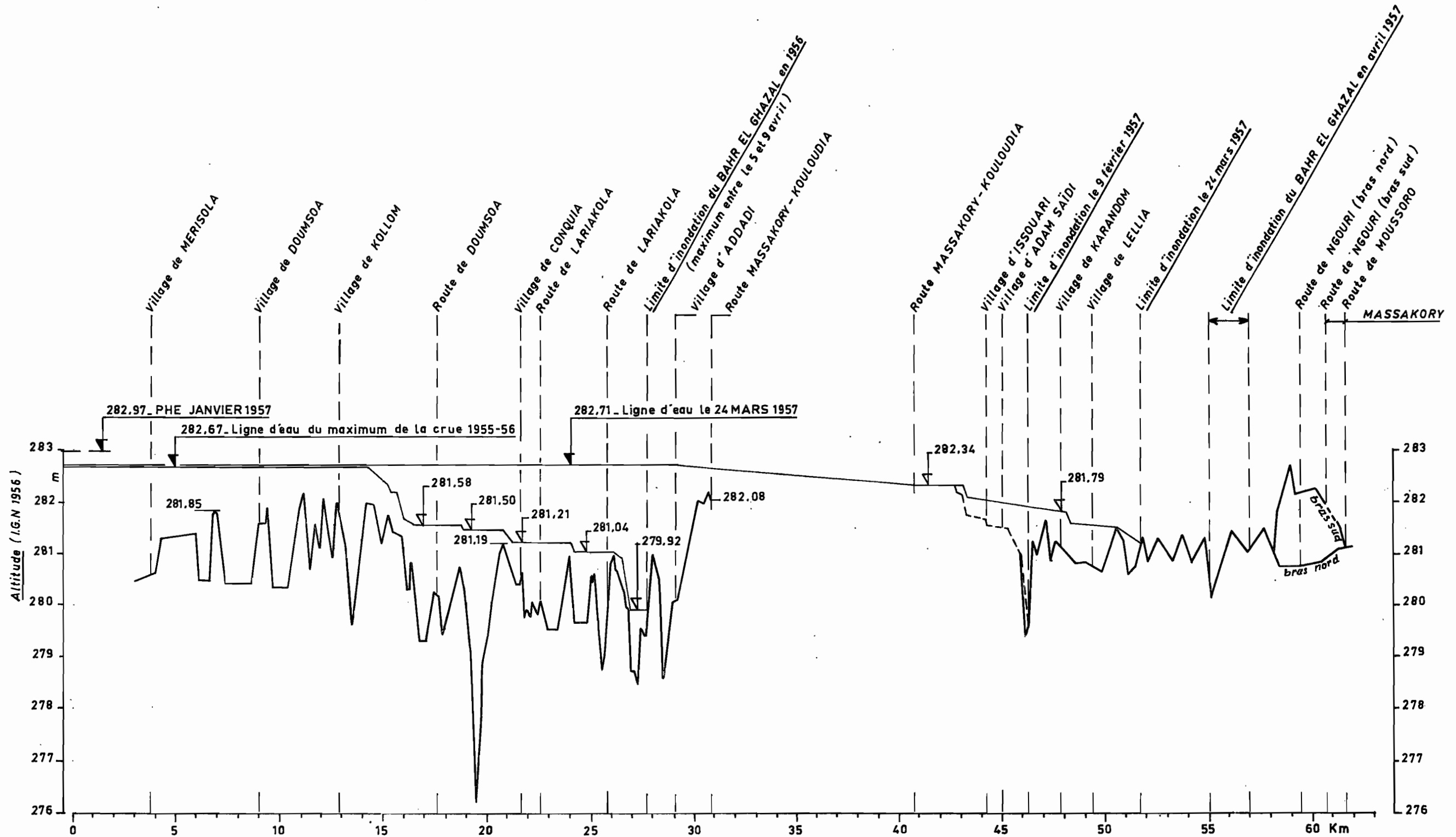
Le BAHR EL GAZAL du LAC TCHAD à MASSAKORY



Échelle : 1 / 100 000

Fig.1.13

Profil en long du BAHR EL GHAZAL du LAC TCHAD à MASSAKORY



En Janvier 1956, à la suite de la forte crue du CHARI de 1955, le flot d'inondation a rapidement submergé et affouillé les seuils situés jusqu'au km 15. Le 11 Février, il coupait la route de TAGAGA à DOUMSOA, le 9 Mars il franchissait le seuil de CONQUIA (km 21) et enfin entre le 5 et le 9 Avril, il atteignait son point extrême d'avancée au km 27,8. Le 11 Avril, le débit pénétrant dans le BAHR-el-GHAZAL ne parvenait plus à compenser les pertes par infiltration et par évaporation, de sorte que le front d'inondation avait déjà reculé d'une cinquantaine de mètres.

En 1956-1957, l'inondation du BAHR-el-GHAZAL a été plus précoce et plus étendue que l'année précédente. Le 1er Novembre 1956, une diguette construite par les riverains au km zéro était rompue et les eaux pénétraient rapidement dans le BAHR-el-GHAZAL. Le 21 Novembre, l'inondation atteignait le km 26, le 18 Décembre le km 30, le 31 Janvier le km 48, le 24 Mars le km 52 et enfin le 12 Avril le km 56. La progression des eaux jusqu'au km 28 a été beaucoup plus rapide que lors de l'inondation précédente car celle-ci avait déblayé les seuils et laissé des mares non encore asséchées. Pendant toute l'année 1957, le BAHR-el-GHAZAL a été alimenté par le lac, mais le débit entrant est resté insignifiant au km zéro entre le 15 Mai et le 15 Août.

L'inondation de 1957-1958 n'a pas été suivie d'aussi près que celle des années précédentes. Le 5 Octobre 1957, la limite d'inondation était revenue à sa position du mois d'Avril 1957 vers le km 56 et, à la fin de Mars 1958, elle atteignait son point extrême vers le km 65.

Les observations sur le BAHR-el-GHAZAL n'ont pas été poursuivies les années suivantes sauf en 1962-1963 où une échelle a été installée à TAGAGA (km 20). Elle a été lue de façon intermittente et a donné les résultats qui sont mis ci-dessous en parallèle avec les hauteurs nettes relevées simultanément à l'échelle de BOL :

Date	13-12-1962	31-12-1962	1-1-1963	22-1-1963	3-2-1963	25-2-1963	4-3-1963	17-3-1963	5-4-1963	30-4-1963	6-5-1963	16-5-1963	8-6-1963	8-11-1963	23-11-1963
Hauteur d'eau TAGAGA	70	241	223	216	207	180	165	205	212						
Hauteur d'eau BOL	239	242	224	213	204	188	184								

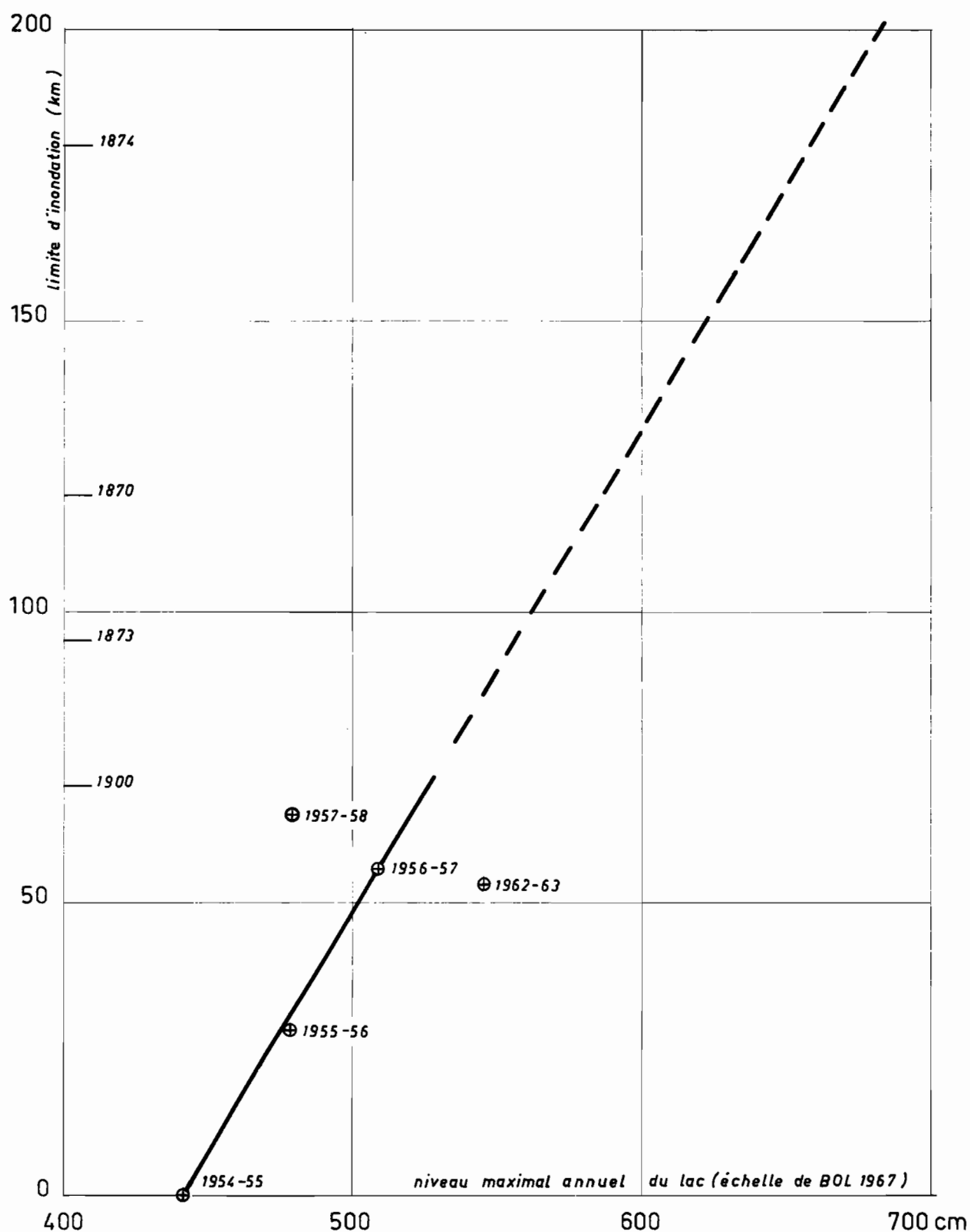
Une digue de sable qui barrait l'entrée du BAHR-el-GHAZAL a dû être submergée et partiellement érodée vers le 10 Décembre. La pénétration des eaux a été assez rapide et jusqu'en Juin les hauteurs relevées à TAGAGA ont suivi des variations sensiblement parallèles à celles du niveau du Lac. Cependant, l'inondation n'a pas dépassé le km 53 bien qu'en Janvier 1963 le Lac ait atteint un niveau jamais observé depuis le début du siècle. Il est fort probable que des barrages construits par les riverains pour protéger leurs plantations de mil ont freiné efficacement le flot d'inondation.

On a cherché à définir une relation entre la limite d'inondation du BAHR-el-GHAZAL et le niveau maximal du Lac à BOL pour une année donnée. Le graphique 1-14 montre qu'en première approximation on peut admettre une relation linéaire bien que les deux points relatifs aux années 1957-1958 et 1962-1963 s'écartent assez sensiblement de la droite adoptée. Le principal intérêt de cette droite est de permettre d'évaluer à 50 cm près les plus hauts niveaux atteints par le Lac au siècle dernier (cf. paragr. 3.4). En fait, la relation n'est pas très bien définie parce que l'inondation est plus ou moins freinée par des barrages artificiels et parce qu'elle dépend, dans une certaine mesure, de conditions initiales telles que l'humectation du lit et le déblaiement des seuils par des inondations antérieures.

Des mesures de débits ont été effectuées en différents points du BAHR-el-GHAZAL. Les résultats obtenus sont récapitulés ci-dessous :

Date	Lieu	Débit (m ³ /s)	Date	Lieu	Débit (m ³ /s)
30-11-1956	KOLLOUM	6,6	31- 1-1957	km 30	6,8
"	(km 14,5)		11- 2-1957	"	5,0
"	TAGAGA	5,5	24- 3-1957	"	5,3
"	(km 18,5)		12- 4-1957	"	3,7
"	DJOUROU	0,66			
"	(km 28)				
28-12-1956	KOLLOUM	8,9	13-12-1962	TAGAGA	2,3
"	TAGAGA	3,5		(km 18,5)	
30- 1-1957	KOLLOUM	10,5	31- 1-1963	"	#0

Relation entre la limite d'inondation du BAHR-EL-GHAZAL
et le niveau maximal annuel du lac



On a pu en déduire les volumes d'eau approximatifs V qui ont pénétré dans le BAHR-el-GHAZAL :

- $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ au droit de KOLLOUM, entre le début de Janvier et la fin d'Avril 1956,
- $80 \text{ à } 90 \times 10^6 \text{ m}^3$ au droit de KOLLOUM entre Novembre 1956 et Juin 1957,
- moins de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ au droit de TAGAGA entre le 15 Décembre 1962 et le 15 Juin 1963.

Ces volumes V sont largement supérieurs aux volumes v occupés par les eaux en aval de KOLLOUM au moment du maximum de l'inondation. Les volumes v ont, en effet, été grossièrement évalués à :

- $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 1956
- $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 1957

Les pertes par évaporation et par infiltration sont donc considérables et ont représenté en 1956 et 1957 au moins les $\frac{2}{3}$ du volume écoulé à KOLLOUM.

En comparaison des apports du CHARI qui sont de l'ordre de $40 \times 10^9 \text{ m}^3$, les volumes qui s'échappent du Lac pour entrer dans le BAHR-el-GHAZAL restent toujours insignifiants. Il est impossible d'envisager sérieusement un aménagement de la dépression du BAHR-el-GHAZAL pour régulariser le niveau du Lac. Il faudrait prélever plus de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ sur le Lac pour abaisser son niveau de 1 cm seulement. Un aménagement hydro-agricole de la dépression, quoique moins utopique, ne paraît pas non plus offrir de possibilité très intéressante.

Tout à fait indépendamment de son alimentation par le Lac TCHAD, la dépression du BAHR-el-GHAZAL reçoit épisodiquement quelques apports localisés dus au ruissellement superficiel des eaux de pluies. En cas de précipitations intenses des ruisselets se forment sur les versants de la dépression et débouchent dans des mares dont le fond est colmaté par des dépôts argileux. Ces mares, qui constituent des points d'eau intéressants pour le bétail, sont particulièrement nombreuses dans la partie amont du BAHR-el-GHAZAL mais, même à KORO-TORO, il en existe une qui peut, certaines années, rester en eau pendant plusieurs semaines.

1.10 - POLDERS et EVAPORITES

1.10.1 Les polders des rives Nord-Est du Lac TCHAD (Paragraphe rédigé par C. CHEVERRY)

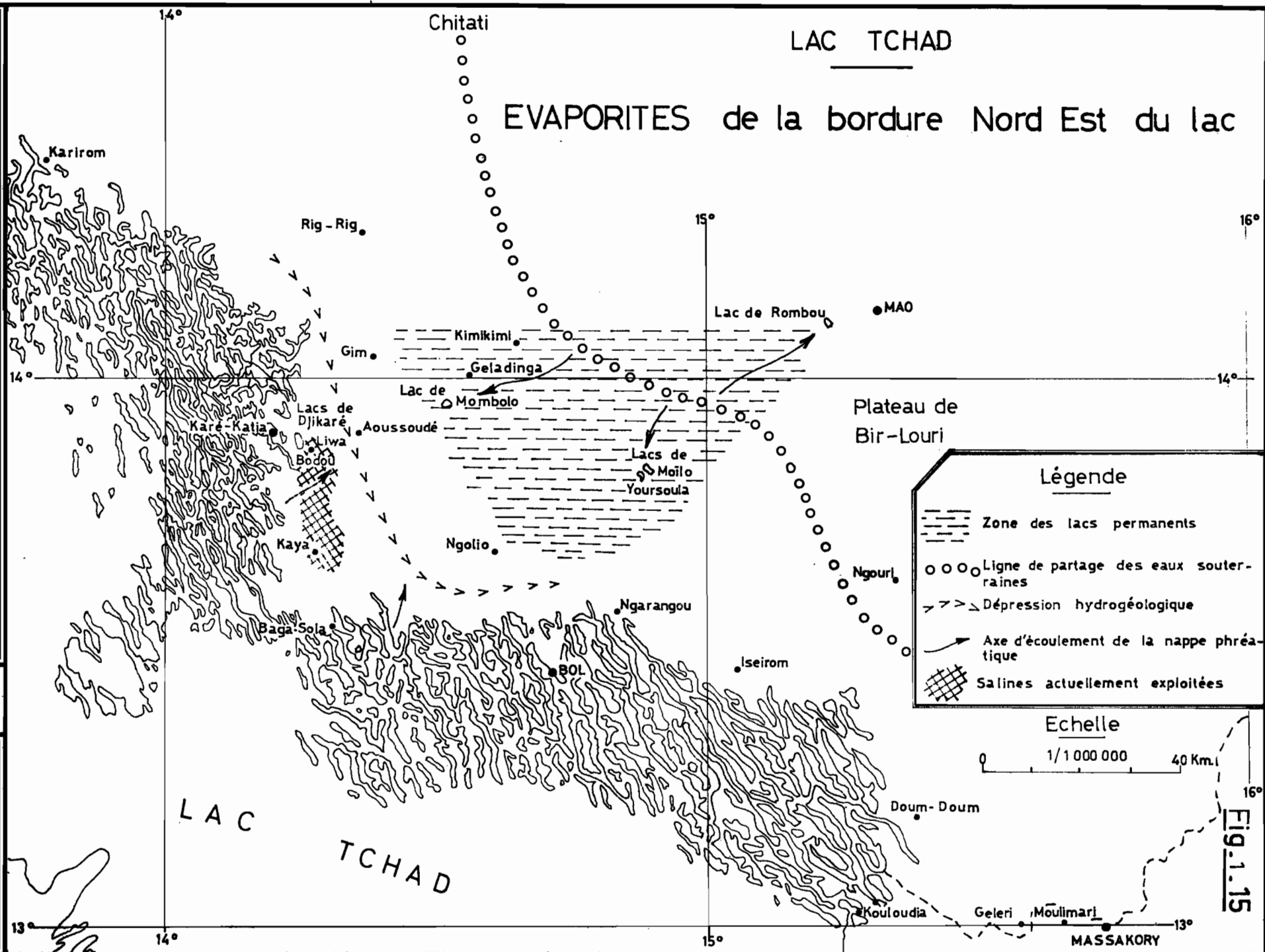
L'isolement de certains bras de la bordure Nord-Est du Lac par la construction de barrages en sable et l'évaporation des masses d'eau ainsi emprisonnées ont conduit à la création de "polders". Les matériaux sédimentaires lacustres exondés sont riches en argile, en matière organique bien humifiée, en azote, en phosphore, en potassium. La présence à faible profondeur d'une nappe phréatique entretient dans les sols une humidité favorable au développement des plantes. Ces caractères sont autant d'atouts agronomiques qui font de ces zones des terres fertiles. Les cultures telles le blé, le maïs, le coton, la pomme de terre y réussissent bien.

Le facteur réduisant progressivement cette fertilité est la salinisation progressive de la nappe phréatique et des sols. Ces polders fonctionnent en effet comme des bassins évaporatoires et les sels, très dilués au niveau du Lac, s'y concentrent. Cette concentration est hétérogène et certains secteurs des polders sont beaucoup plus touchés que d'autres. La mise en place d'un système d'irrigation (avec les eaux du Lac) associé à un système de drainage serait un moyen efficace, mais coûteux, de réduire les effets défavorables à cette salinisation.

1.10.2 Les évaporites de la bordure septentrionale du Lac TCHAD (d'après G. MAGLIONE)

La bordure septentrionale du Lac TCHAD se présente comme un erg ancien, orienté Nord Nord-Ouest - Sud Sud-Est, dont les creux interdunaires furent envahis par les eaux d'une transgression lacustre au cours de laquelle des sédiments fins se sont déposés.

La présence d'une nappe phréatique à faible profondeur, jointe à la présence de sédiments argileux, détermine sous ce climat subaride d'intenses remontées capillaires qui amènent certains sels dissous de la nappe à saturation.



Des sels minéralogiquement exprimés précipitent au sein même des sédiments argileux et dans les puisards d'exploitation où la nappe affleure.

Le faciès hydrochimique de la nappe, carbonaté sodique, détermine la nature des minéraux cristallisés, essentiellement carbonatés et bicarbonatés sodiques : gaylussite, trona ...

La formation de ces évaporites constitue une ressource minière originale qui est exploitée sous le nom de "natron" et se trouve essentiellement constituée de carbonate de soude.

On verra au chapitre 6 le rôle que l'on peut attribuer aux évaporites dans la régulation saline des eaux du Lac.

CHAPITRE 2

DONNEES CLIMATIQUES

2.1. - GÉNÉRALITES

Les régions riveraines du Lac reçoivent, en année moyenne, des précipitations comprises entre 550 et 250 mm. Selon la classification de J. RODIER, leur climat est donc de type sahélien et confine vers le Nord au type subdésertique.

Rappelons que les caractéristiques saisonnières de ces climats sont liées aux déplacements du front intertropical (FIT) qui sépare les masses d'air tropicale continentale (harmattan) et équatoriale maritime (mousson).

De Novembre à Mars, le FIT est situé très loin au Sud du Lac : l'harmattan règne et la saison sèche est absolue. A partir d'Avril, le FIT commence à remonter nettement vers le Nord avec des reculs temporaires. De petites précipitations apparaissent en Mai et Juin. Le FIT atteint sa position la plus septentrionale, vers le 20^e parallèle, en Juillet et Août. Les trois quarts environ des précipitations annuelles tombent pendant ces deux mois. Les précipitations sont encore notables en Septembre, mais le FIT rétrograde rapidement vers le Sud. La saison sèche s'installe à la fin de ce mois ou au début d'Octobre.

2.2. - VENTS

Le régime des vents est lié d'une part aux déplacements du FIT et, d'autre part, aux phénomènes thermiques créés localement par la présence même du Lac.

En saison sèche, l'harmattan souffle d'une façon générale du Nord-Est, tandis qu'en saison des pluies, la mousson vient du Sud-Ouest. A ces deux vents principaux, qui alternent au gré des déplacements du FIT, se superposent des vents locaux secondaires :

- brise venant du Lac provoquée dans la journée par des ascendants thermiques sur les régions riveraines lorsque la température y est plus forte que sur le Lac;
- brise venant des terres provoquée la nuit par un phénomène inverse lorsque la température superficielle du Lac est sensiblement plus élevée que celle des régions avoisinantes.

Les tableaux 2-I à 2-IV relatifs à la direction et à la vitesse du vent à BOL et à NGUIGMI montrent les effets combinés des vents principaux et secondaires.

On remarque tout d'abord que les vents sont nettement plus forts le jour que la nuit, ce qui est un fait bien connu lié aux variations de la turbulence atmosphérique, laquelle favorise les transferts d'énergie des couches hautes vers les couches basses de l'atmosphère.

Sur la dune de BOL les vents sont en général un peu plus élevés le matin entre 6 h et 12 h que l'après-midi entre 12 h et 18 h. De Septembre 1962 à Avril 1963, les moyennes mensuelles à 1 m du sol ont varié entre 1,5 et 2,15 m/s. De Février à Décembre 1957 les vitesses ont été nettement supérieures (entre 4 et 5,25 m/s) parce que mesurées à une dizaine de mètres au-dessus du sol.

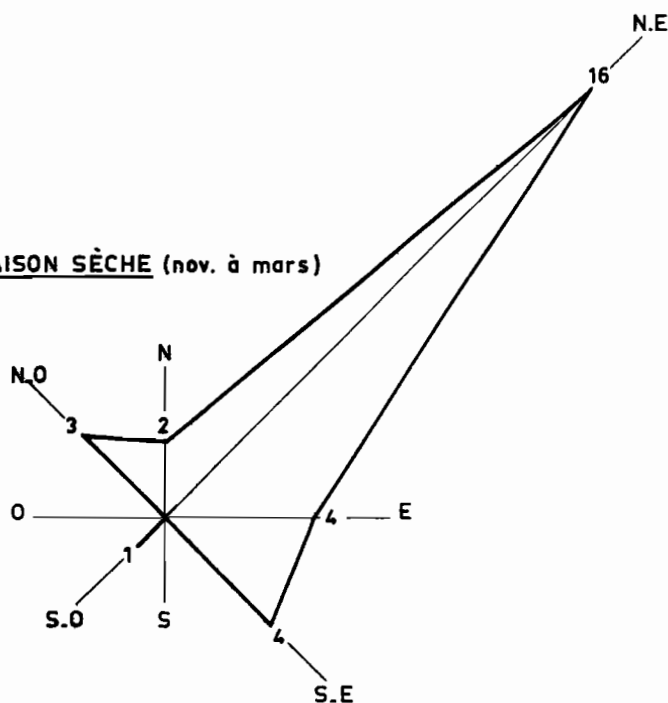
A NGUIGMI en 1958, les vitesses du vent à 6 h et 18 h sont restées le plus souvent inférieures à 1 m/s, sauf de Juin à Août. Les vitesses à 12 h ont été généralement comprises entre 2 et 4 m/s, sauf en Février et Mars où elles ont assez souvent atteint 5 à 6 m/s.

En ce qui concerne le sens du vent, on note à BOL deux directions nettement dominantes qui correspondent à celles de l'harmattan et de la mousson. La plupart du temps entre Octobre et Avril le vent souffle du Nord-Est, tandis qu'entre Mai et Septembre il vient du Sud-Ouest. L'influence des brises locales n'apparaît pas très nettement parce que leur direction est sensiblement la même que celle des vents dominants ou leur est directement opposée.

Fréquences mensuelles dans la direction du vent

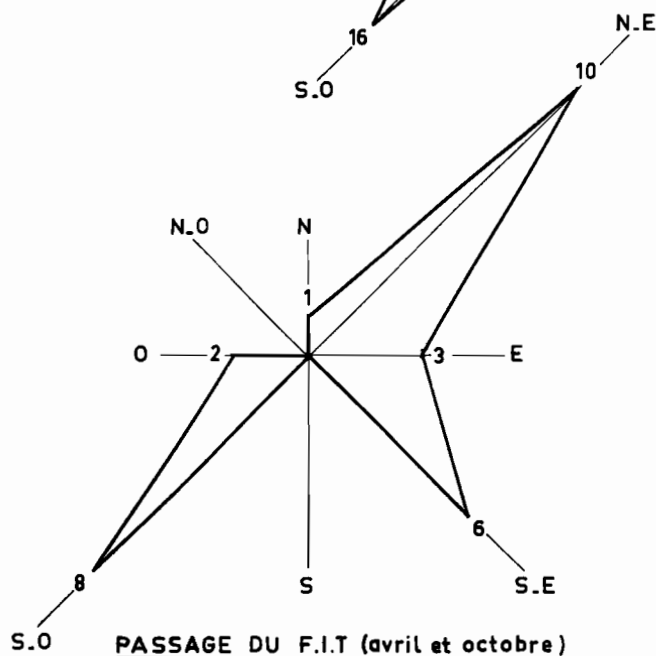
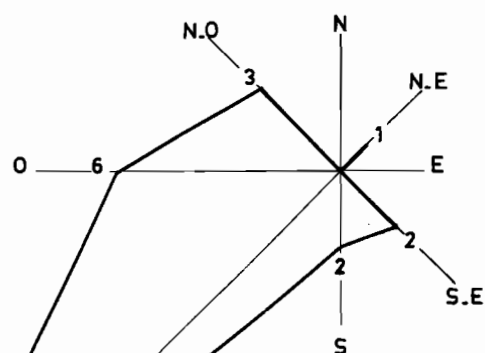
16 : Nombre de jours par mois où le vent souffle de la direction indiquée à 12 h.

SAISON SÈCHE (nov. à mars)



SAISON DES PLUIES

(mai à sept.)

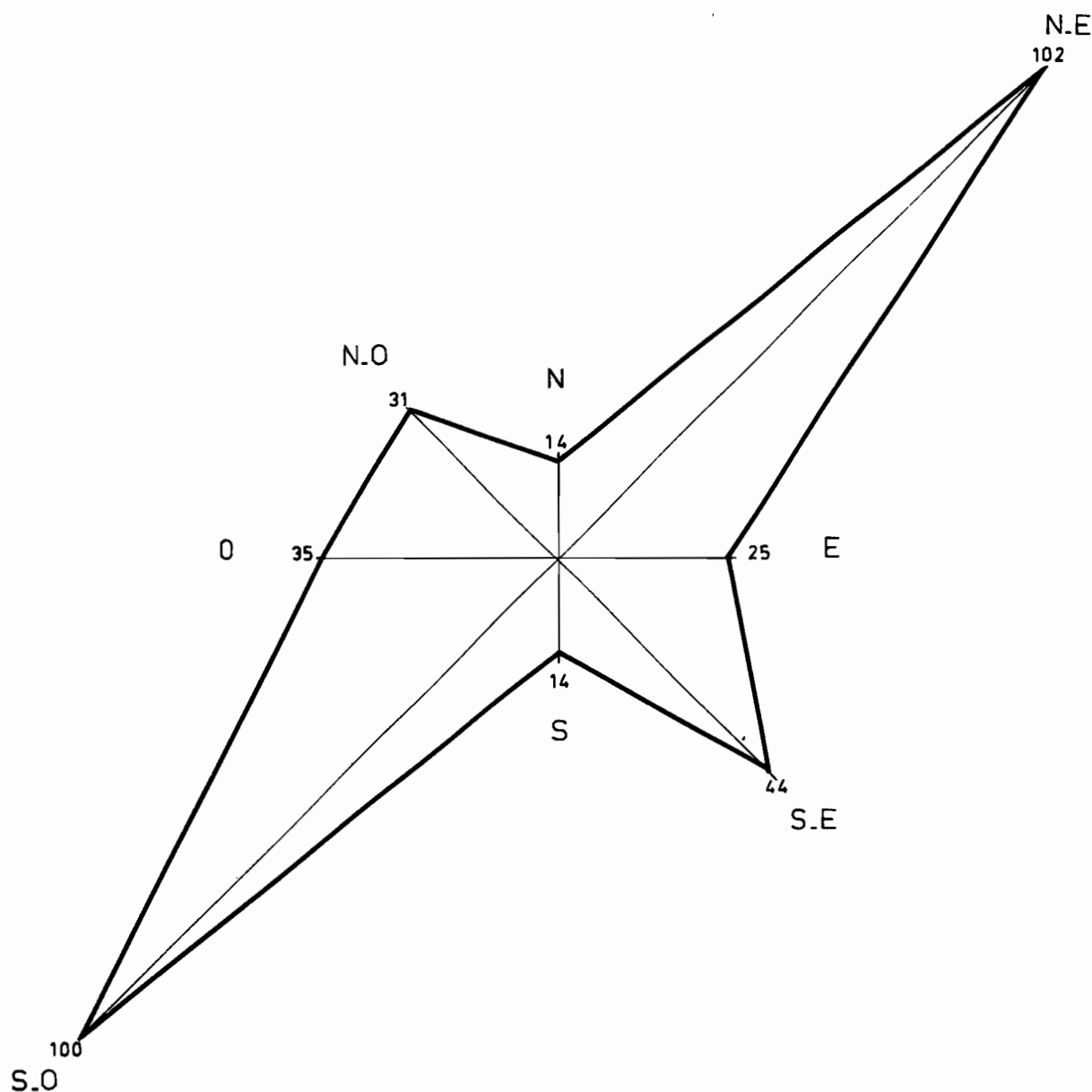


PASSAGE DU F.I.T (avril et octobre)

STATION DE BOL

Fréquence annuelle dans la direction du vent

102 : Nombre de jours par an où le vent souffle de la direction indiquée à 12 h



A NGUIGMI, la direction des vents est moins régulière qu'à BOL, sans doute à cause des brises locales dont la direction à NGUIGMI est à peu près perpendiculaire à celle de l'harmattan ou de la mousson. Il en résulte que d'Octobre à Avril le vent souffle de directions comprises entre le Nord et le Sud-Est, tandis que de Mai à Septembre le vent vient de directions comprises entre le Sud-Est et l'Ouest.

L'harmattan et la mousson tendent à être déviés de l'Est par la brise du Lac qui se produit en général dans le milieu de la journée, tandis qu'ils sont plutôt déviés de l'Ouest par la brise de terre que l'on observe parfois en début et en fin de journée. (On manque de relevés nocturnes qui feraient sans doute apparaître plus nettement ce phénomène).

TABLEAU n° 2-I

DIRECTION du VENT à BOL

- 40 -

Nombre moyen de jours où le vent a soufflé d'une
direction donnée entre 1956 et 1962

Mois	Heure	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	6	7	17	0	0	0	0	0	7
	12	2	17	4	2	0	1	1	4
	18	4	10	0	0	0	4	7	6
Février	6	6	17	0	0	0	0	0	5
	12	1	16	3	3	0	0	0	5
	18	3	11	1	0	0	4	3	6
Mars	6	7	18	1	1	0	0	0	4
	12	2	17	2	5	0	2	1	2
	18	4	9	0	1	2	5	5	5
Avril	6	4	14	2	2	1	5	1	1
	12	1	8	3	8	0	7	2	1
	18	1	6	0	1	0	10	9	3
Mai	6	1	8	1	3	1	9	3	5
	12	0	3	2	5	2	12	5	2
	18	0	3	0	1	2	15	7	3
Juin	6	1	0	0	2	3	16	5	3
	12	0	0	0	1	2	19	6	2
	18	0	0	0	3	4	16	5	2
Juillet	6	0	0	0	3	4	17	6	1
	12	0	0	0	1	2	17	7	4
	18	0	0	0	1	2	18	6	4
Août	6	0	1	1	4	3	15	5	2
	12	0	0	0	2	2	17	7	3
	18	0	1	1	2	2	14	7	4
Septembre	6	2	2	0	4	3	13	3	3
	12	0	1	0	3	4	13	5	4
	18	1	2	0	3	3	13	5	3
Octobre	6	4	12	2	3	1	5	2	2
	12	1	11	3	5	1	9	1	0
	18	1	6	1	1	1	13	5	3
Novembre	6	6	19	2	1	0	0	0	2
	12	3	13	5	6	1	1	0	1
	18	4	10	1	1	1	5	6	2
Décembre	6	6	16	2	0	0	0	0	7
	12	4	16	3	3	0	2	0	3
	18	5	9	0	0	0	7	5	5
Total		81	293	40	81	47	304	130	119
Année	%	7,4	26,8	3,6	7,4	4,3	27,6	11,9	10,9

TABLEAU n° 2-II

DIRECTION du VENT à NGUIGMI

Nombre de jours où le vent a soufflé
d'une direction donnée en 1953

Mois	Heure	N	NNE	NE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Calme
																	0 - 1
Janvier	6	2	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
	12	0	0	3	7	12	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	18	1	2	5	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Février	6	0	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	12	1	0	0	6	13	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Mars	6	0	0	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
	12	0	0	1	7	15	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	26
Avril	6	1	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	21
	12	0	0	0	2	4	10	3	2	4	0	2	0	3	0	0	0
	18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	28
Mai	6	1	0	4	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	23
	12	0	0	0	0	3	1	6	2	12	1	4	0	0	0	0	2
	18	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	27
Juin	6	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	8	0	7	0	0	10
	12	1	0	0	0	0	0	3	5	5	0	4	1	3	1	2	5
	18	0	0	0	0	0	0	1	3	9	1	1	0	1	0	0	14
Juillet	6	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	19	0	0	0	0	8
	12	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	5	4	6	2	1	6
	18	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	8	1	0	0	0	15
Août	6	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	9	0	0	1	1	15
	12	1	0	0	0	0	0	3	2	6	2	4	1	1	2	0	9
	18	1	0	0	0	0	0	3	0	3	1	2	0	0	0	0	21
Septembre	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	24
	12	0	0	0	0	3	3	5	2	7	0	1	0	1	0	2	6
	18	0	0	0	0	1	1	3	0	2	0	1	0	0	0	0	23
Octobre	6	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	12	0	0	0	0	5	7	4	5	4	0	0	0	0	0	0	6
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	30
Novembre	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
	12	0	0	1	0	9	5	8	1	2	0	0	0	0	0	0	4
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	29
Décembre	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
	12	1	1	3	0	3	6	4	1	2	0	0	0	0	0	0	10
	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
Fréq. en																	
% de l'en- semble	1958	1,6	0,5	4,8	4,1	6,6	3,7	5,4	2,9	6,9	0,7	6,6	0,6	2,3	0,7	0,6	51,8
des obser- vations		15,1	0,0	10,2	0,5	11,8	0,0	8,4	0,0	14,1	0,0	6,7	0,0	11,5	0,0	2,7	19,0

TABEAU n° 2-III

VITESSE du VENT à BOL-DUNE
(m/s)

Année	Mois	Vitesse maximale	Vitesse moyenne
1957	Février	13,7	4,81
	Mars	12,9	3,95
	Juillet	8	5,05
	Août	10	5,26
	Septembre	10,2	4,41
	Octobre	17	4,79
	Novembre	9	4,35
	Décembre	9,1	4,98

Hauteur de l'anémographe : 10 m environ au-dessus du sol,
20 m environ au-dessus du lac.

Année	Mois	de 6 h à 12 h	de 12 h à 18 h	de 18 h à 6 h	Vitesse moyenne
1962	Septembre	2,17	2,23	1,07	1,64
	Octobre	2,36	2,28	1,13	1,73
	Novembre	1,85	1,67	1,56	1,66
	Décembre	2,54	2,25	1,38	1,89
1963	Janvier	2,56	2,06	1,20	1,76
	Février	2,38	2,43	1,23	1,82
	Mars	2,82	2,75	1,52	2,15
	Avril	2,26	1,97	0,86	1,49

Hauteur de l'anémomètre : 1 m au-dessus du sol, 10 m environ au-dessus du lac.

TABEAU n° 2-IV

VITESSE du VENT à NGUIGMI

Nombre d'observations selon la vitesse (m/s)

Mois	Heure	≤ 1	2 à 4	5 à 6	7 à 14	15 à 21	> 21
Janvier	6	22	8	1	0	0	0
	12	2	18	9	2	0	0
	18	17	13	1	0	0	0
Février	6	18	7	3	0	0	0
	12	0	12	14	2	0	0
	18	20	4	4	0	0	0
Mars	6	17	13	1	0	0	0
	12	0	18	13	0	0	0
	18	26	5	0	0	0	0
Avril	6	21	7	2	0	0	0
	12	0	23	6	1	0	0
	18	28	1	1	0	0	0
Mai	6	23	7	1	0	0	0
	12	2	25	4	0	0	0
	18	27	3	1	0	0	0
Juin	6	10	18	2	0	0	0
	12	5	21	4	0	0	0
	18	14	15	0	1	0	0
Juillet	6	8	21	1	0	0	0
	12	6	24	1	0	0	0
	18	15	16	0	0	0	0
Août	6	15	15	1	0	0	0
	12	9	22	0	0	0	0
	18	21	10	0	0	0	0
Septembre	6	24	6	0	0	0	0
	12	6	22	1	1	0	0
	18	23	4	2	1	0	0
Octobre	6	25	6	0	0	0	0
	12	6	25	0	0	0	0
	18	30	1	0	0	0	0
Novembre	6	29	1	0	0	0	0
	12	4	25	1	0	0	0
	18	29	1	0	0	0	0
Décembre	6	27	4	0	0	0	0
	12	10	19	2	0	0	0
	18	27	4	0	0	0	0

2.3 - TEMPERATURE de l'AIR

Les valeurs caractéristiques étudiées sont les suivantes :

$\bar{T}_x$ = moyenne mensuelle des températures maximales journalières

$\bar{T}_n$ = moyenne mensuelle des températures minimales journalières

$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ = température moyenne mensuelle

$\bar{T}_x - \bar{T}_n$ = écart journalier moyen mensuel

Période d'observation :

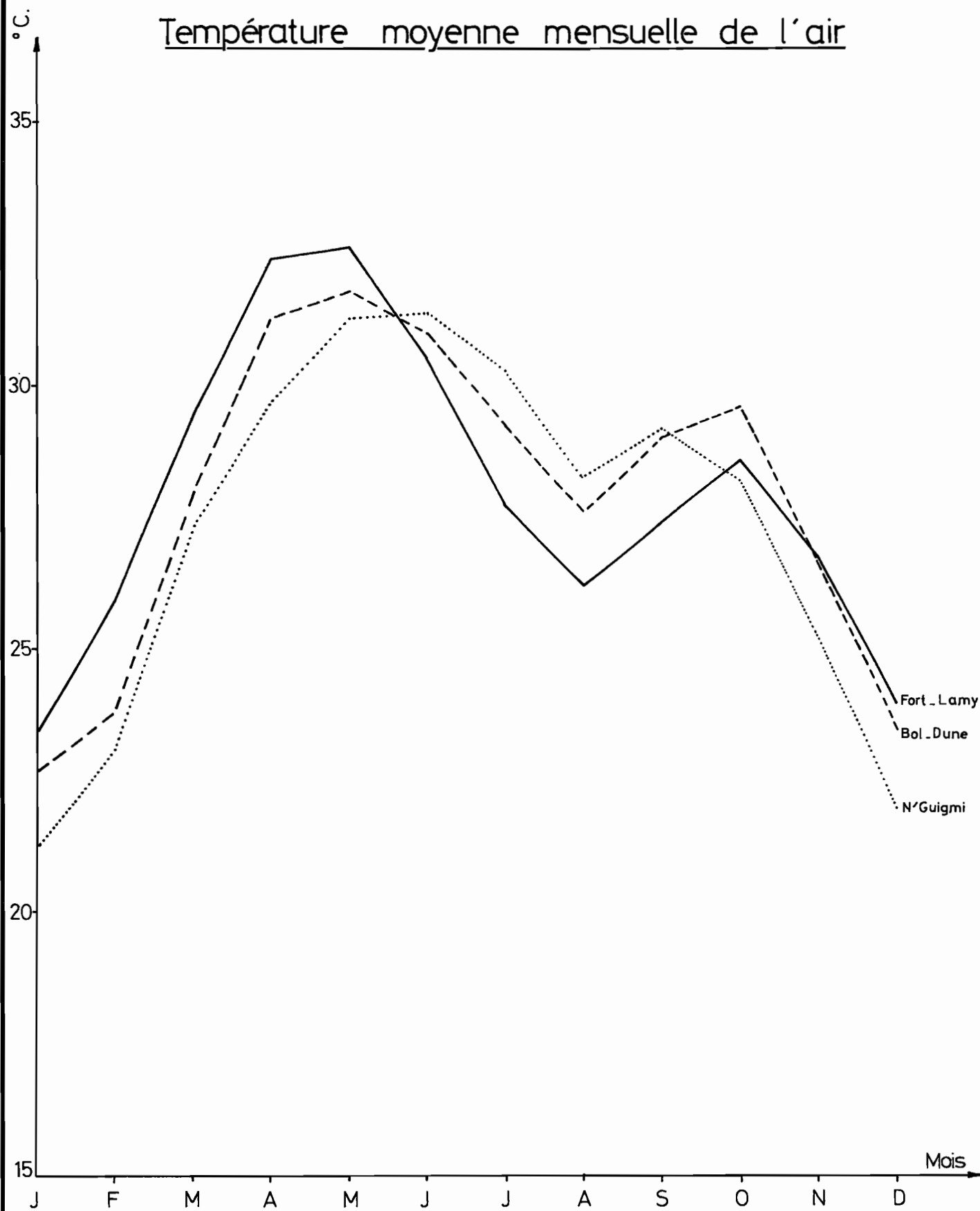
FORT-LAMY	1941-1967	=	27 ans
BOL-Dune	1954-1966	=	13 ans
NGUIGMI	1928-1965	=	38 ans

2.3.1 - Température moyenne mensuelle

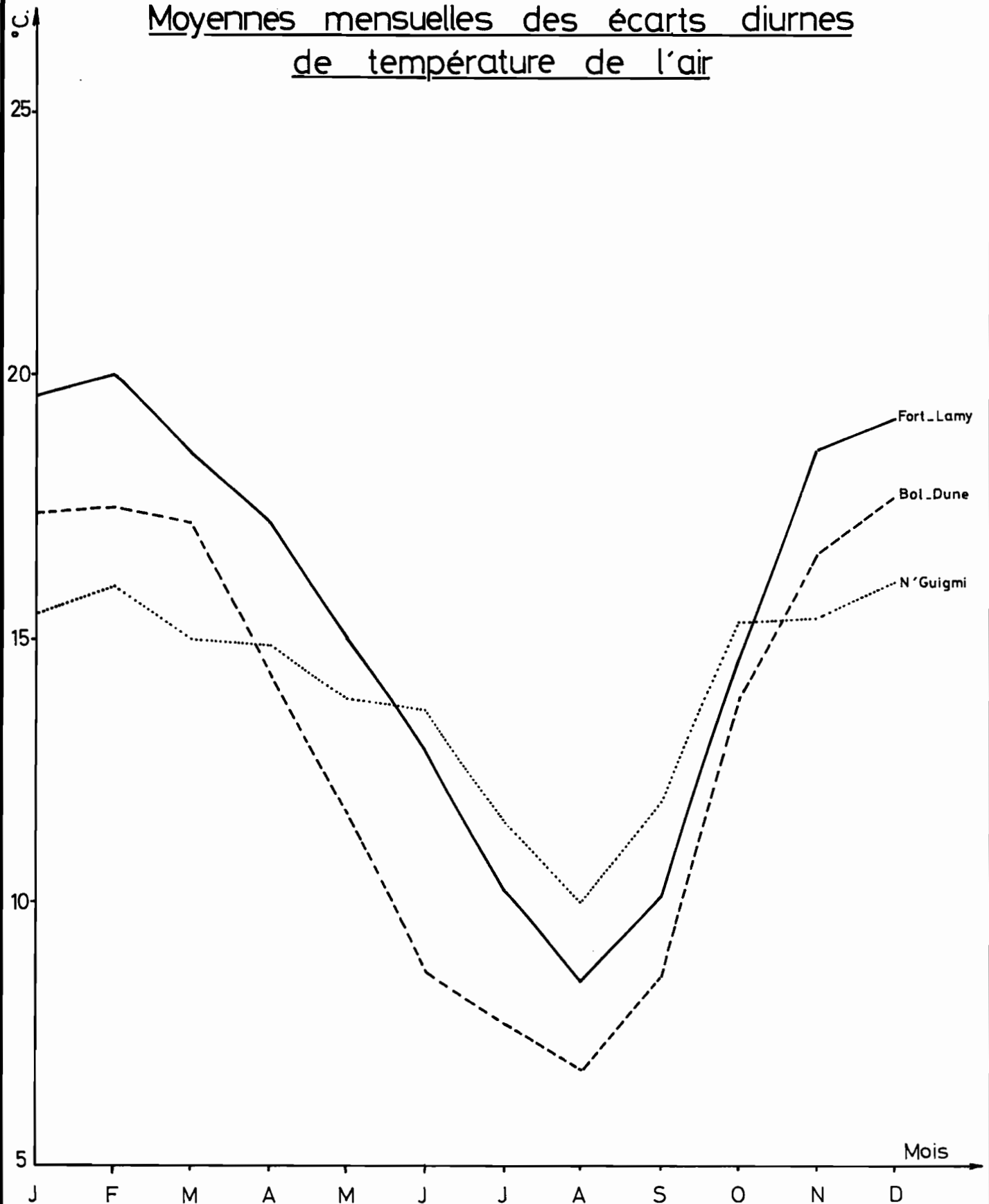
Les variations de la température moyenne mensuelle sont représentées sur le graphique n° 2-3 .

La forme des variations est sensiblement la même pour les trois stations, à part un léger décalage du maximum à NGUIGMI (maximum en Mai-Juin au lieu d'Avril-Mai).

Le minimum d'Août est moins marqué à mesure que l'on se déplace vers la zone saharienne; par contre, le minimum de Janvier est plus creusé. L'abaissement de température hivernal est, d'une façon générale, plus marqué dans les régions sahé-liennes qu'en zone tropicale.

Température moyenne mensuelle de l'air

Moyennes mensuelles des écarts diurnes
de température de l'air



2.3.2 - Ecart diurne moyen mensuel

Les variations des écarts diurnes moyens mensuels sont représentées sur le graphique n° 2-4.

A BOL-Dune et à FORT-LAMY, les variations des écarts ont la même forme avec un décalage vers le bas à BOL-Dune dû au lac vraisemblablement. L'écart est minimal au coeur de la saison des pluies (Août) et maximal en saison sèche (Décembre ou Février). A NGUIGMI, les variations sont moins marquées qu'aux deux autres stations mais ont la même allure générale.

TABLEAU 2-V

TEMPERATURE de l'AIR (°C)

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
FORT-LAMY	$\bar{T}_x$	33,2	35,9	38,8	41,0	40,1	36,9	32,8	30,4	32,4	35,9	36,1	33,6
	$\bar{T}_n$	13,6	15,9	20,3	23,8	25,1	24,0	22,6	21,9	22,3	21,3	17,5	14,3
	$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$	23,4	25,9	29,5	32,4	32,6	30,5	27,7	26,2	27,4	28,6	26,8	23,9
	$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	19,6	20,0	18,5	17,2	15,0	12,9	10,2	8,5	10,1	14,6	18,6	19,2
BOL-Dune	$\bar{T}_x$	31,4	32,6	36,6	38,5	37,6	35,3	33,0	31,0	33,3	36,5	35,0	32,3
	$\bar{T}_n$	14,0	15,1	19,4	24,2	25,9	26,6	25,3	24,2	24,7	22,6	18,4	14,6
	$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$	22,7	23,8	28,0	31,3	31,8	31,0	29,2	27,6	29,0	29,6	26,7	23,5
	$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	17,4	17,5	17,2	14,3	11,7	8,7	7,7	6,8	8,6	13,9	16,6	17,7
NGUIGMI	$\bar{T}_x$	28,9	31,1	34,8	37,1	38,2	38,2	36,0	33,3	35,2	35,9	33,0	30,1
	$\bar{T}_n$	13,4	15,0	19,7	22,2	24,3	24,5	24,5	23,3	23,3	20,6	17,6	24,0
	$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$	21,2	23,1	27,4	29,7	31,3	31,4	30,3	28,3	29,2	28,2	25,3	22,0
	$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	15,5	16,0	15,0	14,9	13,9	13,7	11,5	10,0	11,9	15,3	15,4	16,1

2.4 - HUMIDITE de l'AIR

L'humidité de l'air s'exprime par le degré hygrométrique ou humidité relative et par la tension de vapeur d'eau.

2.4.1 - Humidité relative

Elle est définie par :

$$u = 100 \frac{e}{e_w} \text{ avec :}$$

e : tension de vapeur d'eau réelle dans l'air,

e_w : tension de vapeur saturante aux mêmes conditions de température.

L'humidité relative moyenne a été calculée pour les trois stations :

FORT-LAMY : période 1951-1967

BOL-Dune : " 1957-1966

NGUIGMI : " 1952-1965

Les données concernent les mesures effectuées à 06 h, 12 h, 18 h. Pour calculer la moyenne journalière, on a affecté du coefficient 2 la donnée 12 heures et du coefficient 3 les données 06 h et 18 h. Les graphiques n° 2-5, 2-6 et 2-7 représentent les variations de l'humidité relative moyenne à 06 h, 12 h, 18 h.

L'humidité relative est maximale pendant la nuit et minimale vers 12 heures.

Pour toutes les stations, le maximum se situe en Août et le minimum en Février-Mars.

En saison sèche à FORT-LAMY, station située à 100 km au Sud du lac, l'humidité relative est plus faible, surtout à 18 h, qu'aux autres stations; la proximité de celles-ci par rapport au lac est vraisemblablement la cause de cette différence.

2.4.2 - Tension de vapeur

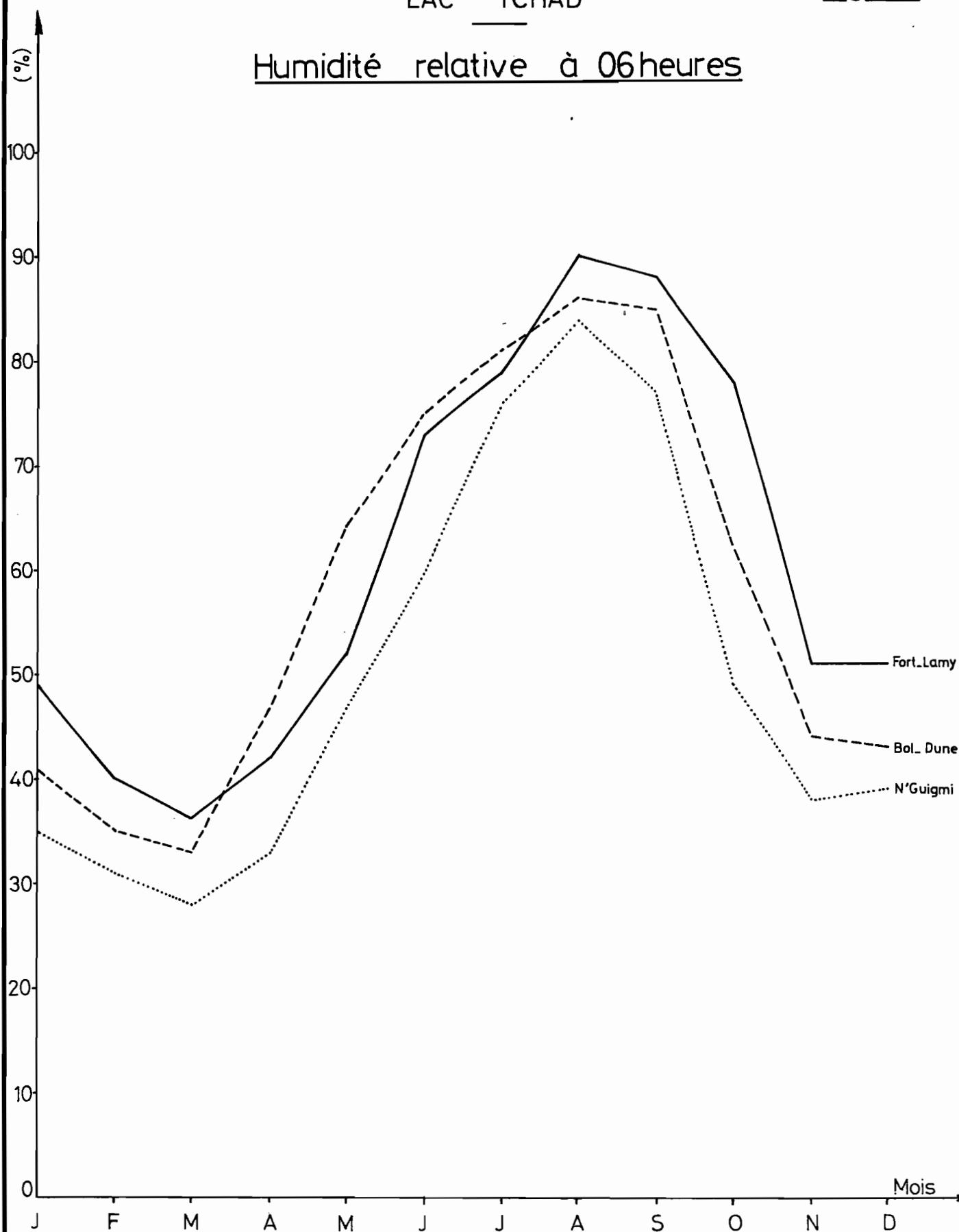
Le graphique n° 2-8 représente les variations de la tension de vapeur moyenne mensuelle.

Les résultats des mesures sont semblables aux trois stations. Toutefois, à BOL-Dune, on remarque que le maximum s'étend pratiquement sur quatre mois, de Juin à Octobre. Ce fait s'explique par la direction dominante du vent qui est dû Sud-Ouest, par conséquent venant du lac pendant toute la période considérée.

LAC TCHAD

Fig. 2-5

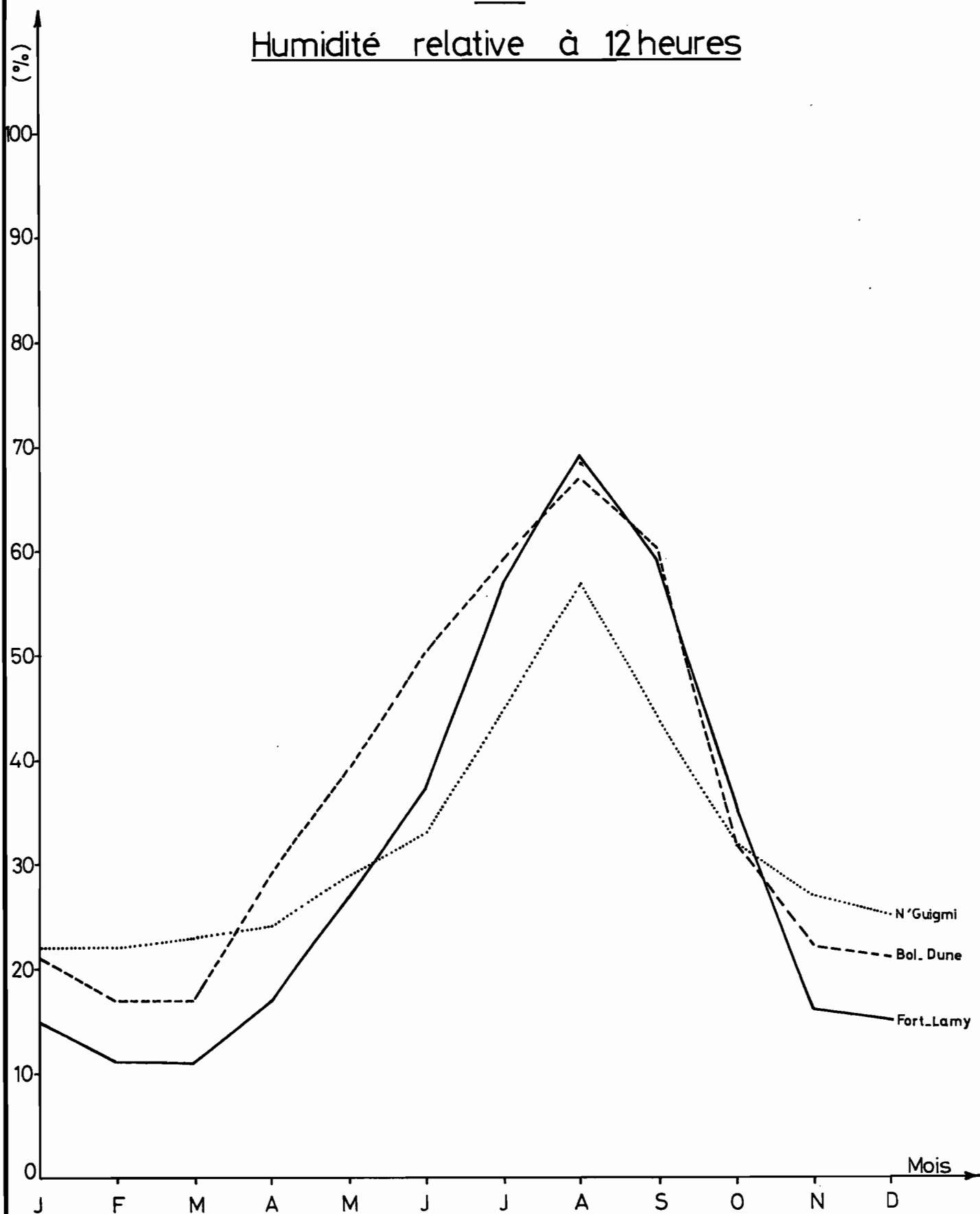
Humidité relative à 06 heures

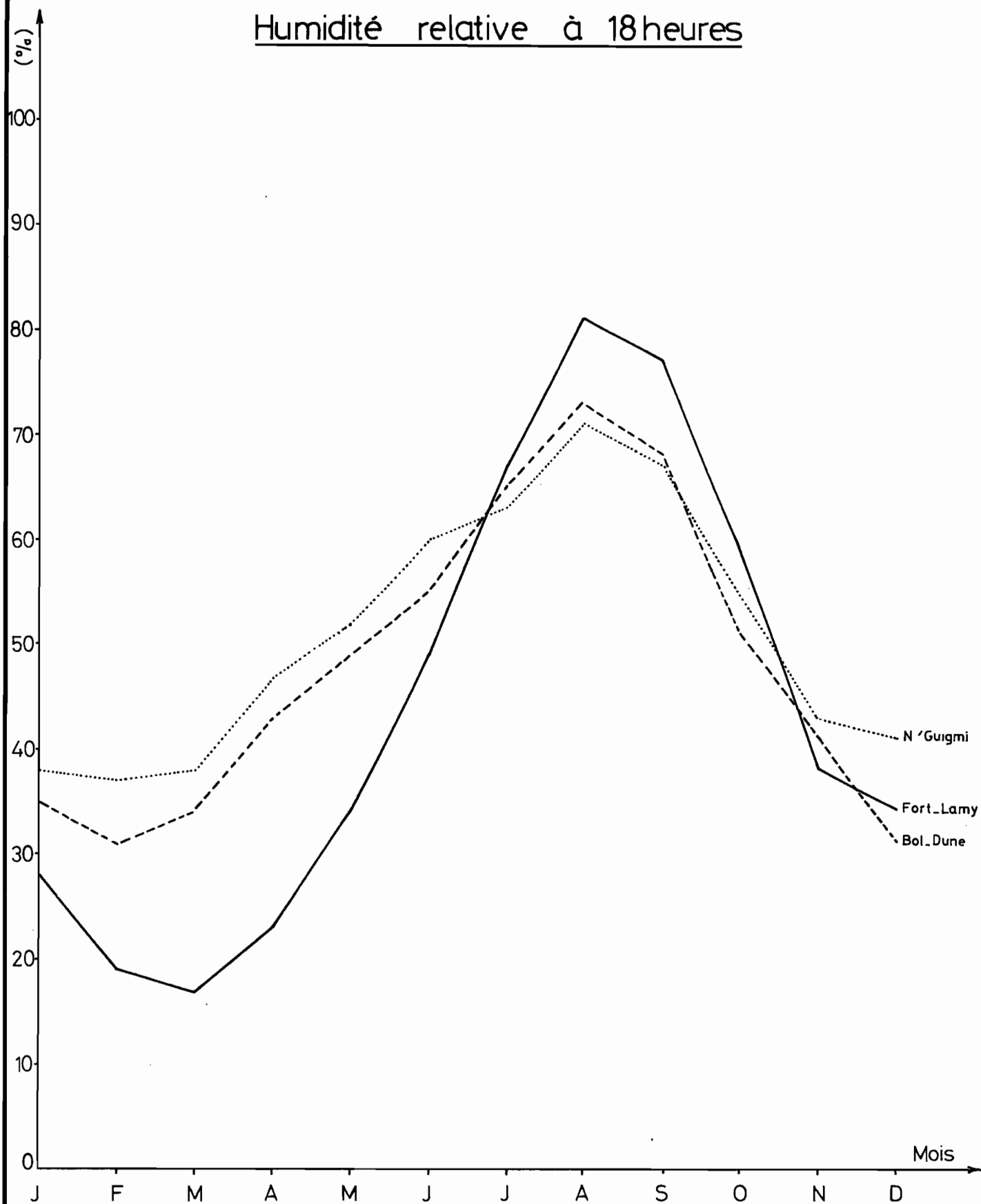


LAC TCHAD

Fig. 2.6

Humidité relative à 12 heures



Humidité relative à 18 heures

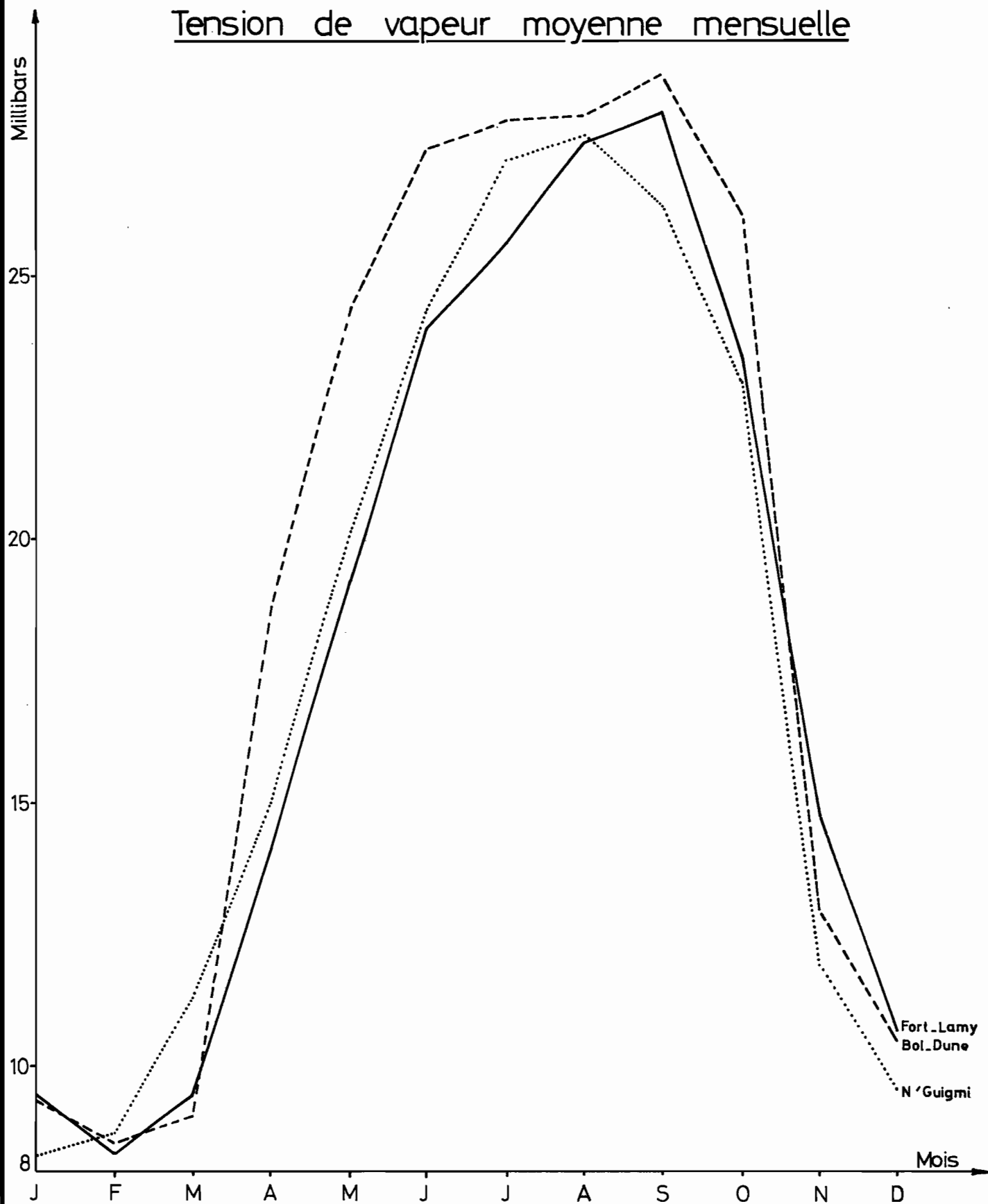
Tension de vapeur moyenne mensuelle

TABLEAU 2-VI

HUMIDITE (%)

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
FORT-LAMY	$\bar{u}_6$	49	40	36	42	52	73	79	90	88	78	51	51
1951-1967	$\bar{u}_{12}$	15	11	11	17	27	37	57	69	59	35	16	15
	$\bar{u}_{18}$	28	19	17	23	34	49	67	81	77	59	38	34
	$\bar{u}$	33	25	23	29	39	55	69	81	77	60	37	36
	$\bar{e}$	9,49	8,35	9,48	14,10	19,18	24,02	25,64	27,54	28,10	23,48	14,72	10,67
BOL-Dune	$\bar{u}_6$	41	35	33	47	54	75	81	86	85	62	44	43
1957-1966	$\bar{u}_{12}$	21	17	17	29	39	50	59	67	60	32	22	21
	$\bar{u}_{18}$	35	31	34	43	49	55	65	73	68	51	41	38
	$\bar{u}$	34	29	24	41	52	61	69	76	72	51	37	36
	$\bar{e}$	9,37	8,55	9,07	18,73	24,44	27,41	27,97	28,07	28,84	21,15	12,96	10,42
NGUIGMI	$\bar{u}_6$	35	31	28	33	47	60	76	84	77	49	38	39
	$\bar{u}_{12}$	22	22	23	24	29	33	45	57	44	32	27	25
	$\bar{u}_{18}$	38	37	38	47	52	60	63	71	67	55	43	41
	$\bar{u}$	33	31	31	36	44	53	63	72	65	47	37	36
	$\bar{e}$	8,31	8,76	11,32	15,02	20,11	24,36	27,20	27,70	26,34	17,97	11,93	9,51

2.5 - INSOLATION et RAYONNEMENT

2.5.1 - Insolation

L'insolation est caractérisée par deux valeurs :

n : nombre d'heures d'insolation par mois mesuré à l'héliographe CAMPBELL,

N : nombre d'heures d'insolation théorique par mois. L'insolation théorique journalière est la durée (en heures) qui sépare le lever et le coucher du soleil,

$\frac{n}{N}$: Insolation relative.

Les graphiques n° 2-9 et n° 2-10 représentent les variations de l'insolation moyenne mensuelle $\bar{n}$ et les variations de l'insolation relative moyenne $\frac{\bar{n}}{N}$ pour les stations de FORT-LAMY, de NGUIGMI et de BOL-Dune, N d'après les données qui figurent dans le tableau 2-VII.

Les moyennes sont calculées pour les périodes suivantes :

- FORT-LAMY : 1951-1966
- NGUIGMI : 1957-1965
- BOL-Dune : 1965-1967

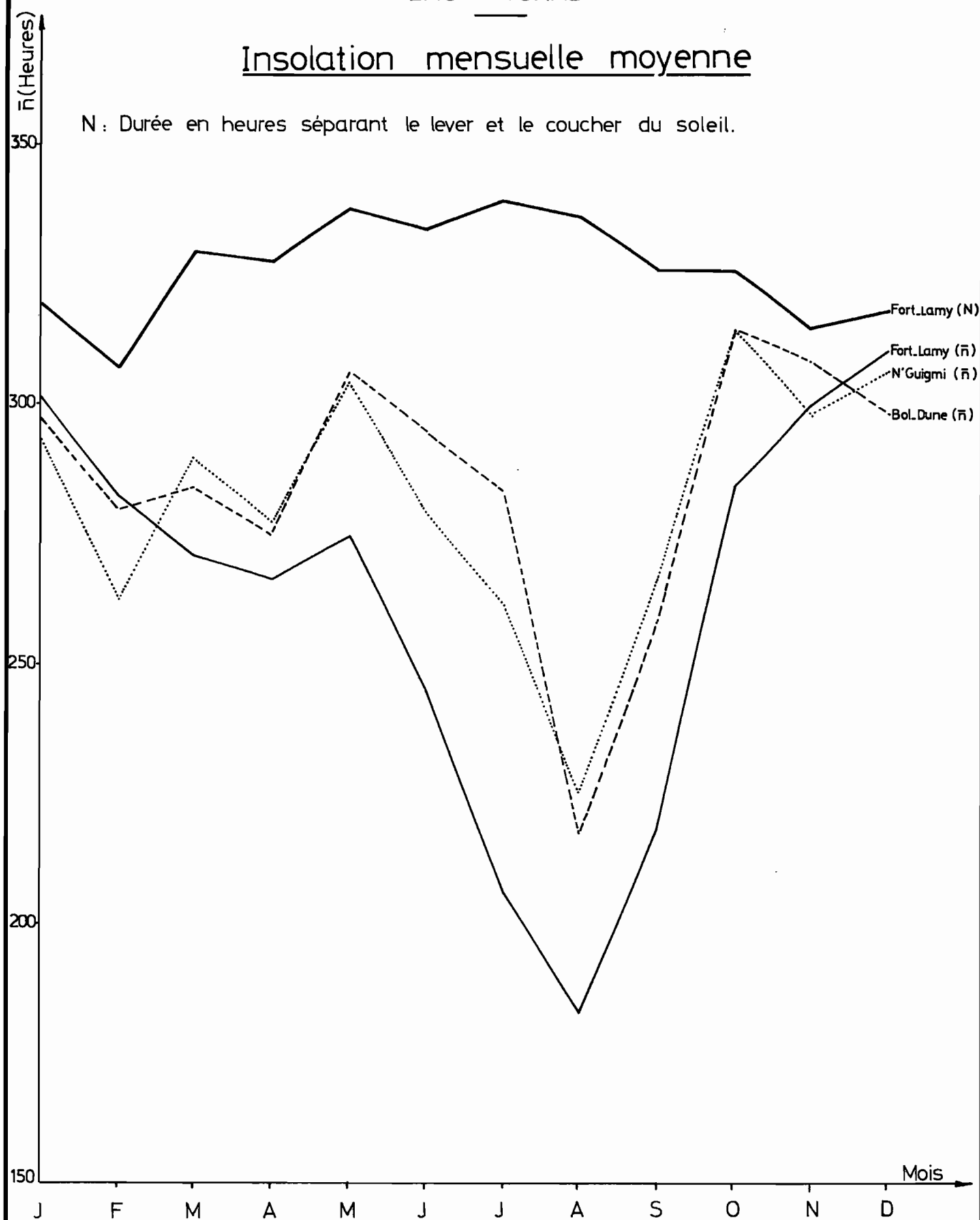
2.5.1.1 Insolation relative $\frac{\bar{n}}{N}$

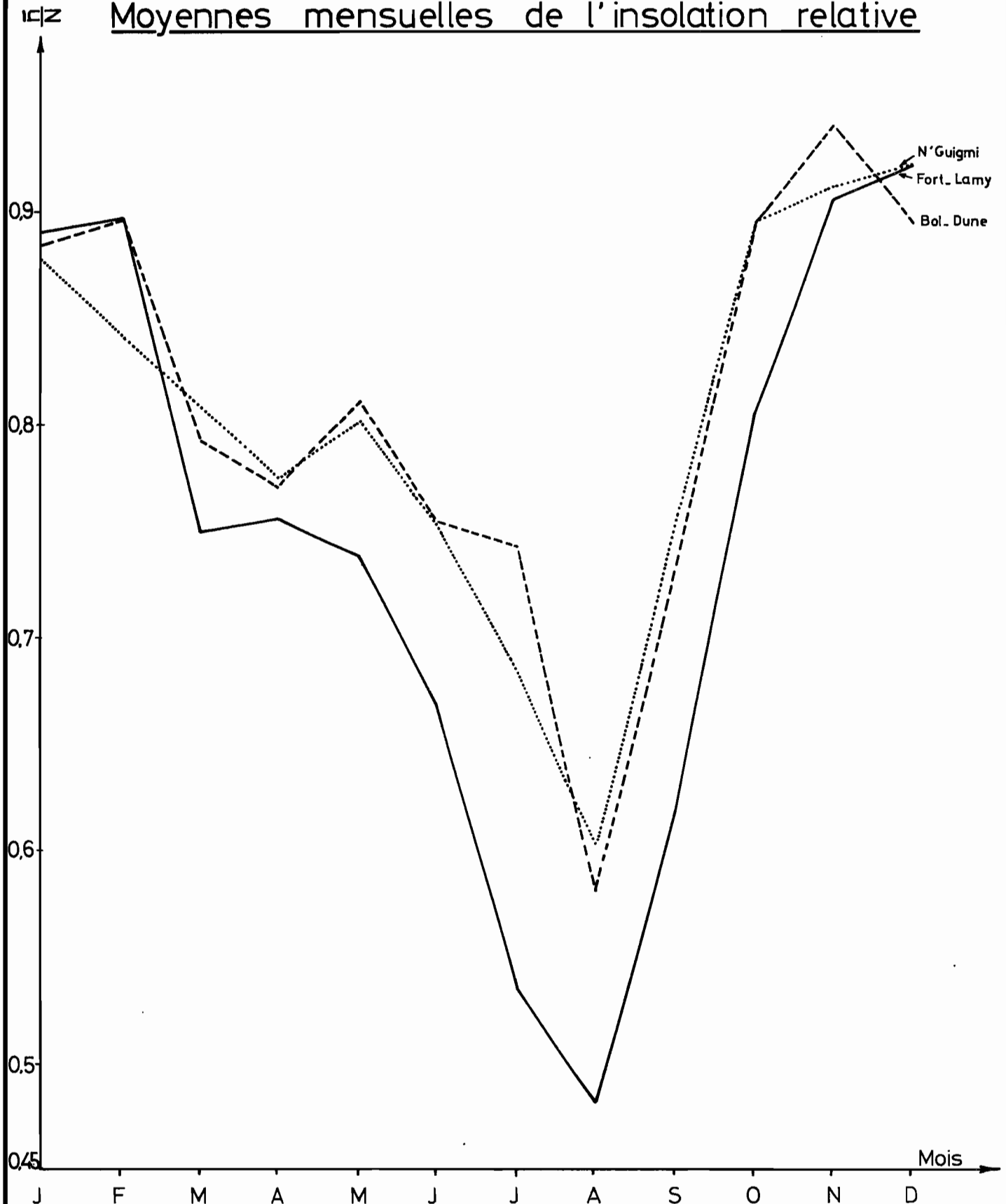
Les variations sont pratiquement les mêmes à BOL-Dune et à NGUIGMI; le maximum (0,92) se situe en Novembre et Décembre et le minimum, très marqué (0,60), en Août.

L'insolation relative de FORT-LAMY est voisine de celles de BOL et NGUIGMI, de Novembre à Mars, mais leur est sensiblement inférieure pendant les autres mois de l'année (minimum 0,48).

Insolation mensuelle moyenne

N : Durée en heures séparant le lever et le coucher du soleil.



Moyennes mensuelles de l'insolation relative

2.5.1.2 Insolation mensuelle moyenne $\bar{n}$

Elle est peu variable de Novembre à Mai, puis passe par un minimum en Août.

La durée de l'insolation théorique étant pratiquement identique pour les trois stations, le décalage que l'on note pour l'insolation relative apparaît à nouveau ici.

L'écart annuel moyen est de l'ordre de 250 heures entre FORT-LAMY et BOL.

2.5.2 - Rayonnement

Actuellement, on ne possède que les données concernant les mesures effectuées à FORT-LAMY ASECNA de 1958 à 1963. Le tableau ci-dessous donne le rayonnement global mensuel moyen en $\text{cal/cm}^2/\text{jour}$, mesuré avec un solarimètre à thermo-pile :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rayonnement en :												
cal/cm ² /jour :	494	557	609	591	583	555	508	455	520	569	551	511

Les variations saisonnières du rayonnement moyen mensuel sont représentées sur le graphique n° 2-11.

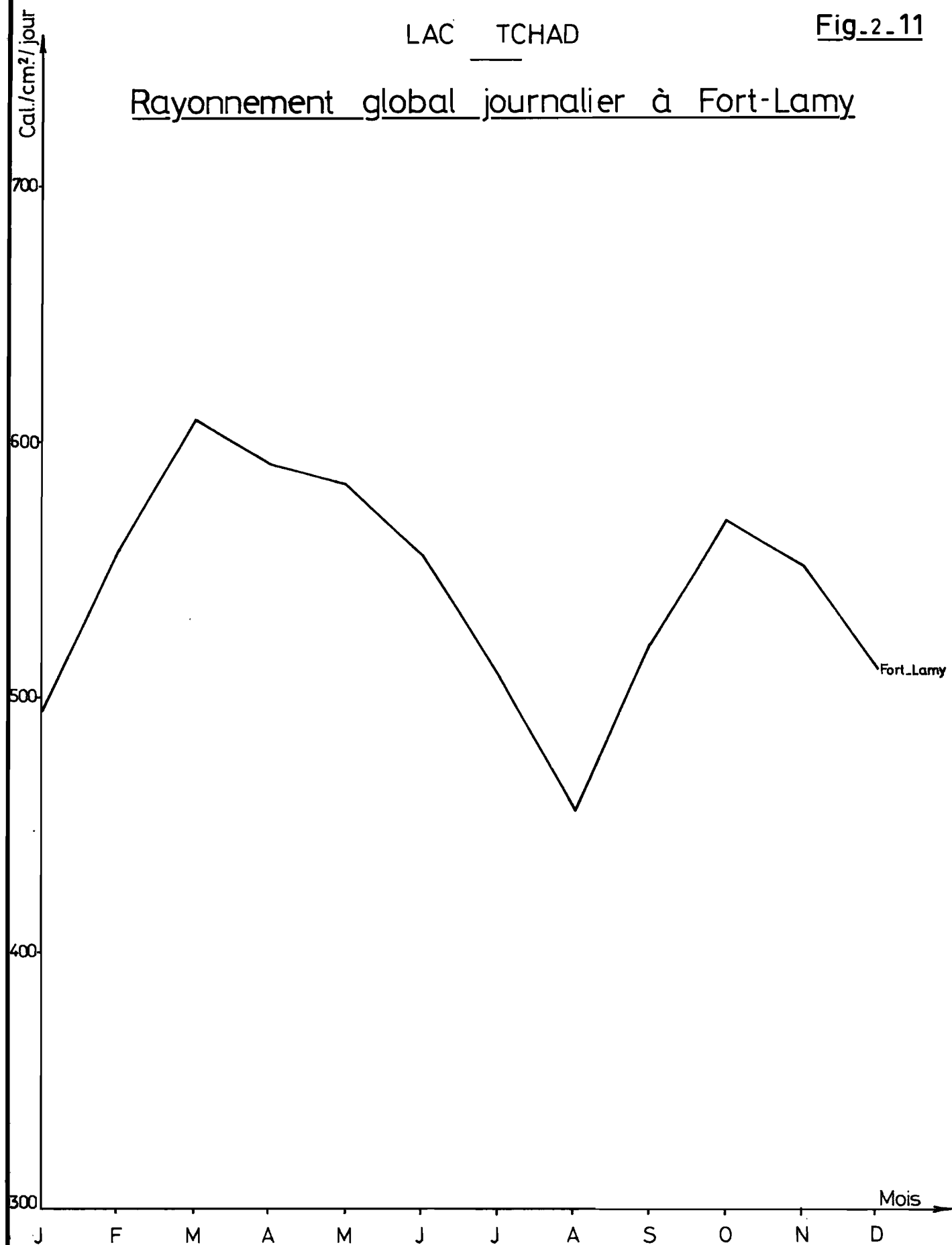
Le rayonnement à FORT-LAMY est maximal en Mars et minimal en Août.

Un équipement complet pour les mesures de rayonnement solaire a été installé en 1966 au Centre ORSTOM de FORT-LAMY. Nous ne pouvons pas encore utiliser les données recueillies qui n'ont pas été complètement dépouillées par suite de difficultés d'étalonnage.

TABLEAU 2-VII

INSOLATION

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
<u>FORT-LAMY</u>													
1951- 1965	301,3	281,7	269,1	268,8	277,6	245,9	203,0	179,9	217,9	284,0	299,0	310,4	
1966	300,6	287,5	299,3	231,3	230,6	233,4	255,6	224,5	220,9	288,5	309,8	308,1	
$\bar{n}$	301,3	282,1	271,0	266,5	274,7	245,1	206,3	182,7	218,1	284,3	299,7	310,3	3142,1
N	338,4	314,2	359,2	355,7	376,0	368,2	379,1	373,1	352,4	352,2	330,0	336,6	
$\bar{n}/N$	0,890	0,897	0,749	0,756	0,738	0,668	0,535	0,482	0,618	0,806	0,906	0,922	
<u>NGUIGMI</u>													
1957- 1965	293,7	262,7	289,7	277,6	304,1	279,6	261,6	225,6	266,1	314,5	298,2	306,5	3379,9
N	334,9	312,0	358,7	354,4	379,1	371,4	382,2	374,3	352,9	351,3	327,0	332,2	
$\bar{n}/N$	0,877	0,842	0,808	0,777	0,802	0,753	0,684	0,603	0,754	0,895	0,912	0,923	
<u>BOL-Dune</u>													
1965	301,1	284,6	279,3	262,0	338,5	276,4	277,7	223,1	280,7	320,3	314,8	302,7	
1966	288,7	272,0	302,2	267,4	267,9	284,2	300,3	237,2	247,3	305,7	310,2	299,9	
1967	302,6	283,0	270,8	295,2	313,5	276,6	271,7	192,9	246,4	317,9	300,6	291,5	
$\bar{n}$	297,5	279,9	284,1	274,9	306,6	279,1	283,2	217,7	258,1	314,6	308,5	298,0	3402,2
N	336,2	312,8	358,9	356,8	378,0	370,2	381,1	373,9	352,7	351,9	328,1	333,8	
$\bar{n}/N$	0,884	0,895	0,792	0,770	0,811	0,754	0,743	0,582	0,732	0,894	0,940	0,893	

Rayonnement global journalier à Fort-Lamy

2.6 - EVAPORATION

Ce facteur joue un rôle extrêmement important dans le bilan du Lac TCHAD : c'est un des deux termes principaux.

2.6.1 - Evaporation PICHE

L'évaporation PICHE a été enregistrée aux stations de NGUIGMI et FORT-LAMY pour les années suivantes :

- FORT-LAMY ASECNA : 1951-1965
- FORT-LAMY ORSTOM : 1964-1967
- NGUIGMI : 1951-1965

Le tableau ci-dessous donne les moyennes mensuelles établies pendant les périodes d'observations (en mm/mois) :

Mois	FORT-LAMY ASECNA	FORT-LAMY ORSTOM	NGUIGMI
Janvier	354,9	201,5	285,3
Février	391,3	294,0	289,6
Mars	495,8	297,0	365,6
Avril	446,7	265,8	322,7
Mai	380,4	248,1	288,1
Juin	254,6	163,0	249,7
Juillet	140,1	121,7	208,0
Août	75,6	67,5	141,9
Septembre	91,7	80,0	167,4
Octobre	190,0	151,4	257,6
Novembre	318,5	196,0	271,2
Décembre	310,3	188,4	267,4
Total annuel	3 449,9	2 274,4	3 114,5

Les deux stations de FORT-LAMY, ASECNA et ORSTOM, donnent des résultats très différents; ce qui montre bien que les conditions d'installation et d'exploitation jouent un grand rôle dans les résultats. La ventilation est meilleure à la station ASECNA.

On a porté sur le graphique n° 2-12 les variations de l'évaporation PICHE moyenne aux deux stations de FORT-LAMY et à NGUIGMI. On peut voir que l'allure des variations est analogue à celle de la température. L'évaporation mensuelle moyenne est maximale en Mars et minimale en Août pour les trois stations.

On remarque que les variations saisonnières de NGUIGMI sont moins accentuées que celles de FORT-LAMY ASECNA, mais qu'elles sont sensiblement parallèles à celles de la station ORSTOM.

2.6.2 - Evaporation sur bac

2.6.2.1 Bac Colorado

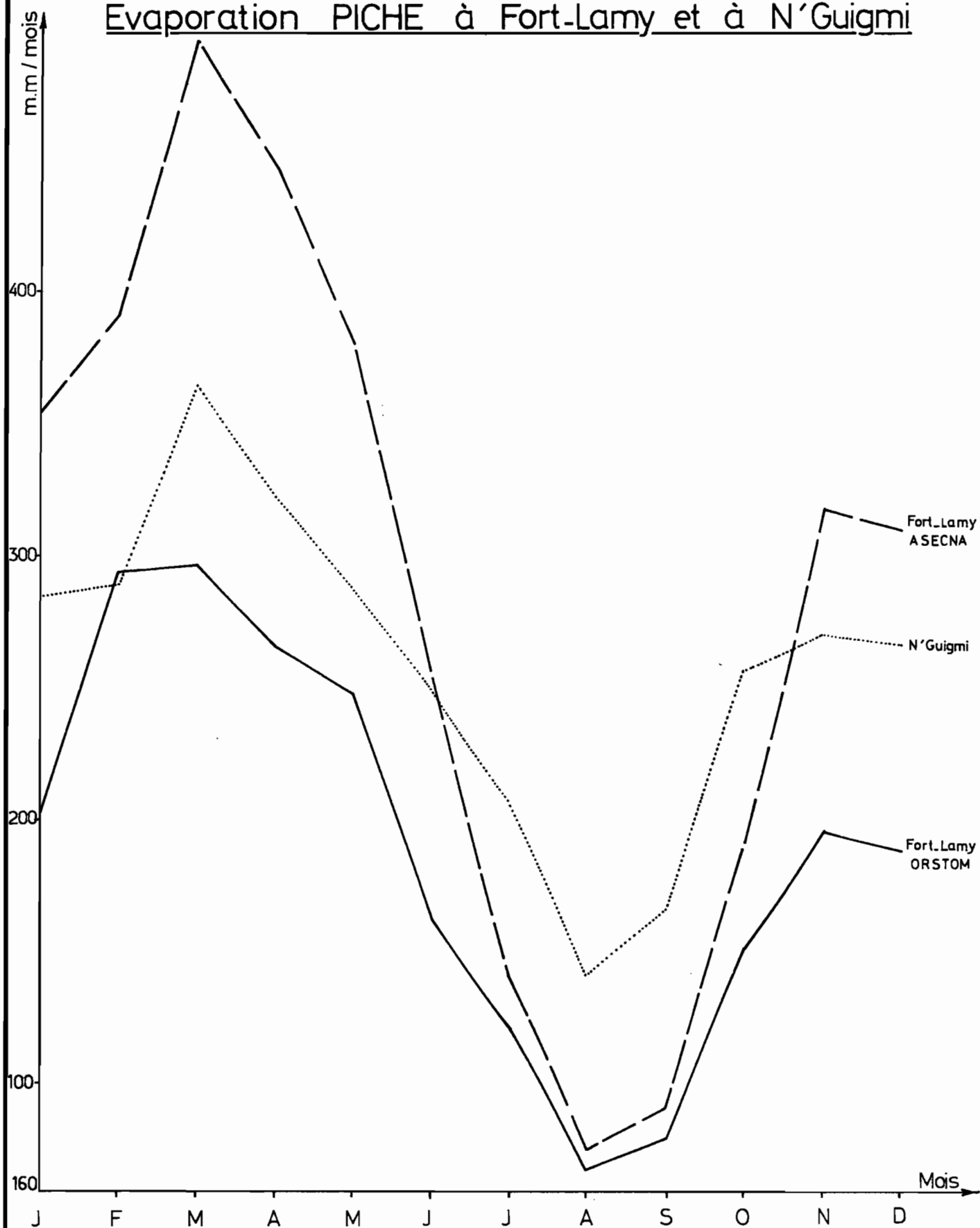
Des mesures d'évaporation sur bac ont été réalisées à FORT-LAMY et à BOL-Dune. Le tableau suivant donne les résultats pour les bacs de FORT-LAMY et de BOL-Dune.

Périodes d'observations : FORT-LAMY (moyenne sur 7 ans)
BOL-Dune (moyenne 1957-1966)
(1962 suspecte exclue)

Mois	FORT-LAMY	BOL-Dune
Janvier	195 mm	274 mm
Février	216	292
Mars	277	367
Avril	267	334
Mai	272	310
Juin	210	258
Juillet	177	236
Août	134	195
Septembre	156	213
Octobre	205	285
Novembre	208	284
Décembre	187	252
Total annuel:	2 504 mm	3 300 mm

LAC TCHAD

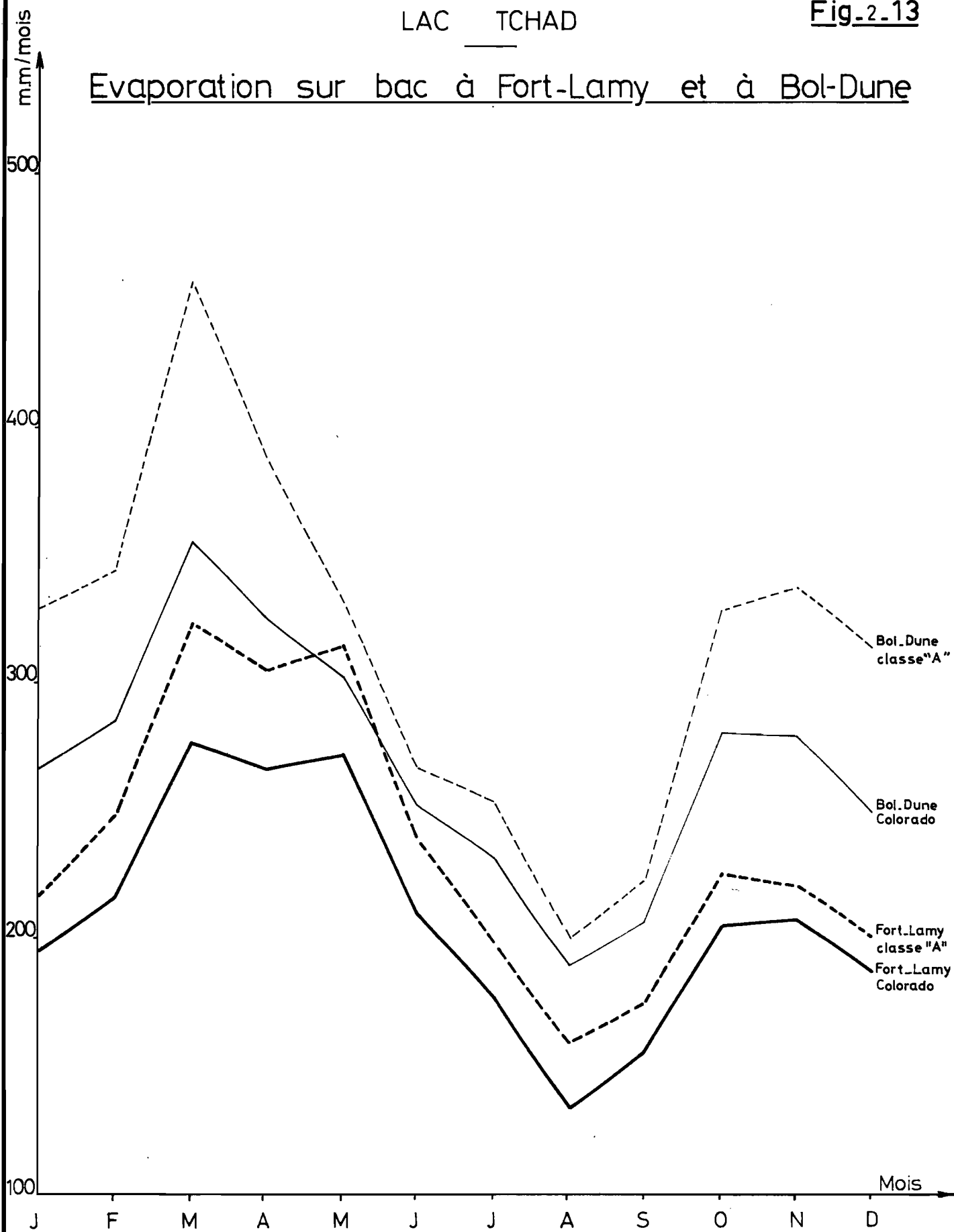
Evaporation PICHE à Fort-Lamy et à N'Guigmi



LAC TCHAD

Fig. 2.13

Evaporation sur bac à Fort-Lamy et à Bol-Dune



Le graphique n° 2-13 représente les variations de l'évaporation mensuelle moyenne sur bac Colorado à FORT-LAMY et à BOL-Dune.

Le maximum de Mars est très bien marqué à BOL, il est remplacé par un palier de Mars à Mai à FORT-LAMY. Mis à part ce palier, les courbes de variation sont sensiblement parallèles avec un décalage mensuel de 60 mm entre les deux courbes, l'évaporation sur bac à BOL étant supérieure à celle de FORT-LAMY.

Ce décalage doit provenir d'un régime de vent plus favorable à l'évaporation à BOL-Dune, alors que l'humidité est inférieure à FORT-LAMY et que la température y est plus élevée ou sensiblement égale.

2.6.2.2 Bac Classe A

Il existe deux séries de mesures, l'une effectuée à FORT-LAMY de Février 1964 à Décembre 1967, l'autre effectuée à BOL-Dune de Juillet 1962 à Septembre 1963 et de Janvier 1965 à Décembre 1966.

Le tableau ci-dessous donne les moyennes mensuelles pour les périodes connues :

Mois	FORT-LAMY	BOL-Dune
Janvier	217,7 mm	329,3 mm
Février	248,7	344,0
Mars	324,1	457,0
Avril	305,6	389,0
Mai	315,1	332,0
Juin	240,0	267,3
Juillet	199,2	254,0
Août	159,5	200,8
Septembre	175,0	223,6
Octobre	225,8	329,3
Novembre	220,6	338,0
Décembre	200,7	314,0
Total annuel:	2 832,0 mm	3 778,3 mm

Sur le graphique n° 2-13 figurent les variations de l'évaporation mensuelle moyenne sur bac de Classe A à FORT-LAMY et à BOL-Dune. On remarque sur ce graphique que l'évaporation sur bac de Classe A est nettement plus forte que sur bac Colorado, que ce soit à FORT-LAMY ou à BOL-Dune.

2.6.2.3 Bac flottant

Il existe un bac flottant à la station de BOL-Ile, mais son installation défectueuse ne permet pas de prendre en considération les résultats fournis. Le bac est installé derrière un rideau de papyrus qui le protège des vagues, mais l'abrite aussi du vent et modifie sensiblement le phénomène d'évaporation.

2.6.3 - Application de la formule de PENMAN au calcul de l'évaporation sur le Lac TCHAD

(D'après article de J. RIQUIER - Cahier ORSTOM - Pédologie n° 4 - 1964)

2.6.3.1 Rappel de la formule

Selon PENMAN, la hauteur d'eau évaporée sur un plan d'eau libre, en mm par jour; est donnée par la formule :

$$E_o = \frac{\Delta H_o + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

E_o = Evaporation sur un plan d'eau libre en mm d'eau par jour

Δ = Pente de la courbe de tension de vapeur saturante en fonction de la température (en mm Hg/°C, donnée par les tables)

H_o = Rayonnement net = $R_c - R_b$ (en mm d'eau vaporisée par jour)

R_c = rayonnement solaire reçu (courte longueur d'onde)

$$R_c = R_A \left[1 - r \right] \left[a + b \frac{n}{N} \right]$$

R_A = Rayonnement global fonction de la latitude et du mois (donné par une abaque)

r = albédo de l'eau $\neq 0,07$

$a = 0,29 \cos \psi$ (ψ = latitude du lieu en degrés)

$$b = 0,52$$

$$\frac{n}{N} = \text{insolation relative}$$

R_B = Rayonnement diffusé par l'eau (grande longueur d'onde)

$$R_B = \sigma T_A^4 \left[0,56 - 0,09 \sqrt{e_d} \right] \left[0,10 + 0,90 \frac{n}{N} \right]$$

T_A = température absolue de l'air (T_A^4 donné par les tables)

σ = constante de STEFAN

e_d = tension de vapeur réelle de l'air (mm Hg)

$\gamma = 0,49 \text{ mm Hg}/^\circ\text{C}$ (constante psychrométrique)

E_a = pouvoir asséchant de l'air en mm d'eau par jour =
 $f(u) [e_a - e_d]$

e_a = tension de vapeur saturante à la température de l'air

$$f(u) = 0,27 u_2$$

u_2 = vitesse du vent à 2 m de hauteur en m/s.

Il existe une formule donnant la vitesse à 2 m de hauteur connaissant la vitesse à la hauteur h :

$$u_2 = u_h \frac{\log 6,6}{\log 3,28 h}$$

En fait nous utiliserons l'expression :

$$u_2 = 0,69 \times u_{13,35}$$

le coefficient 0,69 n'étant valable qu'à FORT-LAMY où il a été déterminé en comparant les mesures à 2 m et les mesures effectuées à la station ASECNA à $h = 13,35 \text{ m}$.

2.6.3.2 Données

La formule est appliquée aux données des stations de FORT-LAMY et de BOL-Dune :

- pour BOL-Dune, on ne possède que deux années complètes : 1965 et 1966,
- pour FORT-LAMY, les données que l'on possède sont souvent à compléter, en particulier pour la mesure du vent et celle du rayonnement :
 - pour le vent, on constate une anomalie dans les mesures effectuées à h : 13,35 m (station ASECNA); à partir de 1962, les vitesses deviennent nettement plus faibles qu'auparavant, ce qui entraîne une diminution de l'évaporation de l'ordre de 15 %. On peut penser que les conditions de mesures ont changé;
 - pour le rayonnement, nous avons vu dans le paragraphe précédent que le rayonnement reçu R_c était donné par :

$$R_c = R_A \left[1 - r \right] \left[a + b \frac{n}{N} \right]$$

Or, il existe des mesures directes du rayonnement global effectuées à FORT-LAMY de 1958 à 1961 et en 1963. Le rayonnement global est représenté dans l'expression ci-dessus par la formule :

$$R_G = R_A \left[a + b \frac{n}{N} \right]$$

Lorsque cela a été possible, les mesures directes du rayonnement ont été utilisées de préférence aux valeurs données par la formule théorique.

2.6.3.3 Résultats

Le tableau ci-après donne les hauteurs d'eau évaporées calculées par la formule de PENMAN à FORT-LAMY et à BOL-Dune, pour les années connues. On trouve en moyenne 2 265 mm/an à FORT-LAMY et 2 290 mm à BOL.

TABLEAU n° 2-VIII

EVAPORATIONS MENSUELLES CALCULEES par la FORMULE de PENMAN

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
<u>FORT-LAMY</u>													
1958	162	186	260	261	242	219	204	175	193	202	174	156	2 433
1959	151	173	239	247	249	201	203	166	167	193	197	158	2 344
1960	159	196	197	289	262	220	184	203	200	227	215	167	2 519
1961	171	194	279	312	276	211	167	129	158	198	174	171	2 440
1962	127	169	229	243	238	228	221	165	171	191	179	173	2 335
1963	122	143	206	173	236	209	171	150	169	166	148	125	2 018
1964	133	150	205	222	248	232	178	163	177	172	148	129	2 157
1965	108	128	183	195	211	199	213	190	178	178	141	115	2 040
1966	121	134	185	201	211	203	221	192	182	180	148	127	2 105
Moy.	139	164	220	238	241	214	196	170	177	190	169	147	2 265
<u>BOL-Dune</u>													
1965	132	147	201	210	254	236	236	204	215	200	147	125	2 306
1966	131	153	199	230	235	233	242	205	195	192	146	112	2 274
Moy.	131,5	150	200	220	244,5	234,5	239	204,5	205	196	146,5	118,5	2 290

TABLEAU n° 2-IX

DETAIL du CALCUL de l'EVAPORATION par la FORMULE de PENMAN
(Exemple BOL-Dune en 1966)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
T °C	22,7	23,1	27,8	31,2	31,3	30,7	29,8	28,6	28,6	29,9	26,9	22,2	
n	288,7	272,0	302,2	267,4	267,9	284,2	300,3	237,2	247,3	305,7	310,2	299,9	
N	336,2	312,8	358,9	356,8	378,0	370,2	381,1	373,9	352,7	351,9	323,1	333,8	
n/N	0,859	0,870	0,842	0,749	0,709	0,768	0,788	0,634	0,701	0,869	0,945	0,898	
a + b n/N	0,729	0,734	0,720	0,672	0,651	0,681	0,692	0,612	0,647	0,734	0,773	0,749	
0,93 R _A	10,67	11,86	13,40	14,60	15,18	15,36	15,35	15,01	14,13	12,67	11,21	10,37	
R _c	7,78	8,71	9,65	9,81	9,88	10,46	10,62	9,19	9,14	9,30	8,67	7,77	
ed	5,74	4,94	7,40	14,40	19,37	21,22	21,33	21,10	20,37	14,27	9,25	7,34	
0,56 - 0,09 ed	0,344	0,360	0,315	0,181	0,164	0,145	0,145	0,147	0,154	0,220	0,256	0,316	
0,10 + 0,90 n/N	0,873	0,883	0,868	0,774	0,738	0,791	0,809	0,671	0,731	0,882	0,951	0,908	
T _A ⁴	15,20	15,28	16,27	17,02	17,04	16,91	16,71	16,44	16,44	16,73	16,08	15,09	
R _B	4,56	4,86	4,39	2,38	2,06	1,94	1,96	1,62	1,85	3,25	3,91	4,33	
Ho = R _c - R _B	3,22	3,85	5,26	7,43	7,82	8,52	8,66	7,57	7,29	6,05	4,76	3,44	
	1,26	1,28	1,64	1,94	1,95	1,89	1,81	1,70	1,70	1,82	1,56	1,22	
u ₂	1,71	2,23	1,88	1,64	1,66	1,57	1,77	1,55	1,57	1,47	1,34	1,20	
f (u) = 0,27 u ₂	0,462	0,602	0,508	0,443	0,448	0,424	0,478	0,419	0,424	0,397	0,362	0,324	
ea	20,51	21,02	27,78	33,79	33,98	32,84	31,19	29,10	29,10	31,37	26,35	19,90	
ea - ed	14,77	16,08	20,38	19,39	14,61	11,62	9,86	8,00	8,73	17,10	17,10	12,56	
E _a	6,82	9,68	10,35	8,59	6,55	4,93	4,71	3,35	3,70	6,79	6,19	4,07	
	0,49											0,49	
HO + E _a	7,40	9,67	13,70	18,62	18,46	18,52	17,98	14,51	14,21	14,34	10,46	6,17	
+	1,75	1,77	2,13	2,43	2,44	2,38	2,30	2,19	2,19	2,31	2,15	1,71	
E _o mm/j	4,228	5,463	6,432	7,663	7,566	7,782	7,817	6,626	6,489	6,208	4,865	3,608	
E _o mm/mois	131,07	152,98	199,39	229,88	234,53	233,45	242,33	205,39	194,66	192,44	145,95	111,85	2273,92

On note une nette diminution des résultats de FORT-LAMY à partir de 1963. Elle est due à des modifications dans la mesure du vent.

Le graphique n° 2-14 représente les variations de l'évaporation moyenne mensuelle à FORT-LAMY et à BOL-Dune déterminées à partir de la formule de PENMAN. A titre de comparaison, on a également figuré les résultats des bacs Colorado. On voit que la concordance n'est pas excellente entre ces deux méthodes d'approche.

On remarque notamment que la formule de PENMAN donne un total annuel plus faible que le bac Colorado. La différence est très marquée pour BOL-Dune (1010 mm en moyenne); elle l'est beaucoup moins pour FORT-LAMY (240 mm en moyenne), surtout pour les années 1958-1962, mais les mesures du vent sont assez suspectes pendant ces années-là et faussent sans doute les calculs.

La répartition saisonnière de l'évaporation, donnée par la formule de PENMAN, est également assez différente de celle qui résulte des mesures sur bac Colorado. Le maximum de Mars à Mai est atténué et retardé d'environ deux mois; le minimum d'Août est également très estompé, tandis que le minimum de Décembre-Janvier est au contraire accentué.

En fait, l'application de la formule de PENMAN appelle un certain nombre de remarques qui en restreignent quelque peu la portée :

a) La valeur des coefficients a et b dans l'expression de R_c n'est pas très bien fixée. M. DAVIES a trouvé pour FORT-LAMY les valeurs suivantes : $a = 0,43$, $b = 0,32$, tandis que Ch. RIOU a obtenu : $a = 0,30$, $b = 0,48$. Cette imprécision n'a cependant pas une incidence grave sur le calcul de R_c .

b) La valeur de l'albédo de l'eau n'est pas non plus exactement fixée. Elle varie suivant les auteurs entre 0,03 et 0,10. La turbidité éventuelle de l'eau doit modifier également la valeur de l'albédo. Il en résulte une erreur de quelques centimètres sur R_c .

c) La formule de BRUNT, utilisée pour évaluer R_B , a été établie pour un ciel clair. En cas de ciel nuageux, elle tend à donner des valeurs trop faibles de R_B , ce qui conduit à surestimer le rayonnement net. Ce fait a été vérifié à FORT-LAMY en saison des pluies.

d) La fonction $f(u)$ qui intervient dans l'expression de E (loi de DALTON) est mal connue. En utilisant les résultats fournis par des bacs Colorado, Ch. RIOU n'a pas pu expliciter la forme de cette fonction, mais a trouvé qu'elle admettait une valeur moyenne de 0,47 à FORT-LAMY et de 0,74 à BOL. La différence entre ces deux valeurs met bien en évidence l'influence très importante de la vitesse du vent qui est sensiblement plus élevée à BOL qu'à FORT-LAMY (vitesse moyenne à 2 mètres du sol respectivement de 1,75 et 1,63 m/s en 1965 et 1966 à BOL, contre 1,18 et 1,27 pour ces mêmes années à FORT-LAMY).

e) La formule de PENMAN qui a pour principal intérêt de faire intervenir la température de l'air (T_a) et non celle de la surface de l'eau (T_e) qui est généralement inconnue, résulte de la combinaison de la loi de DALTON :

$$E = f(u) (e_e - e_d)$$

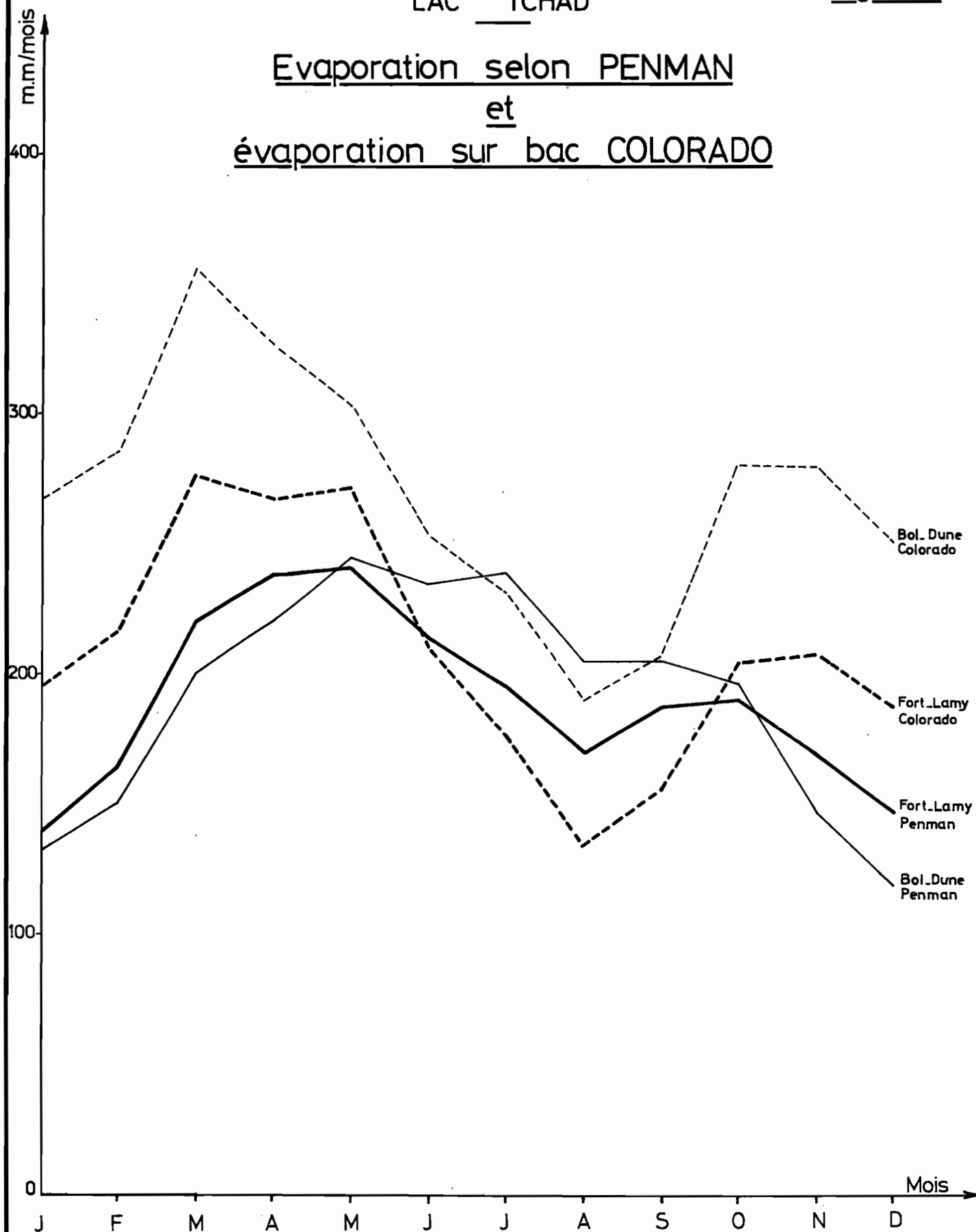
et du rapport de BOWEN :

$$R = \frac{T_e - T_d}{e_e - e_d}$$

e_e étant la tension de vapeur saturante correspondant à la température T_e .

Le rapport de BOWEN est le rapport de la chaleur sensible perdue par l'eau sous forme de conduction et de diffusion à la chaleur consommée par l'évaporation. Dans le cas d'un bac Colorado, il se produit, à travers les parois du bac, des échanges de chaleur appréciables entre l'eau et le sol, phénomène qui devient négligeable pour une très grande masse d'eau comme le Lac TCHAD.

Evaporation selon PENMAN
et
évaporation sur bac COLORADO



Pour adapter la formule de PENMAN au cas du bac Colorado, Ch. RIOU a proposé d'y remplacer le coefficient γ par un coefficient $\gamma' = k \gamma$ dont la valeur est ajustée empiriquement. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que la formule de PENMAN, telle que nous l'avons appliquée, donne pour les mois de saison sèche des valeurs nettement inférieures aux évaporations mesurées sur bac. Pendant cette saison, en effet, l'eau des bacs de FORT-LAMY et BOL est sensiblement plus froide que le sol environnant et en reçoit donc un certain flux de chaleur qui favorise l'évaporation.

f) La valeur du coefficient γ , qui intervient dans le rapport de BOWEN, dépend dans une certaine mesure de la vitesse du vent. Suivant que cette vitesse est forte ou faible, la diffusion de la chaleur et de la vapeur d'eau au-dessus de la surface évaporante est favorisée ou non. BOWEN a admis comme valeurs extrêmes de γ : $5,8 \times 10^{-4} p$ et $6,6 \times 10^{-4} p$, soit : 0,44 et 0,50 pour $p = 760$ mm Hg.

g) Les précipitations qui tombent à la surface de l'eau modifient temporairement les conditions d'évaporation, suivant la température propre des gouttes de pluie. On a observé parfois en Afrique des évaporations relativement fortes certains jours de pluie.

En définitive, on voit que l'évaporation est un phénomène fort complexe que l'on ne peut pas évaluer avec une très grande précision; parce que les formules théoriques sont imparfaites et que les données climatiques sur lesquelles elles s'appuient ne sont pas elles-mêmes connues avec suffisamment de précision (notamment la vitesse du vent).

L'étude du bilan du lac fournira un autre moyen d'approche de l'évaporation à la surface du lac et permettra d'estimer le rapport entre cette évaporation et l'évaporation sur bac (Colorado ou Classe A).

2.7 - PLUVIOMETRIE

2.7.1 - L'étude de la pluviométrie du Lac est basée principalement sur les relevés de sept stations officielles situées au TCHAD et au NIGER, et secondairement sur les relevés de quatorze pluviomètres totalisateurs installés par l'ORSTOM dans la région du KANEM (Est du Lac). On a pu également disposer de quelques données concernant la station de MAIDUGURI au NIGERIA.

On trouvera dans les tableaux 2-X & 2-XI les caractéristiques principales des stations utilisées (coordonnées géographiques, altitude, période d'observation, moyenne sur la période d'observation).

2.7.2 - Pluviométrie annuelle

Les périodes d'observations pour les sept stations officielles sont de durée très inégale, variant de 8 ans pour GUESKEROU à 41 ans pour NGUIGMI.

On a choisi une période d'homogénéisation qui s'étend sur 36 ans et coïncide avec la période d'observation de FORT-LAMY (1932-1967). Durant cette période, on a toujours des relevés à deux stations au moins sur sept. Les relevés manquants ont été reconstitués par corrélations graphiques, après avoir recherché les meilleures corrélations existant entre les relevés des stations prises deux à deux. Les corrélations retenues ont été les suivantes:

- MASSAKORY - FORT-LAMY
- BOL - NGUIGMI
- MOUSSORO - FORT-LAMY
- MAO - MASSAKORY ou MAO - FORT-LAMY
- GUESKEROU - NGUIGMI

Le coefficient de la corrélation MOUSSORO - FORT-LAMY est médiocre, mais les autres coefficients sont acceptables et permettent un gain sensible d'information. On trouvera dans le tableau 2-XII les valeurs des pluviométries annuelles qui ont été ainsi complétées de 1932 à 1967 pour les sept stations étudiées. La dernière colonne de ce même tableau donne les moyennes pluviométriques sur la période d'homogénéisation, lesquelles ont permis de tracer la carte des isohyètes interannuelles (graphique 2-15).

LE LAC TCHAD

Isohyètes interannuelles

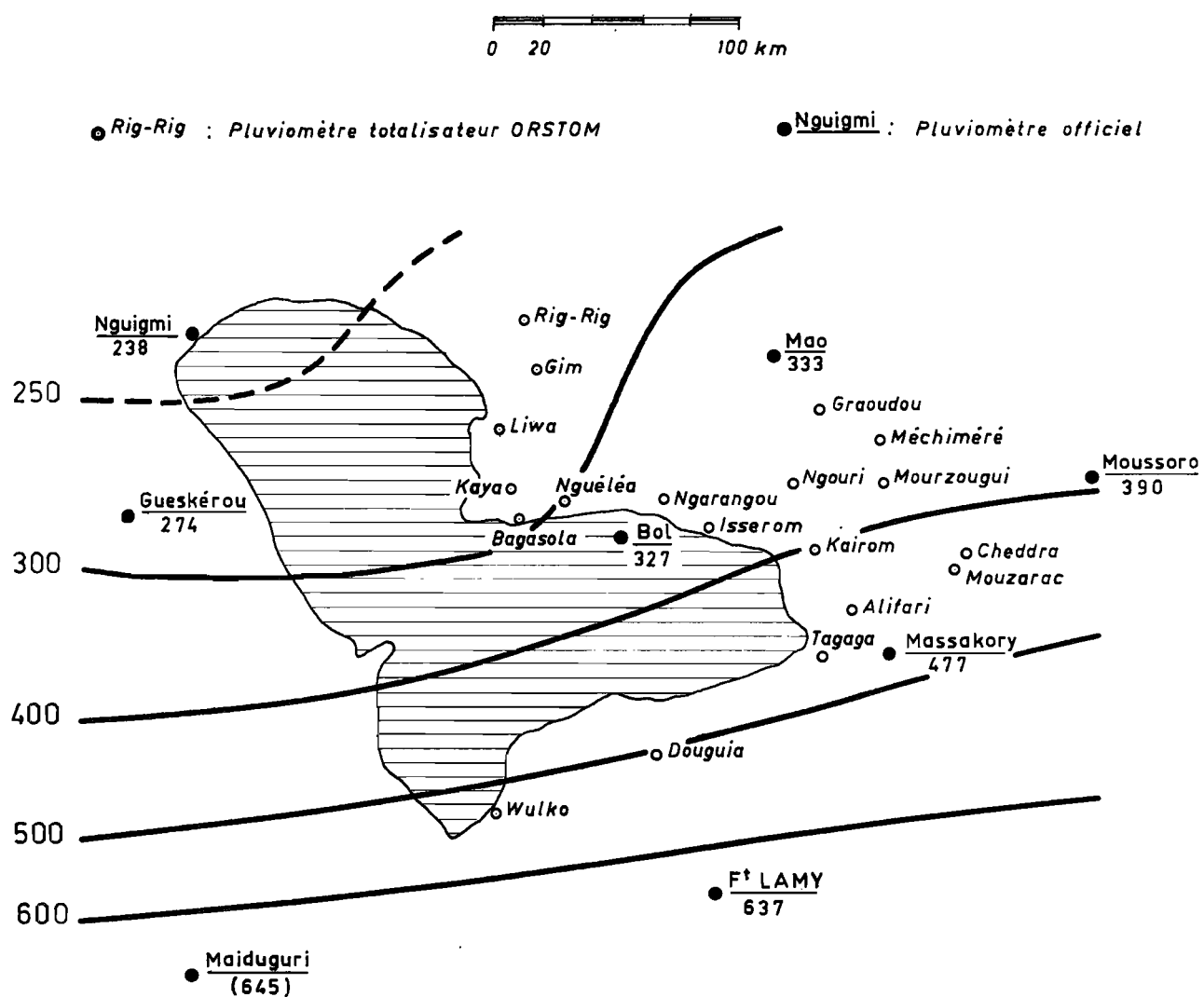


TABLEAU n° 2-X

CARACTERISTIQUES des STATIONS PLUVIOMETRIQUES OFFICIELLES

Station	Latitude Nord	Longitude Est	Altitude (m)	Période d'observa- tion (année)	Moyenne sur la période d'observation (mm)
<u>TOCHAD</u>					
FORT-LAMY	12°08'	15°02'	295	36	637
MASSAKORY	13°00'	15°44'	284	15	490
MAO	14°07'	15°19'	356	25	336
BOL	13°28'	14°43'	291	31	303
MOUSSORO	13°39'	16°30'	301	20	376
<u>NIGER</u>					
NGUIGMI	14°15'	13°07'	289	41	225
GUESKEROU	13°25'	12°48'	290	8	302
<u>NIGERIA</u>					
MAIDUGURI	11°50'	13°09'	295	-	645

TABLERAU n° 2-XI

CARACTERISTIQUES des POSTES PLUVIOMETRIQUES TOTALISATEURS (ORSTOM)

Poste	Latitude Nord	Longitude Est	Période d'observation (années)	Moyenne sur la période d'observations (mm)
<u>TCHAD</u>				
ALIFARI	13°10'	15°35'	2	374
MOUZARAC	13°18'	15°58'	2	528
CHEDDRA	13°26'	16°02	4	369
BAGA SOLA	13°32'	14°19'	5	272
NGARANGOU	13°34'	14°50'	2	268
NGUELEA	13°35'	14°28'	8	296
NGOURI	13°38'	15°23'	2	315
MOURZOUGUI	13°38'	15°43'	4	341
KAYA	13°41'	14°18'	8	291
MECHIMERE	13°49'	15°44'	3	340
LIWA	13°52'	14°16'	8	348
GRAOUDOU	13°57'	15°28'	4	275
GIM	14°03'	14°23'	2	193
RIGRIG	14°17'	15°21'	9	322

D'après cette carte, la pluviométrie décroît du Sud vers le Nord-Ouest, le Lac étant compris entre les isohyètes 550 et 240 mm. Le tracé des isohyètes n'est toutefois donné qu'à titre indicatif, car la densité des pluviomètres est faible et il n'en existe aucun sur le Lac lui-même. Il n'est pas sûr que l'influence d'une telle nappe d'eau sur la pluviométrie soit négligeable et ne tende pas à modifier le tracé des isohyètes.

2.7.3 - Répartition statistique des pluies annuelles

L'étude de la répartition statistique des pluies annuelles a été faite sur les trois stations possédant une période d'observation suffisamment longue. Pour FORT-LAMY et NGUIGMI, la distribution s'ajuste assez bien à une droite de GAUSS, tandis que pour BOL les pluviométries des années abondantes dépassent nettement les valeurs données par la loi de GAUSS. On obtient les résultats suivants :

	<u>FORT-LAMY</u>	<u>BOL</u>	<u>NGUIGMI</u>
- Durée période d'observations	: 34 ans	31 ans	44 ans
- Moyenne interannuelle	: 637 mm	303 mm	225 mm
- Pluviométrie maximale observée	: 990 "	700 " ⁽¹⁾	472 "
- Pluviométrie minimale observée	: 355 "	46 " ⁽¹⁾	42 "
- Médiane	: 633 "	280 "	205 "
- Décennale sèche	: 420 "	190 "	100 "
- Décennale humide	: 850 "	500 "	375 "
- Ecart-type	: 158 "	123 "	100 "

NOTA - (1) Il est intéressant de noter que les deux valeurs extrêmes de BOL sont tout à fait sûres; la première a été suivie de très près par les équipes de A. BOUCHARDEAU, la seconde par les collaborateurs du Général TILHO et on sait les soins apportés par le Général à ce genre de travail.

ORSTOM
LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

2.7.4 - Irrégularité locale des précipitations

A l'occasion de l'étude des polders de la région de BOL, on a fait de 1962 à 1964 des observations sur un ensemble de 20 pluviomètres répartis sur une zone d'environ 31 km².

Ce réseau, très dense, a mis en évidence une forte irrégularité locale des précipitations, comme le montrent les années ci-après :

<u>Année</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Maximum</u>	<u>Minimum</u>
1962	289 mm	401 mm	248 mm
1963	260 mm	299 mm	220 mm
1964	327 mm	365 mm	219 mm

Cette irrégularité s'explique en climat sahélien par le caractère souvent très localisé des précipitations orageuses. Le nombre des averses orageuses ("tornades") est insuffisant pour qu'en une année s'établisse une bonne compensation entre les précipitations totales recueillies à quelques kilomètres de distance. Les relevés d'un pluviomètre isolé ne donnent donc qu'une idée très imparfaite des chutes de pluie dans la région avoisinante.

2.7.5 - Moyenne des précipitations annuelles sur le Lac

La moyenne des précipitations annuelles sur le Lac a été calculée par la méthode de THIESSEN. Pour la plupart des années, le calcul a été fait à partir des relevés de cinq stations auxquelles on a appliqué les coefficients de pondération suivants :

- FORT-LAMY	:	0,020	- NGUIGMI	:	0,271
- MASSAKORY	:	0,031	- GUESKEROU	:	0,084
- BOL	:	0,594			

LAC TCHAD

Fig. 2.16

Distribution statistique des pluies annuelles

à
Fort-Lamy, Bol et N'Guigmi

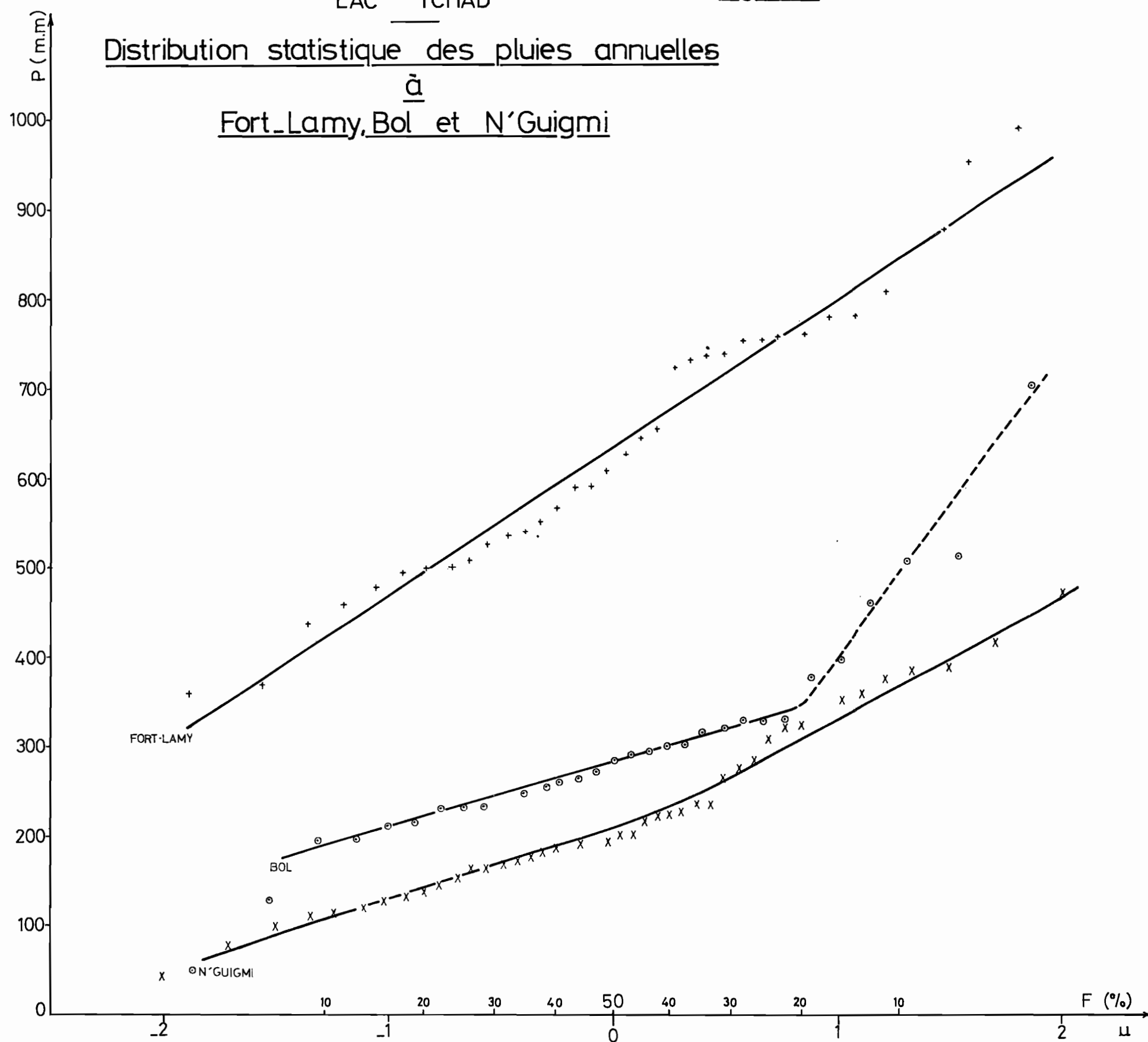


TABLEAU n° 2-XII

Modules Pluviométriques Annuels

(en mm)

Station	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950
FORT-LAMY	<u>730</u>	<u>757</u>	<u>524</u>	<u>368</u>	<u>723</u>	<u>497</u>	<u>808</u>	<u>752</u>	<u>625</u>	<u>564</u>	<u>753</u>	<u>654</u>	<u>505</u>	<u>588</u>	<u>877</u>	<u>457</u>	<u>355</u>	<u>435</u>	<u>953</u>
MASSAKORY	524	539	416	336	521	402	566	536	470	438	537	484	408	450	602	<u>500</u>	<u>334</u>	<u>320</u>	<u>502</u>
MOUSSORO	460	480	30	193	435	288	518	476	382	338	477	404	294	355	<u>470</u>	<u>303</u>	<u>159</u>	<u>136</u>	<u>623</u>
MAO	404	423	259	152	400	240	458	470	275	288	<u>198</u>	<u>65</u>	<u>192</u>	<u>230</u>	<u>638</u>	374	148	<u>275</u>	<u>480</u>
BOL	382	344	<u>324</u>	299	362	322	<u>289</u>	<u>232</u>	<u>327</u>	240	292	352	286	280	<u>282</u>	<u>300</u>	279	124	<u>459</u>
N° GUIGMI	<u>323</u>	<u>265</u>	<u>237</u>	<u>202</u>	<u>285</u>	<u>236</u>	<u>176</u>	<u>132</u>	<u>98</u>	<u>120</u>	<u>193</u>	<u>276</u>	<u>184</u>	<u>170</u>	178	<u>217</u>	<u>174</u>	<u>67</u>	<u>387</u>
GUESKEROU	340	296	2	257	312	173	227	207	157	174	240	304	279	222	228	258	225	144	390

Station	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	Moyenne interannuelle
FORT-LAMY	<u>550</u>	<u>760</u>	<u>643</u>	<u>779</u>	<u>735</u>	<u>606</u>	<u>739</u>	<u>538</u>	<u>990</u>	<u>534</u>	<u>781</u>	<u>491</u>	<u>498</u>	<u>477</u>	<u>587</u>	<u>625</u>	<u>659</u>	637
MASSAKORY	<u>526</u>	<u>548</u>	<u>570</u>	<u>527</u>	<u>446</u>	<u>436</u>	<u>486</u>	<u>517</u>	<u>659</u>	<u>409</u>	<u>569</u>	<u>400</u>	<u>403</u>	393	450	<u>476</u>	487	477
MOUSSORO	222	413	<u>624</u>	496	<u>282</u>	<u>434</u>	<u>516</u>	<u>383</u>	<u>144</u>	<u>237</u>	<u>422</u>	<u>327</u>	<u>350</u>	<u>470</u>	<u>425</u>	<u>358</u>	<u>495</u>	390
MAO	<u>256</u>	<u>517</u>	<u>464</u>	<u>349</u>	<u>385</u>	<u>294</u>	<u>307</u>	<u>458</u>	<u>454</u>	<u>189</u>	<u>393</u>	<u>441</u>	<u>288</u>	<u>325</u>	<u>272</u>	<u>272</u>	<u>388</u>	333
BOL	237	<u>395</u>	<u>313</u>	<u>700</u>	<u>296</u>	<u>376</u>	<u>319</u>	<u>326</u>	<u>510</u>	<u>258</u>	<u>505</u>	<u>270</u>	<u>293</u>	<u>328</u>	<u>231</u>	<u>299</u>	<u>355</u>	327
N° GUIGMI	<u>115</u>	<u>309</u>	<u>352</u>	<u>325</u>	<u>189</u>	<u>377</u>	<u>145</u>	<u>386</u>	<u>419</u>	<u>224</u>	<u>472</u>	<u>203</u>	<u>164</u>	<u>193</u>	<u>129</u>	<u>360</u>	<u>230</u>	238
GUESKEROU	<u>181</u>	<u>223</u>	<u>359</u>	<u>350</u>	<u>343</u>	<u>324</u>	<u>226</u>	<u>301</u>	412	264	456	248	218	240	192	369	308	274

NOTA - Les valeurs soulignées ont été réellement observées - Les valeurs non soulignées ont été déterminées par corrélation.

Pour les années récentes (marquées d'un astérisque dans le tableau ci-après), on a tenu compte des relevés des pluviomètres totalisateurs de la région du KANEM. On a abouti aux résultats suivants :

: Année :	Moyenne des précipitations sur le Lac :	: Année :	Moyenne des précipitations sur le Lac :
: 1932 :	342 mm	: 1950 :	445 mm
: 1933 :	333	: 1951 :	215
: 1934 :	303	: 1952 :	378
: 1935 :	271	: 1953 :	342
: 1936 :	349	: 1954 :	565
: 1937 :	301	: 1955 :	284
: 1938 :	272	: 1956* :	366
: 1939 :	221	: 1957 :	278
: 1940 :	262	: 1958* :	365
: 1941 :	215	: 1959 :	482
: 1942 :	278	: 1960 :	272
: 1943 :	338	: 1961* :	458
: 1944 :	262	: 1962* :	291
: 1945 :	257	: 1963* :	280
: 1946 :	271	: 1964* :	326
: 1947 :	283	: 1965* :	285
: 1948 :	249	: 1966* :	322
: 1949 :	123	: 1967 :	341
: :		: Moyenne :	320 mm
: :		: interan. :	

Les moyennes pluviométriques ainsi obtenues ne sont qu'assez grossièrement approximatives étant donné la faible densité des pluviomètres et leur situation périphérique par rapport au Lac. Les précipitations tombées sur la surface même du Lac n'ont jamais été mesurées, à cause des difficultés à installer des pluviomètres qui résistent aux tempêtes et à la poussée des îles flottantes.

On remarque que de 1937 à 1949 les précipitations annuelles ont presque toujours été nettement déficitaires, alors que la période 1950-1961 a, dans l'ensemble, été largement excédentaire.

2.7.6 - Pluviométrie mensuelle

Le tableau 2-III rassemble les valeurs moyennes, maximales et minimales des pluviométries mensuelles observées à FORT-LAMY, BOL et NGUIGMI.

Les diagrammes des précipitations mensuelles moyennes (fig 2-17) montrent clairement la répartition saisonnière des pluies qui est très simple. Les précipitations sont rigoureusement nulles pendant cinq mois (Novembre-Mars) à FORT-LAMY, pendant six mois (Novembre-Avril) à BOL et pendant sept mois (Octobre-Avril) à NGUIGMI. Aux trois stations, les précipitations sont maximales en Août, mais le maximum de FORT-LAMY en année moyenne (251 mm) est nettement plus élevé que celui de BOL (142 mm) et celui de NGUIGMI (131 mm). Les trois mois de Juillet, Août et Septembre voient tomber 80 % des précipitations annuelles à FORT-LAMY, 90 % à BOL et 94 % à NGUIGMI. A mesure donc que la tendance sahélienne du climat s'affirme du Sud vers le Nord, les précipitations diminuent et se produisent pendant une période plus courte.

2.7.7 - Moyenne des précipitations mensuelles sur le Lac

Pour déterminer la moyenne des précipitations mensuelles sur le Lac, on a procédé comme pour les précipitations annuelles : on a appliqué la méthode de THIESSEN aux relevés mensuels de FORT-LAMY, MASSAKORY, BOL, NGUIGMI et GUESKEROU. On a toutefois été obligé, dans un certain nombre de cas, d'appliquer la méthode à seulement quatre ou même trois stations lorsque les relevés mensuels de telle ou telle station faisaient défaut.

Les résultats ainsi obtenus sont consignés dans le tableau 2-XIV. Il va sans dire que leur précision n'est pas excellente pour les raisons déjà indiquées au paragraphe 2.7.5. On doit même s'attendre à ce que la précision soit plus médiocre à l'échelle mensuelle qu'à l'échelle annuelle. On n'attachera donc pas une trop grande importance à la valeur particulière trouvée pour tel ou tel mois, mais l'ensemble des résultats obtenus donne une bonne idée des variations saisonnières et interannuelles des précipitations moyennes mensuelles.

TABLEAU n° 2-XIII

PLUVIOMETRIES MENSUELLES

(mm)

Mois	FORT-LAMY (34-35 années)			BOL (19-32 années)			NGUIGMI (41-44 années)		
	Moyenne	Maxi. observé	Mini. observé	Moyenne	Maxi. observé	Mini. observé	Moyenne	Maxi. observé	Mini. observé
Janvier	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Février	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Mars	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Avril	6	53	0	0	1	0	0	1	0
Mai	32	141	1	8	43	0	7	90	0
Juin	67	137	3	9	38	0	6	67	0
Juillet	153	281	49	69	21	16	60	166	2
Août	251	582	115	142	331	13	131	318	25
Septembre	105	206	17	43	98	7	19	74	0
Octobre	21	95	0	9	58	0	1	15	0
Novembre	0	16	0	0	0	0	0	1	0
Décembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	635			280			224		

LAC TCHAD
Précipitations mensuelles moyennes

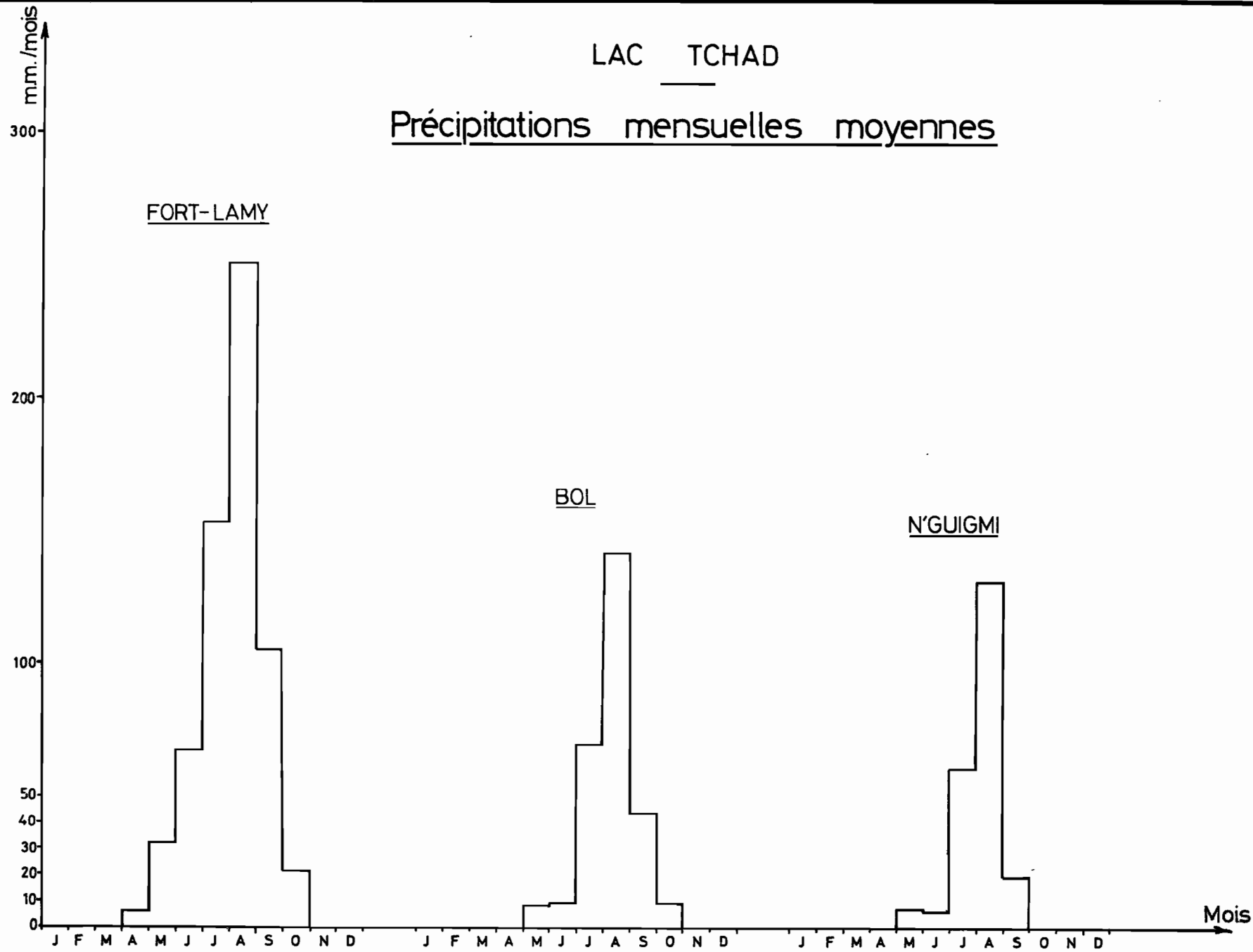


Fig. 2.17

TABLEAU n° 2-XIV

MOYENNES des PRECIPITATIONS MENSUELLES sur le LAC
(mm)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1954	0	0	0	0	5	4	125	419	6	6	0	0	565
1955	0	0	0	0	12	21	39	138	36	38	0	0	284
1956	0	0	0	0	0	13	62	203	74	14	0	0	366
1957	0	0	0	0	8	29	106	58	74	3	0	0	278
1958	0	0	0	0	4	5	120	165	71	0	0	0	365
1959	0	0	0	0	2	26	45	320	89	0	0	0	482
1960	0	0	0	0	2	12	86	135	35	2	0	0	272
1961	0	0	0	0	1	22	160	220	55	0	0	0	458
1962	0	0	0	0	1	10	121	119	40	1	0	0	291
1963	0	0	0	0	8	3	81	170	14	4	0	0	280
1964	0	0	0	1	0	13	64	215	33	0	0	0	326
1965	0	0	0	0	0	8	73	171	33	0	0	0	285
1966	0	0	0	1	53	63	51	95	58	1	0	0	322
1967	0	0	0	1	1	6	59	165	109	0	0	0	341

2.7.8 - Précipitations journalières

Les précipitations journalières de diverses fréquences ont été calculées par Y. BRUNET-MORET pour toutes les stations d'Afrique Occidentale et du TCHAD en utilisant une loi de PEARSON III tronquée. D'après les cartes jointes au Rapport de Synthèse de son "Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale", on peut admettre pour les stations voisines du Lac TCHAD les valeurs approximatives suivantes :

TABLEAU n° 2-XV

Station	Pluviométrie journalière (mm)				
	1 fois en 1 an	1 fois en 2 ans	1 fois en 5 ans	1 fois en 10 ans	1 fois en 20 ans
- FORT-LAMY	55	66	82	93	104
- MASSAKORY	51	61	75	87	98
- MOUSSORO	45	57	70	80	92
- BOL	46	57	70	80	92
- MAO	42	52	64	74	85
- NGUIGMI	37	48	58	68	78

Ces valeurs, déterminées à partir de cartes où sont figurées les courbes d'égale précipitation journalière de probabilité donnée, sont quelque peu différentes des valeurs calculées pour chaque station mais elles présentent l'avantage d'atténuer les singularités locales.

CHAPITRE 3

EQUIPEMENT et OBSERVATIONS LIMNIMETRIQUES

3.1 - STATION de BOL (voir carte 1-2)

3.1.1 - C'est la principale station limnimétrique du lac, celle dont les observations sont de loin les plus anciennes et les plus régulières. Elle est établie au pied de la dune où est située l'agglomération de BOL. Ses coordonnées sont les suivantes :

13° 27' latitude Nord
14° 42' longitude Est

La première échelle limnimétrique a été installée par le Général TILHO le 25 Janvier 1908 et a été observée jusqu'au 27 Décembre de cette même année. On en possède seulement des relevés graphiques. Une nouvelle échelle a été posée le 20 Octobre 1912 et a été lue régulièrement jusqu'au 30 Septembre 1919, avec une seule lacune importante entre le 1er Janvier et le 30 Avril 1917.

Les maximums et minimums des années 1907, 1909, 1912 et 1920 ont été presque tous reconstitués approximativement par le Général TILHO. On possède ainsi une première série d'observations qui s'étend presque sur dix ans.

Ces observations sont approximativement rattachées à un même zéro mais on manquait d'indication précise sur l'altitude de ce zéro. C'est pourquoi A. BOUCHARDEAU a fait réaliser en 1955-56 des mesures de profondeurs d'eau dans la poche de BAGA-KAWA où le Général TILHO avait lui-même effectué des sondages en 1908. En admettant que l'envasement de cette poche est négligeable, la différence des profondeurs moyennes mesurées a conduit à la conclusion que le zéro adopté pour les observations limnimétriques du Général TILHO était à environ 35 cm au-dessus de l'échelle installée en 1953. Ce calage approximatif est corroboré par le fait qu'en Janvier 1920 les eaux du lac étaient tout près de rentrer dans la dépression du BAHR-el-GHAZAL et que leur niveau devait alors être un peu supérieur à celui de Janvier 1955 et inférieur à celui de Janvier 1956.

On retiendra que le zéro des observations faites en 1908 était de :

$$281,22 \quad + \quad 0,10 \text{ m}$$

dans le système de nivellement IGN 1956. Le calage du zéro était tel que les cotes observées sont restées fréquemment négatives. Le zéro de l'échelle posée en Octobre 1912 n'était pas exactement le même que celui de l'échelle de 1908, mais en était, semble-t-il, très voisin. Faute de données plus précises on a admis qu'il était à la même altitude.

3.1.2 - On possède quelques relevés limnimétriques relatifs à l'année 1932 mais ils sont difficilement utilisables, car on n'est pas très sûr du zéro de l'échelle. Ce zéro était à l'altitude de 280,35 m environ.

3.1.3 - Des repères marqués sur un rônier par le Chef de District de BOL ont permis de reconstituer les niveaux des plus basses eaux de Juin 1950 et des plus hautes eaux de Janvier 1951 et Janvier 1953.

3.1.4 - En Juillet 1953 la Mission LOGONE-TCHAD a installé une nouvelle échelle limnimétrique composée de deux éléments d'un mètre fixés sur un fer cornière. Cette échelle a d'abord été relevée de façon très épisodique, puis en 1954 et 1955 elle a été observée à peu près régulièrement tous les cinq jours. A partir de 1956 elle a été relevée, avec quelques lacunes, une fois par jour et à partir d'Août 1957 deux fois par jour.

En 1964 l'échelle a été doublée d'un limnigraphe qui n'a commencé à fonctionner correctement qu'à partir de 1965.

Le 24 Janvier 1967, pour éviter des relevés négatifs en cas de baisse importante du niveau du lac, le zéro de l'échelle a été abaissé de 3,00 m.

L'échelle a été nivelée par rapport à la borne de nivellement posée par l'IGN en Mai 1954 dans la cour de la Sous-préfecture de BOL. Suivant les systèmes de nivellement successifs adoptés par l'IGN on a les résultats suivants :

- Système IGN 1954

Borne M (Matricule 11)	:	291,71 m
Zéro échelle 1953	:	281,12 m
Zéro échelle 1967	:	278,12 m

- Système IGN 1956

Borne M (Matricule 11)	:	291,462 m
Zéro échelle 1953	:	280,87 m
Zéro échelle 1967	:	277,87 m

Dans cette Monographie, sauf spécification contraire, les niveaux du lac seront rattachés au zéro de l'échelle 1967 de BOL ou à la borne de nivellement M dans le système IGN 1956.

3.2 - STATION de NGUIGMI

En Juillet 1955 la Mission LOGONE-TCHAD a installé une échelle limnimétrique à 3,5 km du poste militaire de NGUIGMI.

Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

14°14' latitude Nord
13°08' longitude Est

On en possède des relevés à peu près complets :

- d'Avril à Décembre 1957 (relevés tous les cinq jours)
- de Février 1962 à Décembre 1963 (relevés tous les trois jours en général)
- de Janvier à Octobre 1966
- de Janvier à Octobre 1967

L'échelle de NGUIGMI, composée de deux éléments d'un mètre, a été rattachée à la borne de nivellement IGN située au terrain d'aviation. Dans le système de nivellement de 1956 les altitudes sont les suivantes :

Repère borne IGN n° 51		
(Matricule 9)	:	282,401 m
Zéro échelle	:	280,69 m

Une nouvelle échelle a été installée le 11 Janvier 1968 avec le même calage que la précédente.

3.3 - STATIONS DIVERSES

3.3.1 - Le 16 Septembre 1954 une échelle a été posée à proximité du rocher le plus important d'HADJER-el-HAMIS dans un bras marécageux appelé El ADDABA.

Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

12°52'	latitude	Nord
14°50'	longitude	Est

Cette échelle a été observée pendant une année seulement, de Septembre 1954 à Août 1955.

Le rattachement de son zéro au nivellement IGN a donné dans le système 1956 les altitudes suivantes :

Repère borne IGN n° 30	
(Matricule 21)	: 289,414 m
Zéro de l'échelle	: 280,94 m

3.3.2 - En 1953 et 1954 deux échelles avaient été installées sur l'estuaire du CHARI. Elles n'ont jamais été observées régulièrement et ont été détruites assez rapidement par des bancs flottants de papyrus.

3.3.3 - Une échelle a été posée en Avril 1956 à MAGONERI, village voisin de BOSO situé près de l'embouchure de la KOMADOUGOU. Elle n'a jamais été observée régulièrement.

3.3.4 - Le 13 Décembre 1962 une échelle a été installée à TAGAGA sur le BAHR-el-GHAZAL à quelques kilomètres du lac. Ses coordonnées sont les suivantes :

13°00'	latitude	Nord
15°28'	longitude	Est

Cette échelle destinée à repérer le niveau d'inondation de la dépression du BAHR-el-GHAZAL a fait l'objet d'observations irrégulières. Elle a été en particulier relevée à peu près une fois par mois de Décembre 1962 à Avril 1963.

3.3.5 - Le 27 Janvier 1967 a été mis en service un limnigraphe à KARE-KATIA, dont les coordonnées géographiques sont les suivantes :

13°55' latitude Nord
14°12' longitude Est

Ce limnigraphe, situé dans l'Archipel de la partie Nord-Ouest du lac, a été doublé d'une échelle limnimétrique. Son zéro n'a pu être rattaché au nivellement IGN. Il a toutefois été rattaché à une borne-repère fixe située au-dessus des plus hautes eaux du lac. La dénivelée mesurée entre le repère et le zéro est égale à 7,019 m.

3.4 - OBSERVATIONS ANCIENNES

Les relations de voyage de divers explorateurs qui ont visité le Lac TCHAD, au cours du siècle dernier ou au début de ce siècle, nous fournissent quelques renseignements sur les variations de niveau du lac. La longueur de pénétration des eaux dans la dépression du BAHR-el-GHAZAL et la distance entre la rive du lac et le village de NGUIGMI sont les principaux éléments qui permettent de repérer les variations de niveau.

Des "Documents Scientifiques de la Mission TILHO (1906-1909)" on peut extraire les renseignements suivants :

- "En 1824, d'après DENHAM, le lac atteint NGUIGMI, WOUDI, BAROA, NGORNOU, et reste au Nord d'HADJER-el-HAMIS.

- En 1851, d'après BARTHES et OVERWEG, le lac atteint NGUIGMI, MADOUARI et se tient à petite distance de NGORNOU. La route de NGUIGMI à BERI est en partie submergée.

- En Janvier 1854, d'après VOGEL, NGORNOU est submergé par le lac. Pendant l'hiver 1854-1855, la route entre BAROA et NGUIGMI est couverte par les eaux du TCHAD; le village de NGUIGMI est détruit et les habitants doivent chercher un abri sur la dune, probablement à l'emplacement actuel.

- En 1866, ROHLFS retrouve le TCHAD à NGUIGMI et à une heure et demi de "trot allongé" de KAOUA, soit à environ 18 km de ce point. En Novembre de la même année, les eaux atteignent un niveau plus élevé qu'aucun autre, de mémoire d'homme.

- En 1870, NACHTIGAL constate également une crue considérable qui menace KOUKAOUA; le BAHR-el-GHAZAL est envahi par l'onde lacustre sur une distance de plus de 100 km. En 1873 le sillon du BAHR-el-GHAZAL était encore submergé à 80 km environ de sa sortie du Lac TCHAD.

- FOUREAU, en Février 1900, retrouve le TCHAD dans les mêmes limites au Nord que BARTH en 1851. " Nous avons parcouru toute la partie Nord du lac, dit-il, ayant en main la carte de BARTH; or nous pouvions suivre, sinuosité par sinuosité, les petites collines de bordure sur le terrain; elles coïncidaient toujours avec celles indiquées sur la carte ... Les collines étaient bien les mêmes; et la frange des roseaux du lac, d'autre part, se maintenait à la même distance, plus de 50 ans après le passage du célèbre voyageur. Bien plus, certains détails typiques restaient conformes sur le terrain à la description et au lever de BARTH".

- En 1903, le lieutenant de vaisseau AUDOIN, venant du CHARI et de BOSSO avec une baleinière de la flottille, passe en embarcation à 1 200 mètres environ au Sud de NGUIGMI pour se rendre, toujours par eau, à KOLOGO, KINDIN, BOL et retourner dans le CHARI.

- En Février 1904, le Capitaine TILHO accoste avec le chaland Benoît-Garnier à 3 200 mètres dans le Sud-Est de NGUIGMI et atteint KOULOA par eau; pour se rendre de KOULOA à BOL, le chaland doit passer au large de l'archipel, la baisse des eaux empêchant le passage entre les îles dans le Nord de KINDIN.

- En 1905, le Capitaine FREYDENBERG constate que le TCHAD est divisé en deux lacs distincts, séparés l'un de l'autre par le barrage de SEYOROM à KINDIN.

- A la fin de 1907, lors de l'arrivée de la Mission, toute la partie du Nord du TCHAD était asséchée jusqu'à la hauteur environ du parallèle de la KOMADOUGOU-YOBE .

En comparant ces divers renseignements avec les observations faites par la Mission LOGONE-TCHAD entre 1953 et 1957, A. BOUCHARDEAU avait essayé de reconstituer les niveaux du lac à différentes époques depuis le milieu du siècle dernier. Nous avons reproduit dans le tableau 3-I les évaluations de A. BOUCHARDEAU en les modifiant légèrement compte tenu des observations plus récentes sur le BAHR-el-GHAZAL (voir § 1.9.2 et graphique 1-14). Certaines de ces évaluations ne sont exactes qu'à 40 ou 50 cm près; en particulier la limite d'inondation du BAHR-el-GHAZAL ne constitue pas

TABLEAU n° 3-I

RECONSTITUTION APPROXIMATIVE des NIVEAUX du LAC TCHAD
à DIFFERENTES EPOQUES

Année	Origine des observations	Observations diverses	Niveau présumé du Lac:		
			Inondations BAHR-el-GHAZAL:	Altitude (BOL IGN 1956)	Hauteur d'eau (Ech. BOL 1967)
1874	NACHTIGAL	-	sur 180 km	284,45	658
1870	ROHLFS	-	sur 120 km	283,75	588
1866	NACHTIGAL	-	sur 120 km	"	"
1854	BARTH	-	sur 95 km	283,45	558
1873	NACHTIGAL	-	sur 95 km	"	"
1900	FOUREAU	-	sur 70 km	283,15	528
1851	BARTH	-	sur 60 km	283	513
1892	FOUREAU	-	sur 60 km	"	"
Janv. 1957 (maxi)	Mission LOGONE-TCHAD	-	sur 55 km	282,97	510
Janv. 1956 (maxi)	Mission LOGONE-TCHAD	-	sur 30 km	282,67	480
Janv. 1920 (maxi)	TILHO	-	quelques km	282,42	455
Janv. 1955 (maxi)	Mission LOGONE-TCHAD	-	0	282,27	440
Janv. 1951 (maxi)	Chef de District BOL	-	-	281,97	410
1903	AUDOIN	rivage à moins de 1,2 km de NGUIGMI	-	281,80	393
Janv. 1953 (maxi)	Chef de District BOL	-	-	"	"
Févr. 1904	TILHO	rivage à 3 km de NGUIGMI	-	281,75	388
1909 (maxi)	TILHO	-	-	281,42	355
1905	FREYDENBERG	lac scindé en deux parties	-	281,25	338
Nov. 1907 (maxi)	TILHO	lac asséché au Nord parallèle BOSSO	-	280,80	293
Juin 1908 (mini)	TILHO	sondages poche BAGA-KAWA	-	280,10	223
Juil. 1907 (mini)	TILHO	-	-	279,87	200

un repère très sûr. Comme on l'a vu précédemment (§ 1.9), elle est plus ou moins influencée par des barrages de sable construits par les riverains et ne dépend pas uniquement du niveau maximal du lac pendant l'année considérée (les inondations éventuelles des années antérieures ont une influence non négligeable). Malgré leur imprécision les données du tableau 3-1 fournissent des indications précieuses sur les variations de niveau du lac depuis une centaine d'années.

3.5 - ALLURE des VARIATIONS du NIVEAU du LAC

Si l'on porte sur un graphique les variations de niveau du lac on s'aperçoit que la courbe obtenue pour une année donnée comporte des petites fluctuations rapides qui oscillent autour d'une courbe moyenne très régulière (voir graphique 6-1).

La courbe moyenne a une allure sinusoïdale; elle présente un maximum entre la fin Novembre et la fin Janvier et un minimum dans le courant de Juillet. Ces variations saisonnières découlent du régime hydrologique des tributaires du lac et essentiellement de celui du CHARI. De Juillet à Décembre ou Janvier le CHARI a sa crue annuelle : les apports sont alors supérieurs aux pertes par évaporation du lac et le niveau monte. De Janvier à Juillet, au contraire, l'évaporation est prépondérante de sorte que le niveau redescend.

L'amplitude des variations saisonnières est en général de l'ordre d'un mètre mais elle peut s'écarter notablement de cette valeur, comme on le verra au chapitre suivant.

Les fluctuations rapides du niveau, telles que les font apparaître les relevés limnimétriques quotidiens de la station de BOL, ont une allure pseudo-périodique, c'est-à-dire que les écarts à la courbe moyenne tendent alternativement à être positifs puis négatifs pendant plusieurs jours consécutifs. Les séries d'écarts positifs ou négatifs ne durent souvent pas plus de quatre ou cinq jours, mais elles peuvent parfois atteindre dix ou même quinze jours. Leur amplitude a été étudiée par B. BILLON⁽¹⁾ pour les mois

(1) - Voir "La prévision des crues du Lac TCHAD" de B. BILLON - ORSTOM Centre de FORT-LAMY - Février 1965 -

de Décembre et Janvier, époque du maximum annuel. Sur la base des relevés de 18 h effectués entre 1957 et 1962 il a obtenu les résultats suivants pour les écarts positifs :

- fluctuation maximale de fréquence annuelle	:	11 cm
- " " " " décennale	:	18 cm

B. BILLON a noté également qu'au voisinage du maximum la courbe moyenne calculée sur la base des relevés de 18 h était située un peu au-dessus de celle calculée sur la base des relevés de 6 h. L'écart varie entre 0 et 6 cm et admet une valeur moyenne de 2 cm.

Les enregistrements continus du limnigraphe de BOL, qui a été mis en service en 1965, ont montré que les fluctuations rapides étaient, en fait, plus complexes que ne le laissaient supposer un ou deux relevés par jour. Dans une même journée des variations de niveau comprises entre 5 et 10 cm ne sont pas rares. Dans certains cas elles peuvent même dépasser 15 cm. Le plus souvent le maximum des oscillations journalières se situe entre 18 et 24 h et le minimum vers le milieu de la journée, mais cette règle est loin d'être absolue.

En définitive on admettra que la fluctuation maximale que l'on peut observer une fois en dix ans est de 20 cm en moyenne pendant 24 h et de 25 cm pendant une heure ou deux, non compris l'effet de la houle.

Les fluctuations rapides du niveau peuvent être attribuées essentiellement à l'influence des vents qui tendent à entraîner dans leur mouvement les eaux de la surface du lac et engendrent ainsi des courants et mouvements oscillatoires complexes désignés généralement sous le nom de "seiches". Des différences de pression barométrique ou des averses intenses localisées sont sans doute également susceptibles de provoquer des seiches de faible importance.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ces phénomènes car leur étude poussée exigerait que l'on dispose d'enregistrements limnimétriques continus s'étendant sur plusieurs années et portant sur plusieurs points du lac. Nous admettrons donc dans ce qui suit

que les niveaux moyens journaliers du lac à BOL sont convenablement représentés par les relevés quotidiens de 6 h, ou mieux par les moyennes arithmétiques des relevés bi-quotidiens de 6 h et 18 h quand ceux-ci existent.

De plus, à partir de ces niveaux moyens journaliers appelés "hauteurs d'eau brutes", nous chercherons à déterminer des "hauteurs d'eau nettes" débarrassées des fluctuations rapides. Ces hauteurs d'eau nettes correspondront à la courbe moyenne des variations de niveau du lac obtenue après "lissage" des petites oscillations aléatoires que nous avons attribuées aux seiches. Cette opération de lissage sera effectuée suivant le procédé classique des moyennes mobiles. Après quelques essais nous avons choisi de faire porter les moyennes mobiles sur quinze jours. Autrement dit, la hauteur nette du jour J sera par définition la moyenne arithmétique des hauteurs brutes relevées entre le jour J-7 et le jour J+7. Cependant pour quelques années dont les relevés sont incomplets (1908, 1932, 1953, 1954 et 1955) il sera plus pratique d'effectuer le lissage graphiquement.

3.6 - HAUTEURS LIMNIMETRIQUES OBSERVEES

La totalité des observations limnimétriques relevées aux diverses stations du lac TCHAD figurent dans la dernière partie de cette monographie intitulée "Recueil des données numériques".

Nous en avons extrait ici les données essentielles qui permettront dans les chapitres suivants d'étudier les principales caractéristiques du régime hydrologique du lac. Ces données essentielles sont rassemblées dans trois tableaux.

Les deux premiers (tableaux n° 3-II & 3-III) donnent année par année les hauteurs brutes et nettes observées à BOL le premier jour de chaque mois.

Le troisième tableau (n° 3-IV) donne les hauteurs nettes maximales et minimales observées chaque année à BOL avec leur date d'apparition. L'année considérée n'est pas l'année calendaire mais une année hydrologique qui s'étend du 1er Août au 31 Juillet suivant. Ainsi le maximum, situé en Décembre ou Janvier, et le minimum, qui lui fait suite en Juillet, sont compris dans la même année hydrologique.

TABLEAU n°3-II

HAUTEURS d'EAU BRUTES RELEVÉES à BOL le 1er JOUR de CHAQUE MOIS

Année	1er/1	1er/2	1er/3	1er/4	1er/5	1er/6	1er/7	1er/8	1er/9	1er/10	1er/11	1er/12
1908	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1909	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1912	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(370)	(382)
1913	(369)	(357)	(345)	(324)	(315)	(299)	(289)	(280)	(282)	(287)	(292)	(297)
1914	(289)	(277)	(273)	(257)	(233)	(228)	(219)	(209)	(231)	(251)	(278)	(295)
1915	(296)	(290)	(272)	(255)	(237)	(235)	(219)	(235)	(255)	(281)	(299)	(288)
1916	(303)	(300)	(279)	(271)	(252)	(247)	(241)	(246)	(282)	(322)	(356)	(405)
1917	-	-	-	-	-	(309)	(301)	(301)	(321)	(350)	(381)	(414)
1918	(413)	(393)	(383)	(357)	(342)	(325)	(315)	(316)	(333)	(365)	(390)	(400)
1919	(391)	(379)	(369)	(343)	(327)	(316)	(303)	(308)	(327)	-	-	-
1932	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1933	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1954	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	430	-	427	-	402	387	-	374	386	407	-	-
1956	475	475	470	458	448	425	412	415	430	456	465	504
1957	510	503	494	478	465	466	444	447	450	460	471	478
1958	482	473	466	452	437	420	418	422	434	447	453	460
1959	462	457	444	434	410	403	382	384	399	424	436	450
1960	462	448	438	434	420	401	393	377	408	404	418	434
1961	462	462	438	426	414	402	384	388	436	445	457	488
1962	512	514	503	493	480	466	-	469	466	486	506	528
1963	538	544	538	520	516	502	488	482	487	499	518	530
1964	540	534	514	507	495	482	466	469	478	495	511	-
1965	538	523	519	509	490	480	462	460	473	488	482	496
1966	496	476	460	453	442	441	426	-	426	428	437	444
1967	445	440	420	405	408	384	372	370	372	393	409	426
1968	432	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota : Les hauteurs d'eau ont toutes été rapportées au zéro de l'échelle de BOL posée le 24 Janvier 1967 (altitude 277,87 m - IGN 1956).

TABLEAU n° 3-III

HAUTEURS d'EAU NETTES RELEVÉES à BOL le 1er JOUR de CHAQUE MOIS

Année	1er/1	1er/2	1er/3	1er/4	1er/5	1er/6	1er/7	1er/8	1er/9	1er/10	1er/11	1er/12
1908	(285)	(275)	(260)	(245)	(232)	(220)	(211)	(210)	(237)	(275)	(320)	(350)
1909	(355)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1912	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(371)	(383)
1913	(370)	(356)	(342)	(322)	(315)	(300)	(289)	(281)	(282)	(289)	(292)	(292)
1914	(286)	(278)	(268)	(255)	(234)	(227)	(218)	(209)	(232)	(249)	(278)	(297)
1915	(296)	(288)	(271)	(255)	-	(234)	(221)	(233)	(256)	(281)	(300)	(313)
1916	(304)	(297)	(282)	(270)	(253)	(246)	(240)	(247)	(281)	(319)	(356)	(407)
1917	-	-	-	-	-	-	(301)	(301)	(322)	(350)	(382)	(412)
1918	(411)	(392)	(382)	(356)	(342)	(326)	(314)	(315)	(333)	(365)	(389)	(399)
1919	(392)	(379)	(367)	(342)	(327)	(316)	(304)	(308)	-	-	-	-
1932	-	-	-	-	(315)	(305)	(295)	(305)	(320)	(330)	(350)	(375)
1933	(365)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1953	-	-	-	-	-	-	-	310	335	355	370	380
1954	380	380	365	355	345	330	315	325	360	375	395	420
1955	435	435	425	410	400	385	370	370	385	405	420	445
1956	477	477	475	458	443	427	-	-	436	461	470	-
1957	509	500	493	483	469	458	447	449	450	463	472	478
1958	478	473	466	448	434	420	410	412	432	443	448	460
1959	462	455	437	429	414	404	382	379	402	421	432	453
1960	461	451	441	432	421	400	389	383	394	405	416	435
1961	460	462	440	430	419	407	387	386	427	445	460	492
1962	513	512	503	492	482	466	(460)	458	472	487	505	527
1963	543	545	536	523	512	500	483	477	489	507	519	528
1964	537	531	519	509	490	479	465	465	479	493	504	(520)
1965	537	527	523	508	496	481	468	461	470	489	484	491
1966	489	479	465	451	440	428	(420)	(410)	417	428	438	447
1967	446	436	421	409	-	384	375	367	375	(390)	406	424
1968												

Nota : Les hauteurs d'eau ont toutes été rapportées au zéro de l'échelle de BOL posée le 24 Janvier 1967 (altitude 277,87 m - IGN 1956).

TABLEAU n° 3-IV. HAUTEURS NETTES et DATES des MAXIMUMS et MINIMUMS ANNUELS à BOL

Année hydrologique	Maximum			Minimum		Année hydrologique	Maximum			Minimum	
	Hauteur: nette	Date		Hauteur: nette	Date		Hauteur: nette	Date		Hauteur: nette	Date
1906-1907			(200)	-/7/1907		1955-1956	479	6-7/1/56	(412)	-/7/56	
1907-1908	(287)	-/11/1907	(210)	-7/1908		1956-1957	509	30/12/56 -	445	18-20/7/57	
1908-1909	(353)	-/12/1908	(265)	-/7/1909				6/1/57			
1911-1912	-	-	(280)	-/8/1912		1957-1958	479	19-25/12/57	408	4/7/58	
1912-1913	(384)	21-30/11/12	(280)	5-7/8/1913		1958-1959	465	11-18/12/58	375	13-16/7/59	
1913-1914	(293)	22-29/11/13	(207)	21-28/7/14		1959-1960	465	6-14/1/60	381	28/7/60	
1914-1915	(300)	21-24/11/14	(220)	2-12/7/15		1960-1961	464	24-25/1/61	385	25-26/6/61	
1915-1916	(315)	23-25/11/15	(237)	12-15/7/16		1961-1962	515	22-25/12/61	455	21-24/7/62	
1916-1917	(419)	15-21/12/16	(297)	16-22/7/17		1962-1963	545	20/1-3/2/63	477	19-29/7/63	
1917-1918	(419)	18/12/17	(310)	18/7/18		1963-1964	537	27/12/63 -	457	18/7/64	
1918-1919	(400)	23-30/11/18	(301)	9-20/7/19				5/1/64			
1919-1920	(450)	-/12/19	-	-		1964-1965	537	30/12/64 -	460	23-31/7/65	
								2/1/65			
1949-1950	-	-	(270)	-		1965-1966	493	5-8/12/65	(410)	7/66	
1950-1951	(405)	-	-	-		1966-1967	450	8-11/12/66	366	30-31/7/67	
1953-1954	390	-/12/53	310	-/7/54		1967-1968	433	1-2/1/68			
1954-1955	440	-/1/55	368	-/7/55							

CHAPITRE 4

CRUES et ETIAGES

4.1 - RELATION entre les NIVEAUX EXTREMES du LAC et les CRUES du CHARI

4.1.1 - Comme on l'a vu à la fin du chapitre précédent, le régime des variations de niveau du lac est essentiellement caractérisé par un maximum annuel (crue) qui se produit en Décembre-Janvier, et un minimum annuel (étiage) que l'on observe en Juillet.

Les maximums et minimums annuels seront étudiés conjointement car ils présentent entre eux des relations intéressantes. Nous allons examiner celles-ci en utilisant les données qui sont rappelées dans le tableau n° 4-I, à savoir :

- colonne 1 : année hydrologique qui s'étend approximativement sur douze mois d'un étiage à l'étiage suivant,
- colonne 2 : H_{n_i} , niveau minimal du lac au début de l'année hydrologique considérée,
- colonne 3 : H_{x_i} , niveau maximal du lac pendant l'année hydrologique considérée,
- colonne 4 : $H_{n_i} + 1$, niveau minimal du lac à la fin de l'année hydrologique considérée ou au début de l'année hydrologique suivante,
- colonne 5 : $H_{x_i} - H_{n_i}$, montée du lac pendant la première partie de l'année hydrologique considérée,
- colonne 6 : $H_{x_i} - H_{n_i} + 1$, baisse du lac pendant la deuxième partie de l'année hydrologique considérée,
- colonne 7 : $H_{n_i} + 1 - H_{n_i}$, variation de niveau entre deux étiages successifs,
- colonne 8 : Q_{x_i} , débit maximal du CHARI à FORT-LAMY pendant l'année hydrologique considérée,
- colonne 9 : Q_{s_i} , débit moyen du CHARI à FORT-LAMY, pendant le semestre qui s'étend entre le 1er Janvier et le 30 Juin de l'année hydrologique considérée.

TABLEAU 4-I

DONNEES RELATIVES aux CRUES et aux ETIAGES
du LAC

Année	H_{n_i}	H_{x_i}	$H_{n_{i+1}}$	$H_{x_i} - H_{n_i}$	$H_{x_i} - H_{n_{i+1}}$	$H_{n_{i+1}} - H_{n_i}$	Q_{x_i}	Q_{s_i}
i	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
1906-1907	-	-	(200)	-	-	-	-	-
1907-1908	(200)	(287)	(210)	(87)	(77)	+ (10)	-	-
1908-1909	(210)	(353)	(265)	(143)	(88)	+ (55)	-	-
1911-1912	-	-	(280)	-	-	-	-	-
1912-1913	(280)	(384)	(280)	(104)	(104)	0	-	-
1913-1914	(280)	(293)	(207)	(13)	(86)	- (73)	-	-
1914-1915	(207)	(300)	(220)	(93)	(80)	+ (13)	-	-
1915-1916	(220)	(315)	(237)	(95)	(78)	+ (17)	-	-
1916-1917	(237)	(419)	(297)	(182)	(122)	+ (60)	-	-
1917-1918	(297)	(419)	(310)	(122)	(109)	+ (13)	-	-
1918-1919	(310)	(400)	(301)	(90)	(99)	- (09)	-	-
1919-1920	(301)	(450)	-	(149)	-	-	-	-
1949-1950	-	-	(270)	-	-	-	3 450	-
1950-1951	(270)	(405)	-	(135)	-	-	(4 400)	-
1953-1954	(300)	390	310	(90)	80	+ (10)	3 775	(325)
1954-1955	310	440	368	130	72	+ 58	4 450	484
1955-1956	368	479	(412)	111	(67)	+ (44)	4 700	585
1956-1957	(412)	509	445	(97)	64	+ (33)	4 440	487
1957-1958	445	479	408	34	71	- 37	2 690	339
1958-1959	408	465	375	57	90	- 33	2 800	277
1959-1960	375	465	381	90	84	+ 06	3 905	335
1960-1961	381	464	385	83	79	+ 04	4 010	438
1961-1962	385	515	455	130	60	+ 70	5 160	534
1962-1963	455	545	477	90	68	+ 22	4 605	627
1963-1964	477	537	457	60	80	- 20	3 670	366
1964-1965	457	537	460	80	77	+ 03	4 065	420
1965-1966	460	493	(410)	33	(83)	- (50)	2 565	240
1966-1967	(410)	450	366	(40)	84	- (44)	3 230	-
1967-1968	366	433	-	67	-	-	3 830	-

4.1.2 - Relation entre le maximum annuel et le minimum précédent

Sur le graphique n° 4-1a on a porté les valeurs de Hx_i en fonction des valeurs correspondantes de Hn_i . Les points obtenus forment un nuage allongé, au milieu duquel on a tracé au jugé une courbe de relation moyenne. Cette courbe est rectiligne pour les valeurs de Hn supérieures à 300 cm. Pour les valeurs de Hn inférieures à 300 cm, la relation devient plus indécise; ceci s'explique par l'influence de la "Grande Barrière" qui, lorsque le niveau du lac est très bas, peut isoler plus ou moins complètement sa partie Nord-Ouest de sa partie Sud-Est et complique ainsi grandement le fonctionnement hydraulique du lac.

Indépendamment de cet effet perturbateur, on conçoit qu'il ne puisse exister une relation véritablement fonctionnelle entre Hx et Hn , car il est bien évident que la montée du lac dépend de l'ampleur de la crue du CHARI qui a provoqué cette montée. La crue du CHARI ayant une forme très régulière d'une année à l'autre, on peut caractériser son ampleur par le débit maximal Qx observé à FORT-LAMY.

Un essai graphique nous a montré que Hx_i était lié plus étroitement à Hn_i qu'à Qx_i . C'est pourquoi nous avons considéré ce dernier terme comme un facteur secondaire. Nous avons porté en fonction de Qx_i les écarts des points (Hx_i, Hn_i) par rapport à la courbe de relation moyenne obtenue précédemment et en avons déduit une courbe de correction moyenne (graphique 4-1b). La dispersion des points est ainsi sensiblement réduite; pour toutes les années d'observations postérieures à 1950, les valeurs de Hx peuvent être généralement reconstituées à moins de 10 cm près. L'écart maximal est de 16 cm, au lieu de 47 cm avant correction. Une deuxième correction a été tentée en fonction des précipitations moyennes tombées sur le lac, mais elle n'apporte aucun gain de précision, ce qui n'est guère étonnant étant donné la détermination assez grossière de ces précipitations (2.7.7).

Pour le cas où l'on veut déterminer Hn_i en fonction de Hx_i , comme on le verra plus loin pour la reconstitution des anciens niveaux de crue et d'étiage, on utilisera la correction ΔHn_i en fonction de Qx_i donnée sur le graphique 4-1c.

4.1.3 - Relation entre le minimum annuel et le maximum précédent

Sur le graphique 4-2a on a porté les valeurs de H_{n_i+1} en fonction des valeurs correspondantes de H_{x_i} . Les points obtenus présentent une faible dispersion et permettent d'établir dans de bonnes conditions une courbe de relation moyenne.

On conçoit que la dispersion soit plus faible que dans le cas précédent, car la baisse du lac est essentiellement due à l'évaporation pendant la saison sèche, qui est un phénomène assez constant d'une année à l'autre.

La baisse du lac est cependant freinée par les apports du CHARI qui ne sont pas complètement négligeables de Janvier à Juillet. Jusqu'en Avril, les débits d'étiage du CHARI dépendent assez étroitement du débit maximal de la crue observée au mois de Novembre précédent. On a donc tenté d'introduire une correction en fonction de Q_{x_i} , mais cette correction n'apparaît pas très intéressante (graphique 4-2b) et ne réduit pas beaucoup la dispersion. L'écart maximal sur H_n passe de 20 à 16 cm.

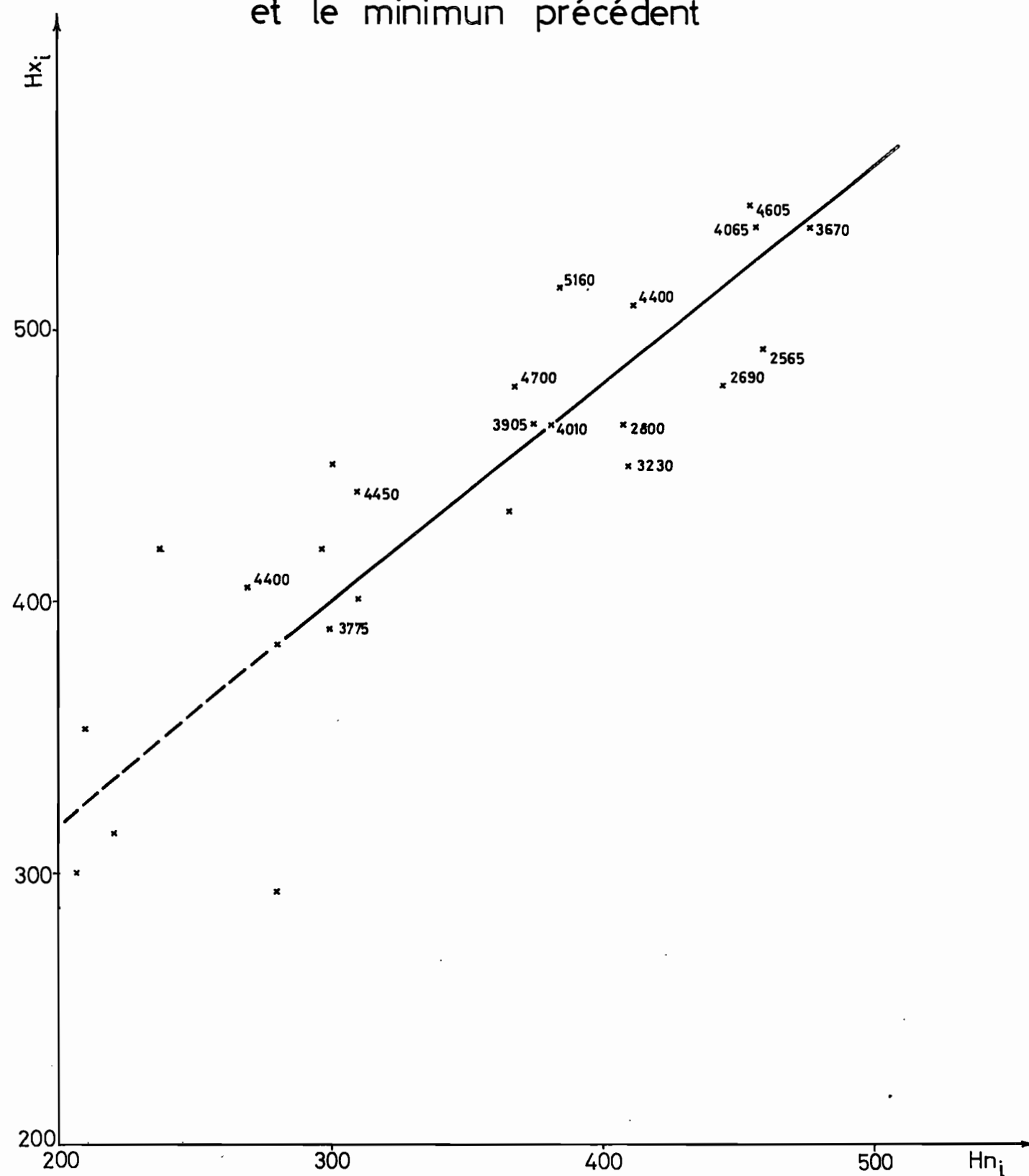
Une correction équivalente donnant H_{x_i} en fonction de Q_{x_i} est figurée sur le graphique 4-2c pour le cas où l'on cherche à déterminer H_{x_i} en fonction de $H_{n_i} + 1$.

4.1.4 - Amplitude de la montée annuelle du lac

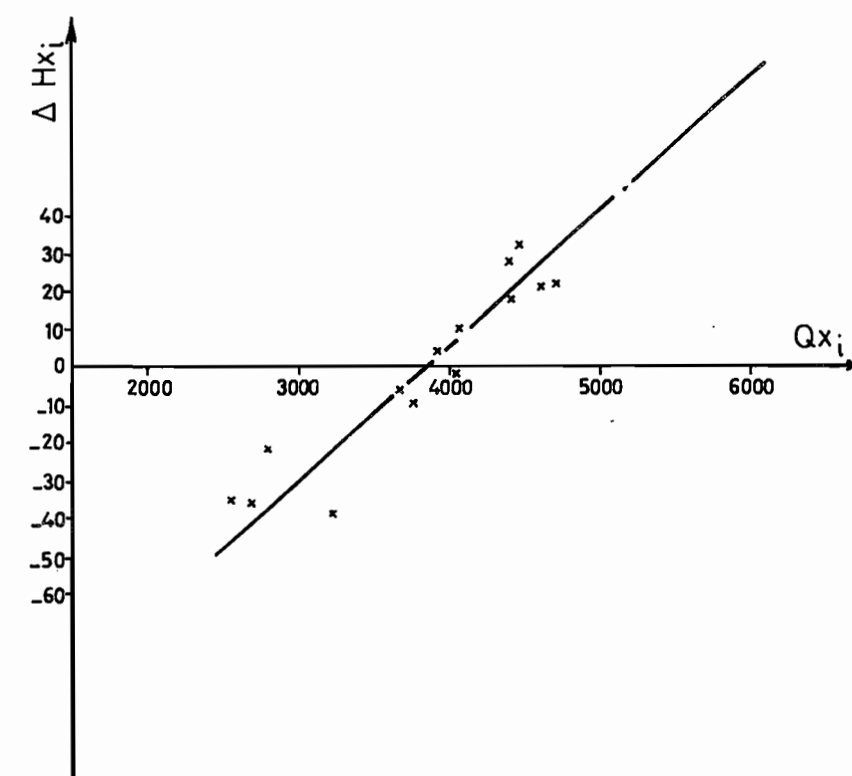
D'après les données de la colonne 5 du tableau n° 4-I on voit que l'amplitude de la montée annuelle a varié entre 13 et 182 cm sur 26 années. La série des valeurs observées peut être caractérisée comme suit :

- Moyenne	:	92,5	cm
- Médiane	:	90	"
- premier quartile	:	67	"
- dernier quartile	:	122	"
- écart-type	:	39,5	"
- coefficient de variation	:	0,44	

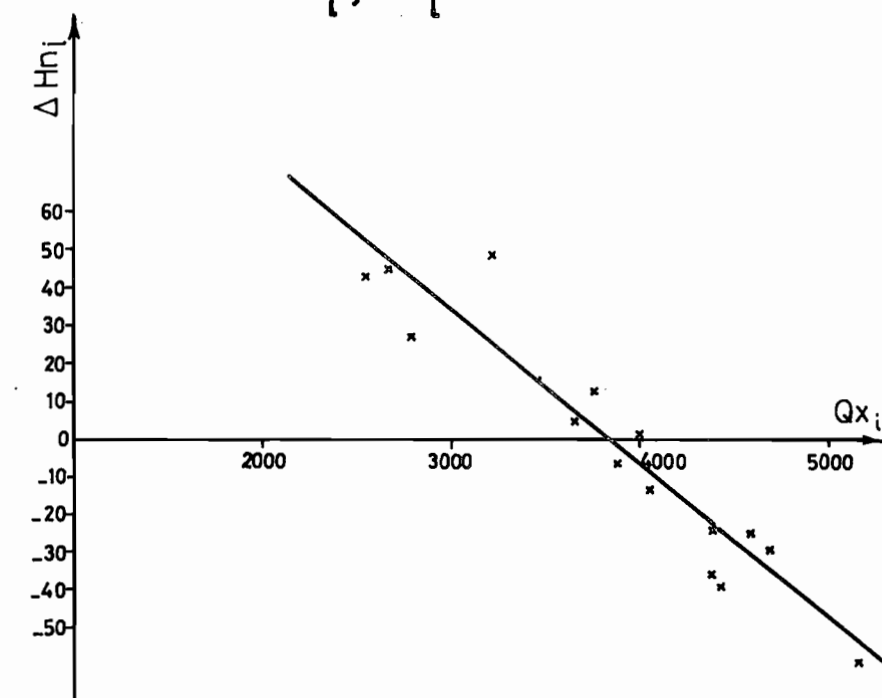
a: Relation entre le maximum annuel
et le minimum précédent



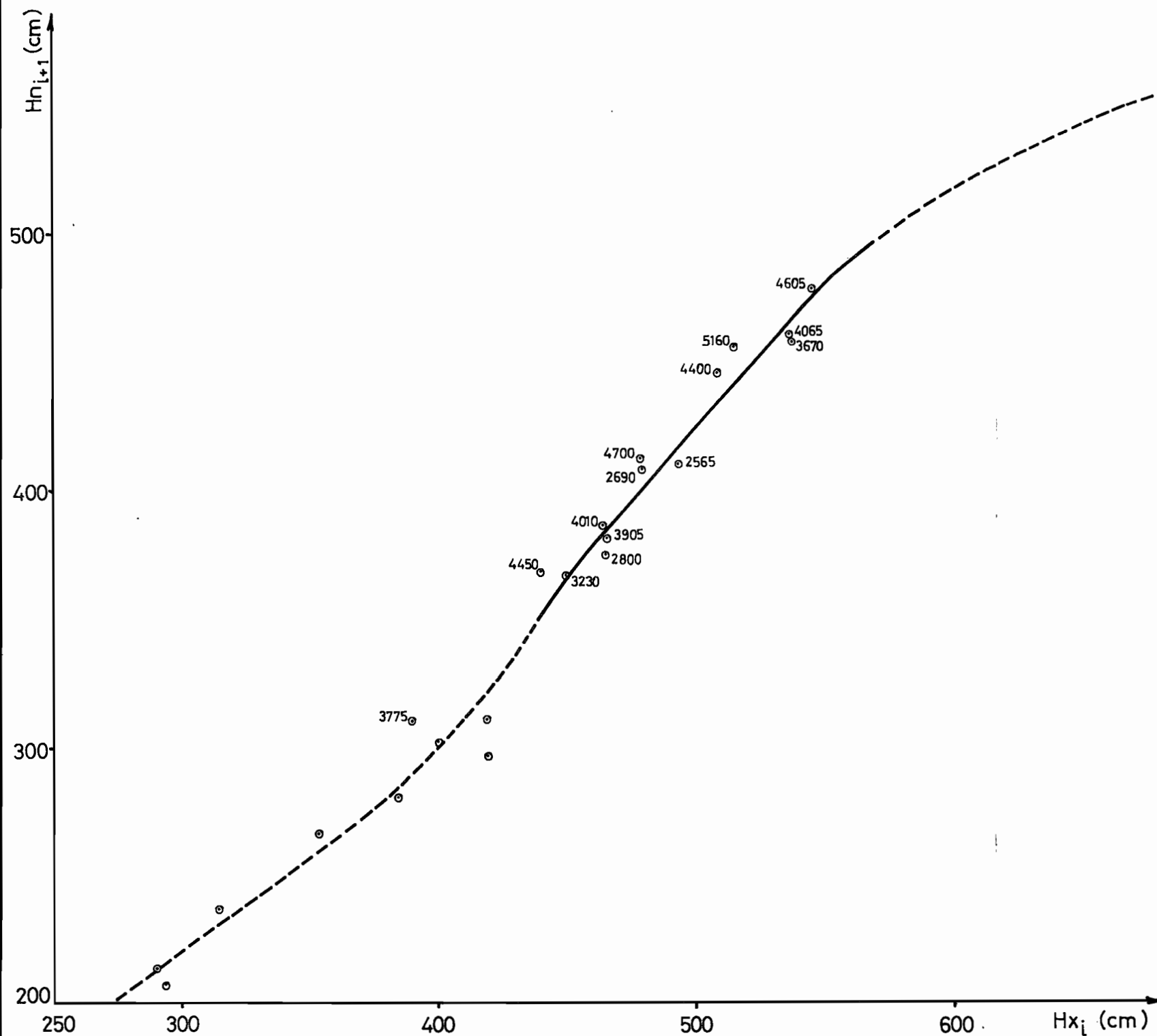
b: Correction en fonction du débit maximal
du CHARI à Fort-Lamy



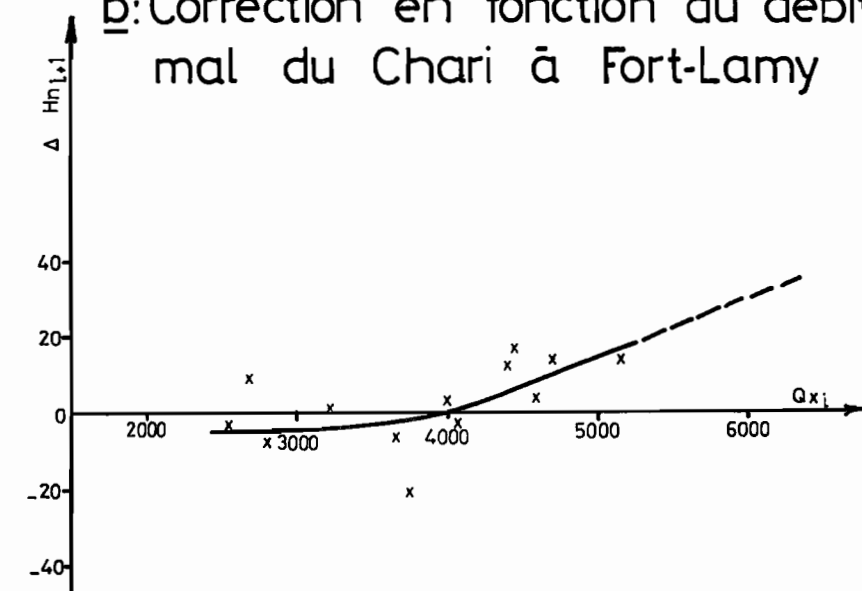
c: Correction, en fonction de Qx , de la
relation Hn_i, Hx_i .



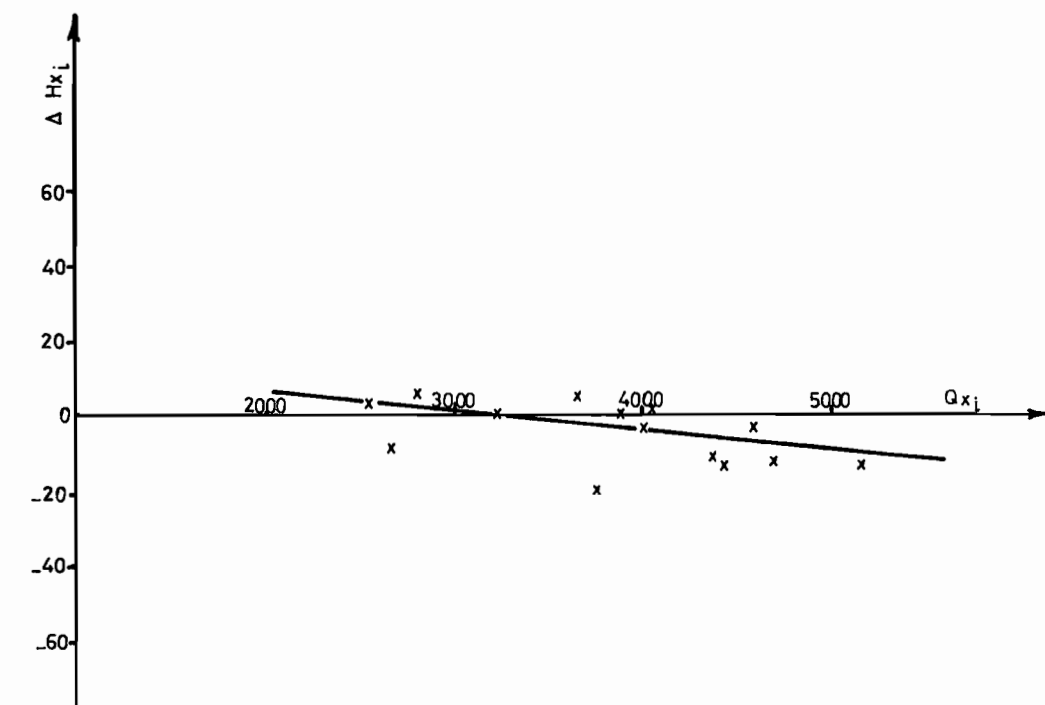
a: Relation entre le minimum annuel et le maximum précédent



b: Correction en fonction du debit maximal du Chari à Fort-Lamy



c: Correction en fonction de Qx de la relation Hx_i, Hn_{i+1}



L'irrégularité interannuelle des montées du lac apparaît assez élevée en valeur relative.

Sur le graphique 4-3a, on a cherché une relation entre l'amplitude de la montée annuelle du lac et l'importance de la crue du CHARI caractérisée par son débit maximal Qx_i . Malgré une dispersion notable des points obtenus, on peut admettre une relation linéaire. Une correction en fonction du niveau d'étiage permet de réduire l'écart maximal de 35 à 17 cm. L'écart moyen devient inférieur à 10 cm (graphique 4-3b) .

4.1.5 - Amplitude de la baisse annuelle du lac

Sur 23 années, la baisse annuelle a varié entre 60 et 122 cm. Sa valeur moyenne est du même ordre que celle de la montée (sur une très longue période d'observation elle lui serait évidemment identique). Par contre, la baisse annuelle est nettement moins irrégulière d'une année à l'autre que la montée, ce qui s'explique aisément étant donné que le facteur principal de la baisse est l'évaporation de Janvier à Juillet. En régime tropical sahélien, cette évaporation prélève chaque année une tranche d'eau relativement constante.

Les apports du CHARI interviennent cependant de façon non négligeable pour freiner la baisse, comme le montre le graphique 4-4 sur lequel on a porté l'amplitude de la baisse annuelle en fonction du débit moyen du CHARI à FORT-LAMY pendant le 1er semestre de l'année calendaire (Qs_i). On note que la baisse du lac tend à diminuer légèrement lorsque augmentent les apports du CHARI entre le 1er Janvier et le 30 Juin. On peut admettre une relation moyenne linéaire qui donne l'amplitude de la baisse à moins de 10 cm près. On a cherché à améliorer cette relation en introduisant des corrections en fonction de Hx et de la pluie moyenne sur le lac, mais on n'a pas obtenu de résultats appréciables.

Un graphique analogue (4-5) a été établi en faisant intervenir non pas Qs_i mais Qx_i , ces deux débits étant liés assez étroitement puisque le débit maximal du CHARI commande la courbe de tarissement qui lui fait suite jusqu'en Avril ou Mai. On obtient une relation linéaire satisfaisante pour les valeurs de Qx_i supérieures à 3 000 m^3/s , mais pour les valeurs inférieures la relation devient indécise.

4.1.6 - Relation entre l'écart de deux étiages successifs et le débit maximal du CHARI à FORT-LAMY

La différence de niveau entre deux étiages successifs du lac dépend principalement de l'ampleur de la crue du CHARI qui s'est produite dans l'intervalle et que l'on peut caractériser par son débit maximal. Sur le graphique 4-6a, les points représentatifs des valeurs de $(H_{n_i + 1} - H_{n_i})$ en fonction de Q_{x_i} permettent d'établir une relation moyenne qui est sensiblement linéaire, tout au moins pour les valeurs de Q_{x_i} supérieures à 3 800 m³/s. Une correction de cette relation en fonction du niveau du premier étiage (graphique 4-6b) permet de réduire la dispersion des points représentatifs. L'écart maximal tombe de 25 à 12 cm et l'écart moyen devient égal à environ 5 cm.

En utilisant les deux courbes précédentes (4-6 a et b) il est possible de déterminer pour une valeur donnée de Q_{x_i} la valeur de H_{n_i} telle que la différence $(H_{n_i + 1} - H_{n_i})$ soit nulle. Autrement dit, on obtient le niveau d'équilibre auquel se maintiendrait l'étiage du lac, si le débit maximal de la crue du CHARI prenait une valeur identique pendant plusieurs années consécutives.

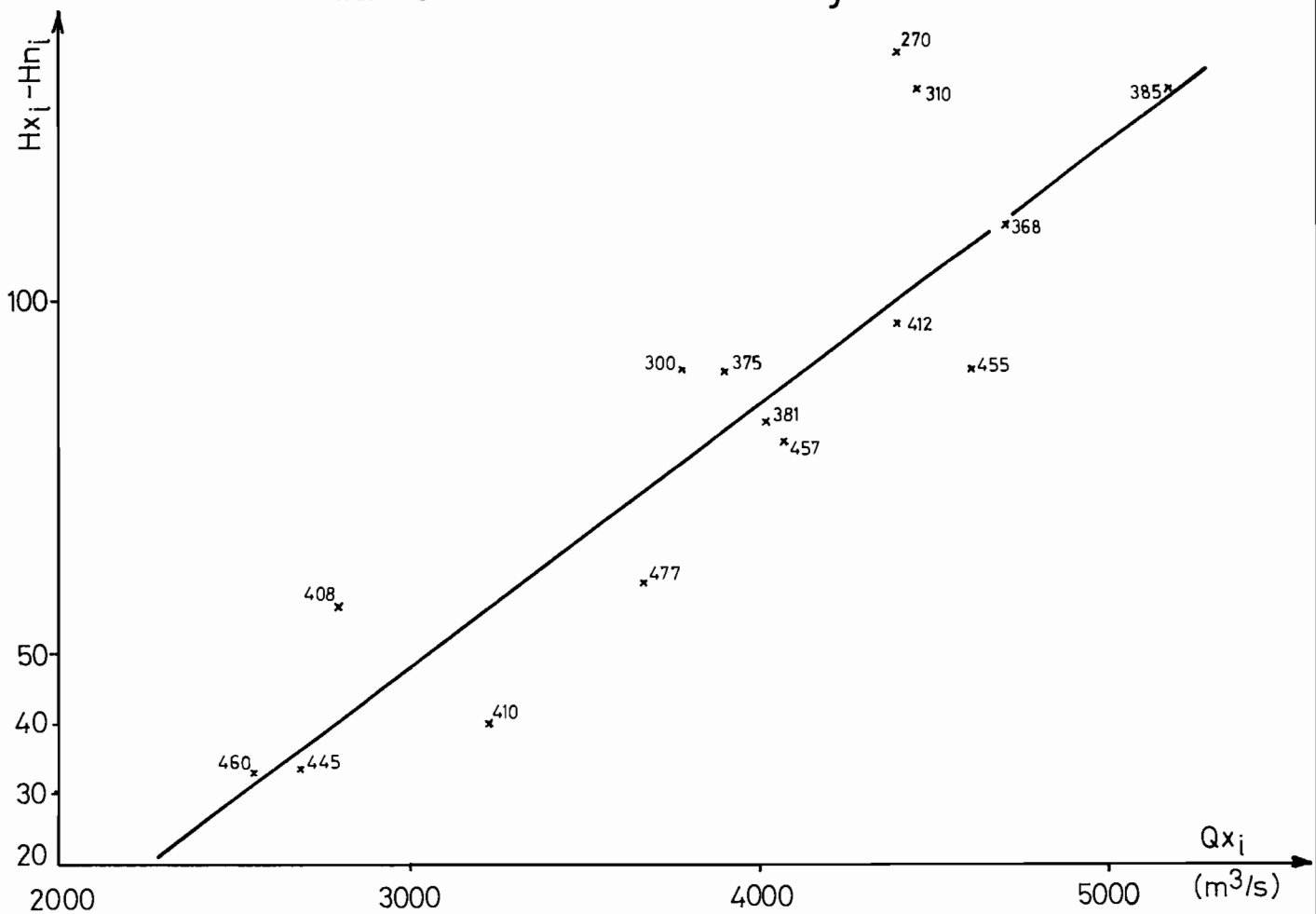
En utilisant maintenant les graphiques 4-1 a et b, on peut à partir du niveau d'équilibre d'étiage déterminer le niveau d'équilibre de la crue du lac correspondant à une valeur donnée de Q_{x_i} . Les graphiques 4-2 a et b permettent d'ailleurs une vérification du niveau d'étiage (vérification à quelques centimètres près, à cause d'une certaine imprécision des courbes de relation).

Les courbes donnant les niveaux d'équilibre d'étiage et de crue du lac, en fonction de Q_{x_i} , sont figurées sur le graphique 4 - 6 c. Elles ne peuvent être établies que pour une gamme assez étroite de valeur de Q_{x_i} .

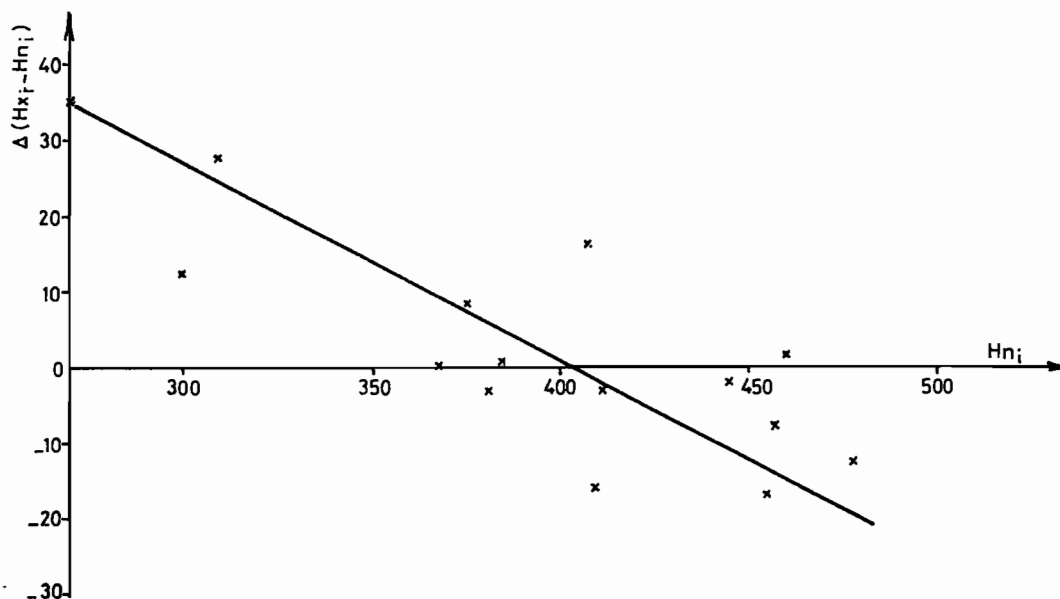
4.1.7 - Prévision des crues et des étiages du lac

Les possibilités de prévoir plusieurs semaines ou même plusieurs mois à l'avance les crues et les étiages du Lac présentent un intérêt pratique certain, tout particulièrement dans les cas critiques : niveau du lac très bas susceptible d'entraver gravement la navigation, ou au contraire niveau très élevé risquant de provoquer des submersions de zones habitées ou cultivées et d'endommager des ouvrages comme les digues des polders de la région de BOL.

a: Relation entre la montée annuelle du lac et le débit maximal du CHARI à Fort-Lamy



b: Correction en fonction du niveau d'étiage



LAC TCHAD

Relation entre la baisse annuelle du lac
et le
débit moyen du Chari à Fort-Lamy entre le 1^{er} Janvier et le 30 Juin

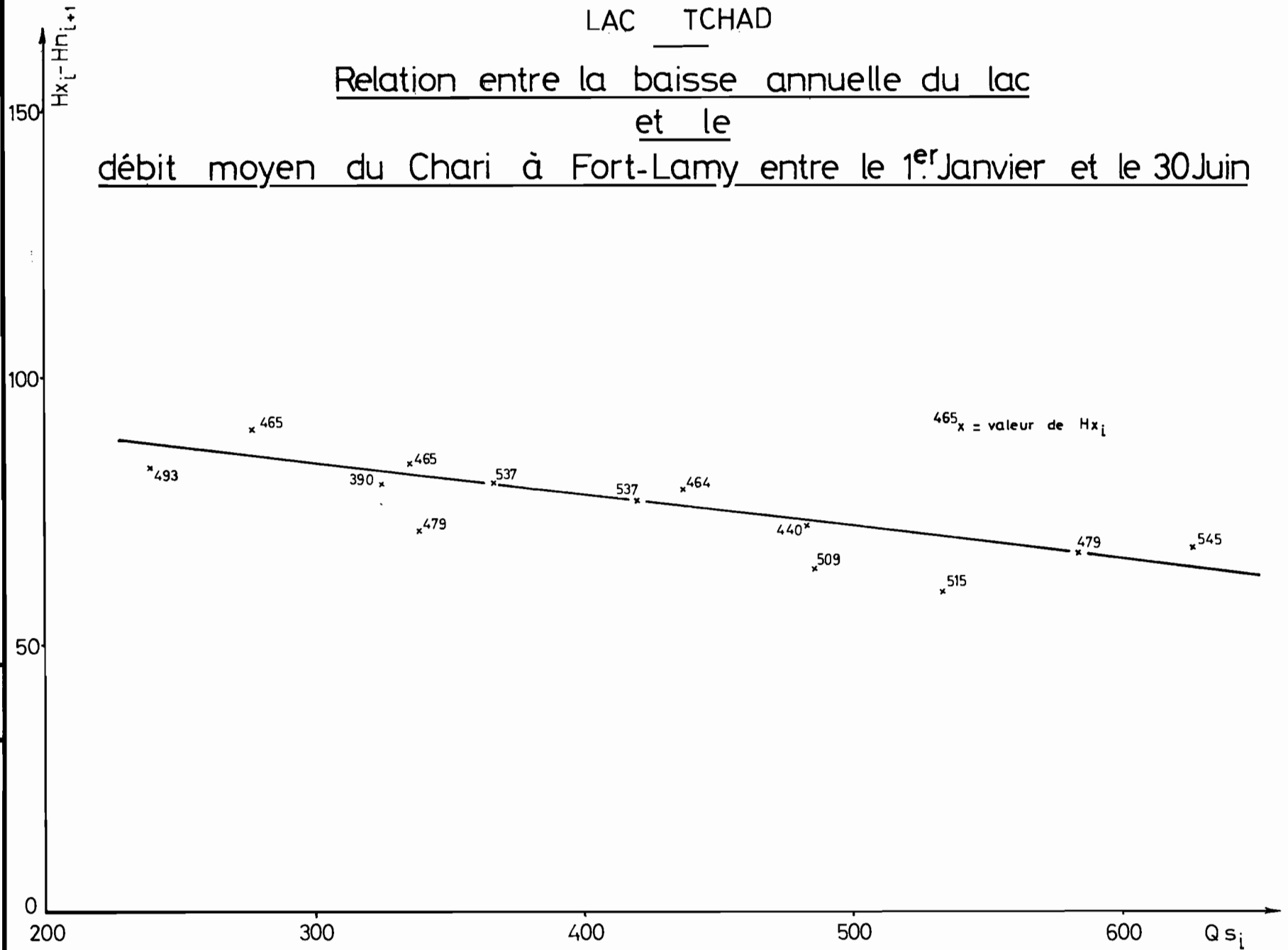
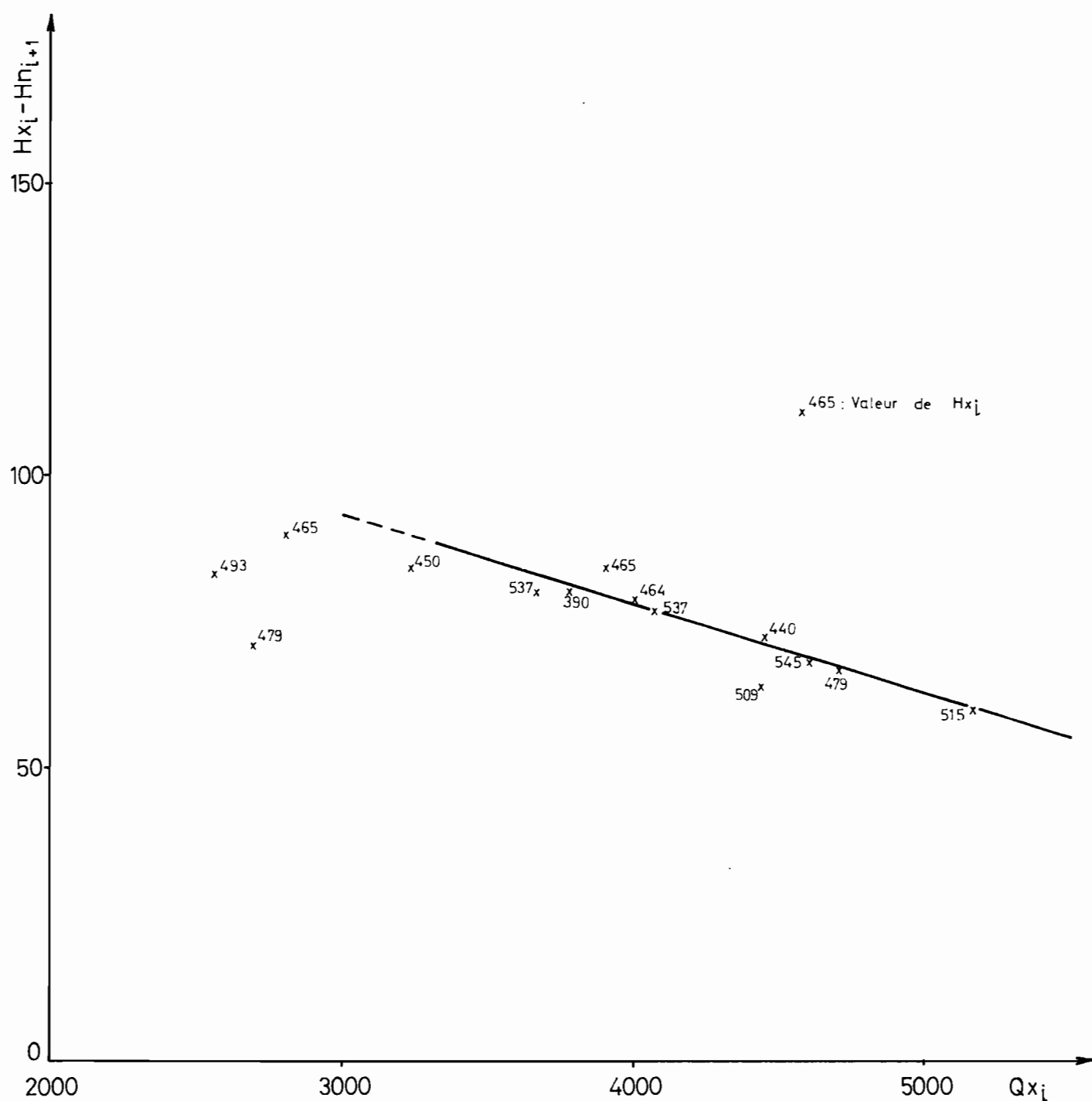


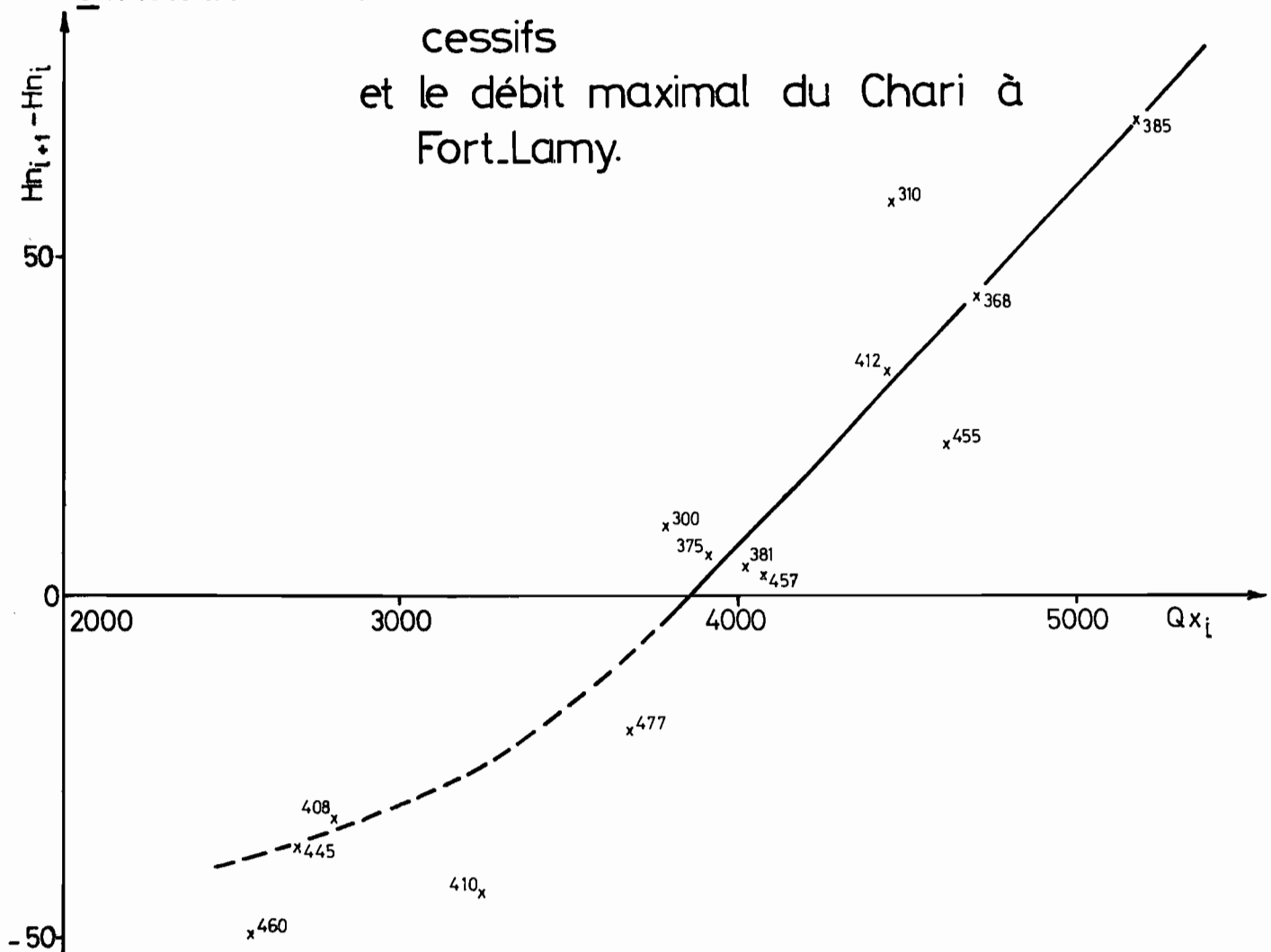
Fig. 4.4

LAC TCHAD

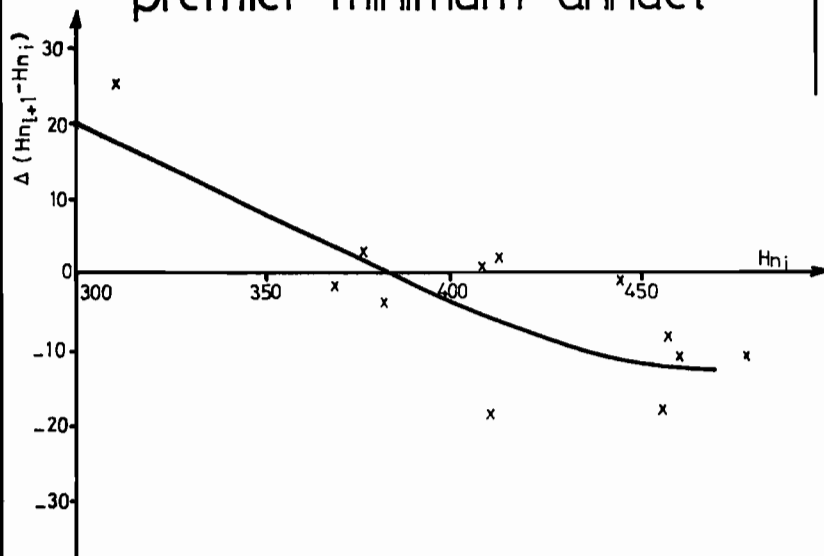
Relation entre la baisse annuelle du lac
et le
débit maximal du Chari à Fort-Lamy



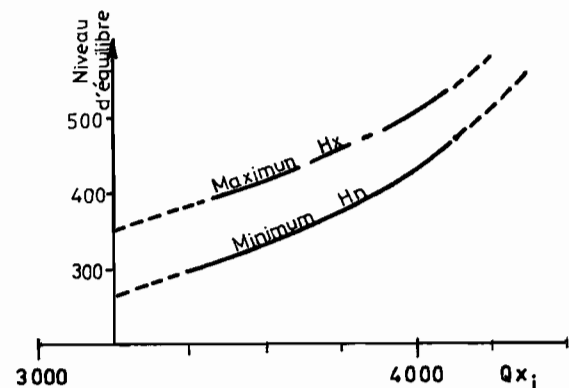
a: Relation entre l'écart de deux minimums annuels successifs et le débit maximal du Chari à Fort.Lamy.



b: Correction en fonction du premier minimum annuel



c: Niveau d'équilibre des maximums et minimums annuels du lac



La prévision des étiages peut se faire dans des conditions satisfaisantes en utilisant les relations :

$$Hn_i + 1 = f(Hx_i) \quad \text{et} \quad \Delta Hn_i + 1 = g(Qx_i)$$

du graphique 4-2 . Le niveau de l'étiage de Juillet peut être déterminé à environ 10 cm près, dès que le maximum précédent est connu, c'est-à-dire au plus tard à la fin de Janvier, donc avec quelque six mois d'avance.

En outre, la relation entre $(Hn_i + 1 - Hn_i)$ et Qx_i du graphique 4-6a permet de supputer un an à l'avance, en fonction de la probabilité de non dépassement des débits de crue du CHARI, les risques pour que l'étiage tombe au-dessous de tel ou tel niveau. Au cas où le lac tendrait vers un nouvel assèchement aussi sensible que celui des années 1906 à 1908, de telles évaluations faites un an à l'avance seraient précieuses pour prendre en temps utile les mesures nécessaires pour parer aux conséquences éventuelles d'un arrêt plus ou moins complet de la navigation.

La prévision des crues du Lac peut être établie à quelque 10 cm près en utilisant les relations :

$$Hx_i = f'(Hn_i) \quad \text{et} \quad \Delta Hx_i = g'(Qx_i)$$

du graphique 4-1, mais le délai de la prévision est généralement inférieur à deux mois puisqu'il faut connaître le débit de la pointe de crue du CHARI qui arrive à FORT-LAMY en Octobre ou plus souvent en Novembre.

Pour augmenter d'environ trois semaines le délai de la prévision du maximum du lac, sans perdre trop de précision, on peut, comme l'a suggéré B.BILLON (1), faire intervenir les débits de pointe du CHARI à FORT-ARCHAMBAULT ($Q'x$) et du BAHR SARA à MANDA ($Q''x$), compte tenu du fait que les débits de crue du LOGONE inférieur sont sensiblement constants d'une année à l'autre à cause de ses débordements et que les crues des autres branches du CHARI

(1) Voir "La prévision des crues du Lac TCHAD" de B. BILLON - ORSTOM, Centre de FORT-LAMY - Fév. 1965 -

sont relativement peu importantes. On a dans ce cas intérêt à considérer la montée du lac non pas à partir du minimum précédent, mais à partir d'une date de référence fixée au 1er Octobre. Le niveau du lac à cette date est désigné par H_r .

Le tableau n°4-II rassemble toutes les données d'observation permettant d'étudier la relation entre $(H_x - H_r)$ et $(Q'_x + Q''_x)$. Le graphique 4-7 montre que cette relation est assez étroite; les écarts des points d'observation par rapport à la courbe moyenne adoptée sont en moyenne inférieurs à 5 cm et n'excèdent jamais 12 cm. Une correction en fonction de H_r permet d'ailleurs de réduire quelque peu ces écarts. Cette relation permet de prévoir le niveau de la crue du lac dans le courant d'Octobre ou au plus tard début Novembre, c'est-à-dire en général de deux à trois mois à l'avance.

Des prévisions nettement moins précises, mais non dénuées d'intérêt dans certains cas critiques, peuvent être établies beaucoup plus longtemps à l'avance en utilisant la relation $H_{x_i} = f'(H_{n_i})$ du graphique 4-1. Il suffit de connaître la valeur de H_{n_i} , laquelle peut être soit observée directement en Juillet, soit elle-même prédéterminée à partir de $H_{x_{i-1}}$ et $Q_{x_{i-1}}$. L'erreur maximale à craindre est d'environ 50 cm, mais une correction aléatoire peut être évaluée par la relation $H_{x_i} = g'(Q_{x_i})$ en tenant compte de la fréquence de dépassement de Q_{x_i} (voir Monographie du CHARI). On peut ainsi avec une approximation raisonnable supputer près d'un an à l'avance les risques de voir la crue du lac atteindre tel ou tel niveau jugé dangereux.

On ne devra pas oublier que toutes les prévisions dont il a été question ici se rapportent à des hauteurs d'eau "lissées". Or les hauteurs d'eau réellement observées montrent toujours des fluctuations non négligeables par rapport aux limnigrammes lissés, comme on l'a vu au chapitre 3. Rappelons que la fluctuation maximale que l'on peut observer une fois tous les dix ans en Décembre ou Janvier a été évaluée à 20 cm en moyenne pendant 24 heures et à 25 cm pendant une heure ou deux (non compris l'effet de la houle).

LAC TCHAD

Prévision de la crue du lac en fonction du débit maximal du Chari à Fort-Archambault (Q'_x) et du Bahr-Sara à Manda (Q''_x)

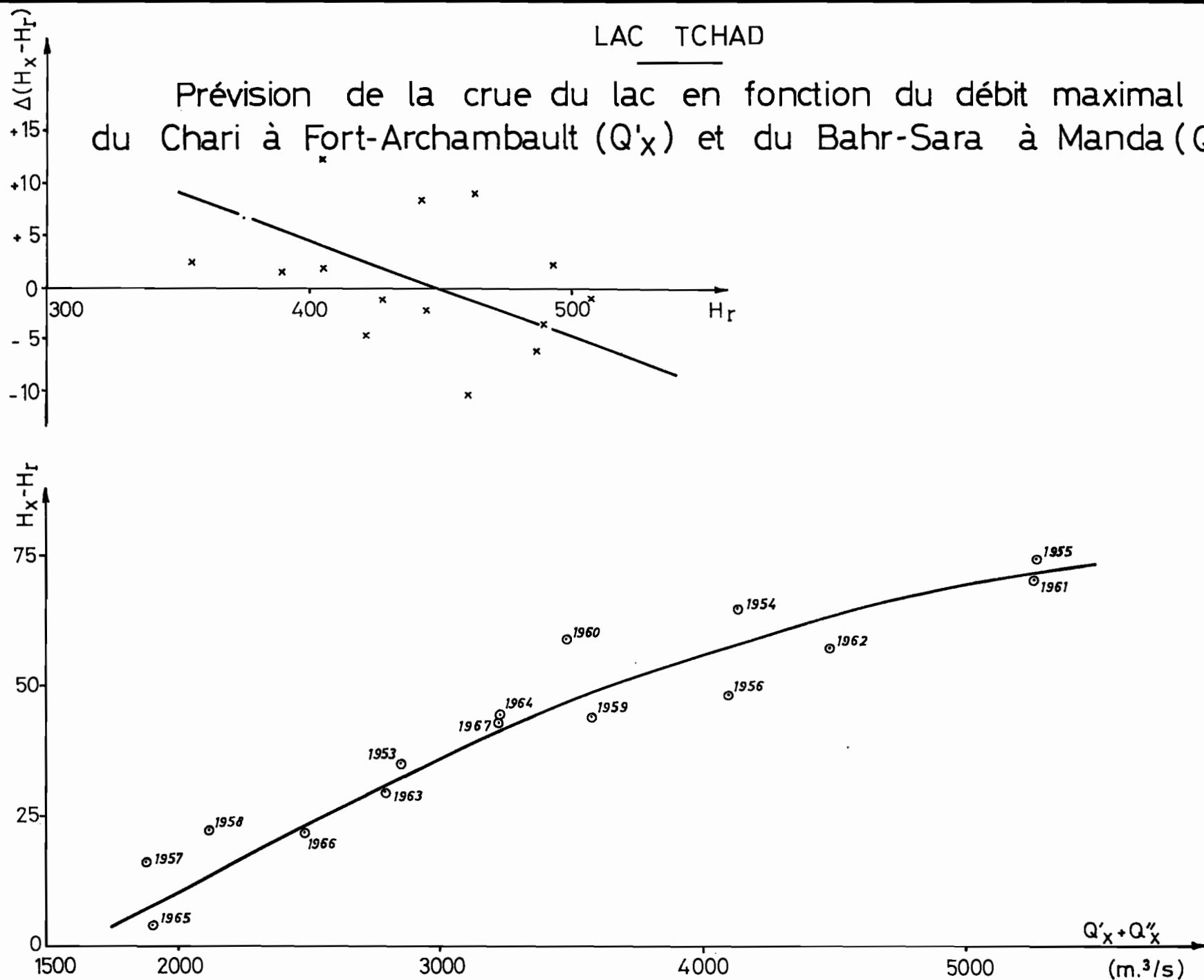


Fig-4.7

TABLEAU n° 4-II

RELATION ENTRE la MONTEE du LAC à PARTIR du 1er OCTOBRE
et la SOMME des DEBITS de CRUE de FORT-ARCHAMBAULT et MANDA

: Année :	Hx :	Hr :	Hx - Hr :	Q ¹ x :	Q ² x :	:Q ¹ x + Q ² x :
1953-1954	390	355	35	1 440	1 410	2 850
1954-1955	440	375	65	1 470	2 660	4 130
1955-1956	479	405	74	1 590	3 670	5 260
1956-1957	509	461	48	1 460	2 640	4 100
1957-1958	479	463	16	626	1 260	1 885
1958-1959	465	443	22	623	1 490	2 115
1959-1960	465	421	44	987	2 590	3 575
1960-1961	464	405	59	1 130	2 350	3 480
1961-1962	515	445	70	2 090	3 170	5 260
1962-1963	545	487	58	1 640	2 840	4 480
1963-1964	537	507	30	960	1 830	2 790
1964-1965	537	493	44	1 270	1 960	3 230
1965-1966	493	489	04	590	1 320	1 910
1966-1967	450	428	22	786	(1 700)	2 485
1967-1968	433	(390)	43	1 080	2 150	3 230

Hr = hauteur d'eau nette du Lac (à l'échelle de BOL) le 1er Octobre
de l'année hydrologique considérée -

Q¹x = Débit de pointe de la crue du CHARI à FORT-ARCHAMBAULT
(en m³/s) -

Q²x = Débit de pointe de la crue du BAHR SARA à MANDA -

4.2. - RECONSTITUTION des CRUES et ETIAGES du LAC

4.2.1 - Les relations précédentes permettent en principe de reconstituer les niveaux de crues et d'étiages du lac pour les années où ces niveaux n'ont pas été observés mais où l'on connaît au moins approximativement les débits de crue du CHARI à FORT-LAMY. En 1967, B. BILLON dans une note inédite a fait une tentative intéressante dans ce sens en s'appuyant, comme A. BOUCHARDEAU l'avait déjà fait dans la première monographie du lac, sur une corrélation entre les débits du CHARI et ceux du NIL. Nous avons fait une nouvelle tentative en nous inspirant largement des idées originales de B. BILLON. Comme on va le voir, cette tentative aboutit à des résultats peu rigoureux mais non dénués d'intérêt.

4.2.2 - Corrélation CHARI - NIL

Le NIL est le fleuve africain sur lequel on dispose des données d'observation les plus anciennes. On connaît notamment avec une bonne précision les volumes annuels écoulés à ASSOUAN depuis 1870 jusqu'à 1958. On pouvait penser a priori qu'il existait une certaine parenté entre les régimes du NIL et du CHARI puisque leurs bassins sont contigus et sont soumis en grande partie à un climat tropical assez similaire. On a donc recherché s'il existait une corrélation entre les débits de crue (y) du CHARI à FORT-LAMY (connus de 1932 à 1958) et les apports annuels (x) du NIL à ASSOUAN.

Les calculs de corrélation sont condensés dans le tableau n°4-III. Sans être très étroite, la corrélation apparaît nettement significative avec un coefficient de 0,72 (le test de STUDENT donne un coefficient de 0,48 pour un niveau de signification de 0,01). La droite de régression de y en x est donnée par l'équation :

$$y = 48,4 \ x - 481$$

On en a déduit les valeurs approximatives des débits de crue du CHARI à FORT-LAMY depuis 1870 jusqu'à 1931, valeurs qui sont données dans le tableau n° 4-IV.

Corrélation entre les débits de crue
du Chari à Fort-Lamy
et les apports annuels du Nil à Assouan

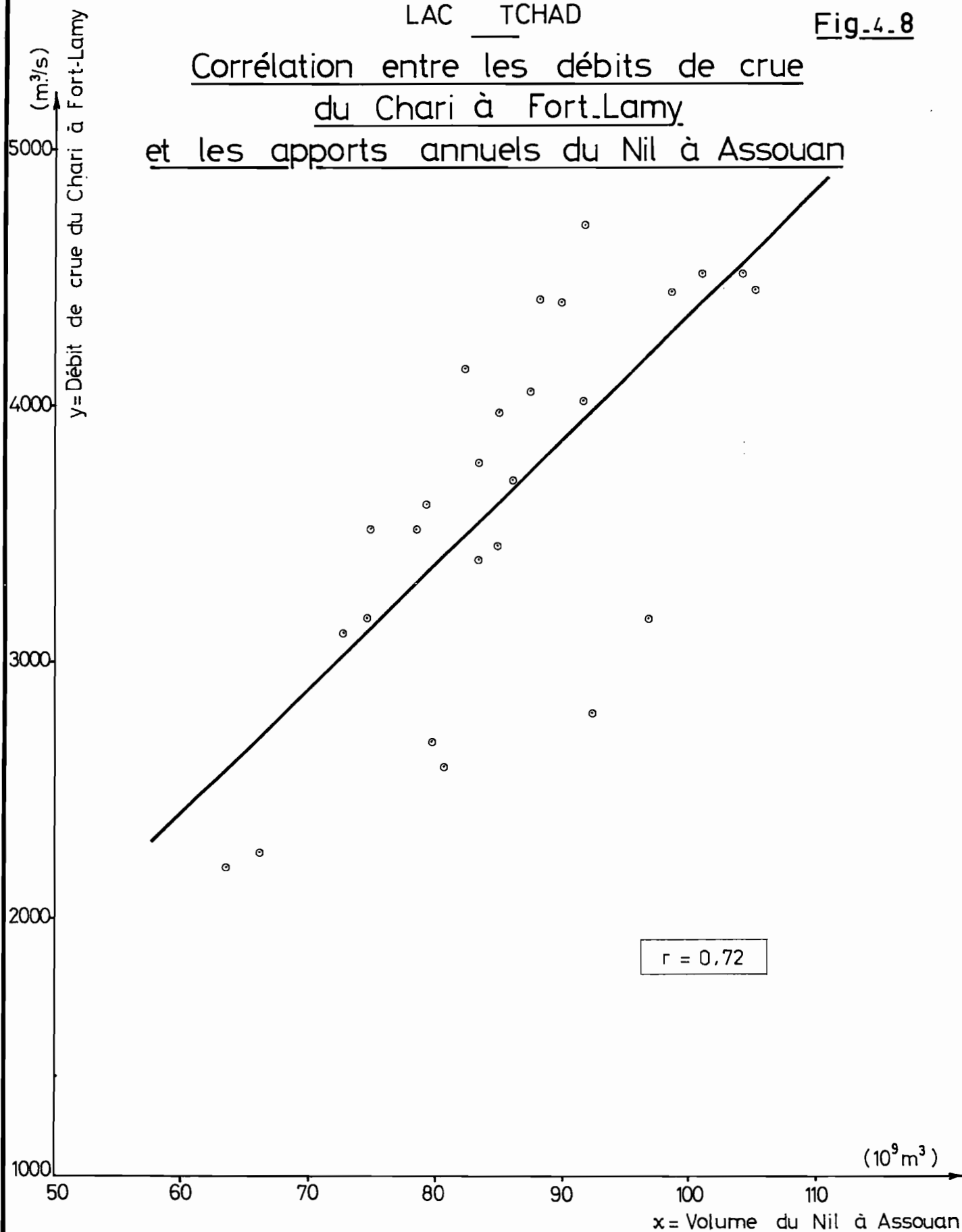


TABLEAU n° 4-III

CORRELATION entre les DEBITS de CRUE du CHARI à FORT-LAMY (y)
et les APPORTS ANNUELS du NIL à ASSOUAN (x)

: Année :	: Apports : Débit max :	
: : ASSOUAN : FORT-LAMY :		
: : $10^9 \text{ m}^3/\text{an} :$ $\text{m}^3/\text{s} :$		
: 1932 :	85,0 : 3 970 :	
: 1933 :	82,4 : 4 140 :	
: 1934 :	91,6 : 4 020 :	
: 1935 :	96,9 : 3 170 :	
: 1936 :	88,2 : 4 410 :	
: 1937 :	80,6 : 2 590 :	
: 1938 :	101,0 : 4 500 :	
: 1939 :	75,0 : 3 520 :	
: 1940 :	66,1 : 2 260 :	
: 1941 :	63,4 : 2 190 :	
: 1942 :	83,3 : 3 400 :	
: 1943 :	79,3 : 3 610 :	
: 1944 :	72,7 : 3 120 :	
: 1945 :	78,5 : 3 520 :	
: 1946 :	104,0 : 4 510 :	
: 1947 :	86,0 : 3 710 :	
: 1948 :	87,4 : 4 050 :	
: 1949 :	84,8 : 3 450 :	
: 1950 :	89,9 : (4 400) :	
: 1951 :	74,4 : 3 170 :	
: 1952 :	74,9 : 3 520 :	
: 1953 :	83,3 : 3 780 :	
: 1954 :	105,0 : 4 450 :	
: 1955 :	91,8 : 4 700 :	
: 1956 :	98,6 : 4 440 :	
: 1957 :	79,7 : 2 690 :	
: 1958 :	92,3 : 2 800 :	

$$\begin{aligned}
 N &= 27 \\
 \sum x &= 2\,296 & \sum y &= 98\,090 \\
 \bar{x} &= 85,04 & \bar{y} &= 3\,633 \\
 \sum x^2 &= 198\,214 & \sum y^2 &= 369\,706\,000 \\
 \sum xy &= 8\,484\,963
 \end{aligned}$$

$$k = \frac{\sum xy - \frac{1}{N} \sum x \cdot \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2} = 48,4$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2}{N - 1}} = 10,7$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2 - \frac{1}{N} (\sum y)^2}{N - 1}} = 717,0$$

$$r = k \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0,72$$

Droite de régression :

$$y = 48,4 x - 481$$

TABLEAU n° 4-IV

DEBITS de CRUE du CHARI à FORT-LAMY

DETERMINEES par CORRELATION avec les APPORTS ANNUELS du NIL à ASSOUAN

Année	Apports NIL (10 ⁹ m ³ /an)	Crue CHARI (m ³ /s)	Année	Apports NIL (10 ⁹ m ³ /an)	Crue CHARI (m ³ /s)
1870	128,2	5 720	1900	84,0	3 580
1871	112,0	4 940	1901	87,4	3 750
1872	116,0	5 130	1902	69,4	2 880
1873	96,3	4 180	1903	94,0	4 070
1874	121,0	5 380	1904	82,7	3 520
1875	116,0	5 130	1905	70,1	2 980
1876	116,0	5 130	1906	91,7	3 960
1877	81,3	3 450	1907	69,0	2 860
1878	123,0	5 470	1908	102,0	4 460
1879	137,0	6 150	1909	105,0	4 600
1880	114,0	5 040	1910	96,8	4 200
1881	99,5	4 340	1911	82,7	3 520
1882	93,5	4 040	1912	70,9	2 950
1883	111,0	4 890	1913	45,5	1 720
1884	99,4	4 330	1914	84,1	3 590
1885	102,0	4 460	1915	69,2	2 870
1886	96,0	4 160	1916	113,0	4 990
1887	118,0	5 230	1917	111,0	4 890
1888	79,9	3 390	1918	81,0	3 440
1889	95,8	4 160	1919	77,1	3 250
1890	114,0	5 040	1920	82,2	3 500
1891	110,0	4 840	1921	76,5	3 220
1892	121,0	5 380	1922	84,9	3 630
1893	115,0	5 080	1923	86,5	3 710
1894	125,0	5 570	1924	86,4	3 700
1895	126,0	5 620	1925	67,7	2 800
1896	122,0	5 420	1926	84,4	3 600
1897	103,0	4 500	1927	72,9	3 050
1898	110,0	4 840	1928	79,0	3 340
1899	77,4	3 260	1929	103,0	4 500
			1930	73,9	3 100
			1931	77,1	3 250

On remarque que les apports du NIL de 1870 à 1900 sont dans l'ensemble nettement plus élevés que ceux observés depuis 1900. D'après divers témoignages on a de bonnes raisons de penser que l'hydraulicité de toute la zone tropicale boréale de l'Afrique a été à la fin du siècle dernier particulièrement forte. Il reste néanmoins assez étonnant que la moyenne des apports du NIL soit passée de 107.10^9 m^3 pour la période 1870-1901 à 83.10^9 m^3 pour la période 1902-1953, comme l'a fait remarquer M. Abdel Aziz AHMED⁽¹⁾. Celui-ci indique qu'on n'a pas encore trouvé d'explication absolument concluante pour expliquer un tel écart, mais il avance l'hypothèse que la création du premier barrage d'ASSOUAN, qui remonte à 1902, aurait détourné d'importantes quantités d'eaux souterraines qui, autrefois, contribuaient à l'alimentation du fleuve. L'accroissement des débits observés dans les oasis du désert libyen étayerait cette hypothèse. Il est probable que cet effet s'est ajouté à celui d'une diminution d'hydraulicité. Quoi qu'il en soit, nous retiendrons que les débits de crue du CHARI calculés par corrélation avec le NIL sont sans doute pour les années antérieures à 1902 entachés en moyenne d'une erreur par excès qui doit être de l'ordre de 10 à 15 %. Il s'y ajoute évidemment les erreurs propres à l'imperfection de la corrélation⁽²⁾.

4.2.3 - Méthode de reconstitution

La reconstitution peut être faite soit dans le sens chronologique, soit dans le sens inverse en remontant le temps.

Pour opérer dans le sens chronologique, on part d'une année ($i = 0$) pour laquelle on connaît, au moins approximativement, le débit de crue du CHARI Q_{x_0} et le niveau soit du maximum du lac

(1) - Voir "Recent Developments in Nile Control" par A.A. AHMED
Paper n° 6102 - Novembre 1960 -

(2) - NOTA - Selon V.M. YEVDJEVICH cité tout récemment par W.B. LANGBEIN ("Hydrological Bench Marks" - Report n° 8 on WMO/IHD Project), la courbe d'étalonnage du NIL à ASSOUAN a été établie après la construction du barrage. Or la construction de celui-ci aurait eu pour conséquence une érosion du lit à l'aval qui aurait modifié sensiblement les conditions d'écoulement. L'étalonnage adopté s'appliquerait donc mal à la période antérieure à la construction du barrage, ce qui expliquerait l'écart entre les deux séries de débits -

Hx_0 , soit du minimum précédent Hn_0 . Si c'est le maximum que l'on connaît, on utilise les relations :

$$Hn_{i+1} = f(Hx_i) \quad \text{et} \quad \Delta Hn_{i+1} = g(Qx_i)$$

du graphique 4-2 pour déterminer Hn_1 en fonction de Hx_0 et Qx_0 .

Pour l'année suivante ($i = 1$) on utilise les relations

$$Hx_i = f'(Hn_i) \quad \text{et} \quad \Delta Hx_i = g'(Qx_i)$$

du graphique 4-1 pour déterminer Hx_1 en fonction de Hn_1 et de Qx_1 etc... On peut ainsi progresser d'année en année aussi longtemps que l'on connaît les valeurs de Qx_i . Le processus est identique si au départ c'est Hn_0 que l'on connaît à la place de Hx_0 , sauf que l'on utilise en premier lieu les relations f' et g' .

Si l'on doit opérer dans le sens inverse du sens chronologique, on part encore d'une année ($i = 0$) pour laquelle on connaît Qx_0 et Hx_0 (ou Hn_0) et l'on utilise alternativement les fonctions inverses de f' et f pour déterminer successivement Hn_0 , Hx_{-1} , Hn_{-1} , Hx_{-2} etc... sans oublier d'apporter les corrections $\Delta Hn_i = h(Qx_i)$ et $\Delta Hx_i = h'(Qx_i)$.

Le tableau n° 4-V donne à titre d'exemple le détail des calculs effectués sur une vingtaine d'années, en opérant dans le sens chronologique normal à partir de l'année hydrologique 1872-1873 ($Qx_0 = 5\,130$, $Hx_0 = 558$).

4.2.4 - Critique des résultats

On a porté sur la graphique 4-9 l'ensemble des résultats obtenus comme il vient d'être dit en partant du maximum de 1872-1873. On doit noter que les hauts niveaux du lac et les forts débits de crue du CHARI pendant la fin du siècle dernier nous ont obligés à extrapoler hardiment les relations entre Hx , Hn et Qx . Il n'est donc pas très surprenant de constater des écarts de près d'un mètre entre les niveaux ainsi reconstitués et ceux assez rares qui ont pu être déterminés approximativement d'après des documents anciens.

Fig. 4-9

Reconstitution des maximums
et
minimums annuels du lac Tchad

— Reconstitution dans le sens chronologique à partir de 1873, puis 1907
x Niveaux réellement observés ou reconstitués d'après d'anciens documents

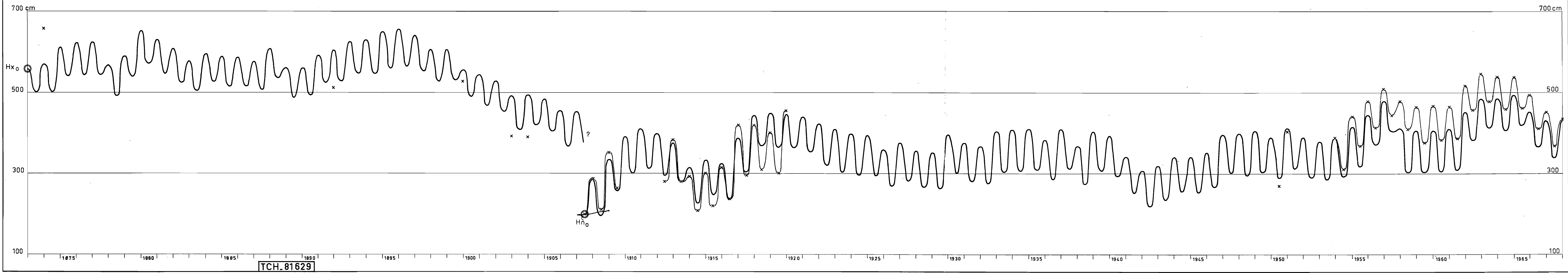


TABLEAU n° 4-V

RECONSTITUTION des MAXIMUMS et MINIMUMS du LAC
(Exemple de calcul pour la période 1872-1892)[illegible]

Dans les premières années du siècle on sait de façon certaine que les niveaux du lac sont au contraire tombés très bas. Il est impossible de reconstituer une baisse aussi importante avec les débits de crue du CHARI tels qu'ils ont été déterminés. La corrélation CHARI - NIL donne certainement de mauvais résultats pour ces années-là. L'écart entre niveau reconstitué et niveau observé atteint, en effet, environ 1,75 m pour l'étiage de Juillet 1907. Pour ne pas faire peser cet écart sur la reconstitution des années suivantes, on a commencé à partir de 1907 une nouvelle série de calculs s'appuyant sur l'étiage réel de cette année-là ($H_{n0} = 200$). La reconstitution jusqu'au maximum de Janvier 1968 paraît, sinon très satisfaisante, du moins acceptable. Pour les années où elle peut être contrôlée par des observations directes, l'écart dépasse assez rarement 60 cm et n'atteint jamais plus d'un mètre. On remarque qu'en 1942 et 1943, le niveau du lac serait **retombé à un niveau** presque aussi bas que celui de l'étiage de 1907, ce qui est confirmé par des témoignages suivant lesquels il a été possible, au cours de ces deux années, de traverser le lac à pied entre BAGA-KAWA et BAGA-SOLA. Il y avait donc probablement moins de 50 cm d'eau sur la Grande Barrière à cette époque-là.

En résumé, le manque de précision des débits de crue du CHARI évalués par corrélation avec les apports du NIL et le caractère peu rigoureux des relations entre H_x , H_n et Q_x extrapolés de façon assez osée, font que nos reconstitutions ne peuvent prétendre donner une image très exacte des variations de niveau depuis 1870. Elles donnent cependant un aperçu intéressant sur l'allure générale des fluctuations du lac au cours des cent dernières années.

4.3 - ETUDE STATISTIQUE des CRUES et des ETIAGES :

4.3.1 - Auto-corrélations des maximums et minimums annuels

Le stock d'eau contenu dans le lac joue un rôle régulateur non négligeable d'une année sur l'autre. Il en résulte que le niveau de crue atteint une année donnée n'est pas totalement indépendant du maximum observé l'année précédente. Il y a un effet de "persistance" qui joue également pour les étiages successifs et qui fait, par exemple, qu'à une crue forte il y a plus de chance de voir succéder l'année suivante une crue forte qu'une crue faible.

Cet effet de persistance peut se caractériser numériquement en calculant le coefficient d'auto-corrélation entre les valeurs de H_{x_i} et $H_{x_i + 1}$. Ce calcul condensé dans le tableau n° 4-VI

TABLEAU n° 4-VI

AUTO-CORRELATION des MAXIMUMS ANNUELS SUCCESSIFS

$x (= Hx_{i-1})$	$y (= Hx_i)$	N	$=$		
287	353	22			
384	293	$\sum x$	$=$	9 585	$\sum y$ = 9 760
293	300	$\bar{x}$	$=$	435	$\bar{y}$ = 443
300	315	$\sum x^2$	$=$	4 311 967	$\sum y^2$ = 4 444 640
315	419	$\sum xy$	$=$	4 358 181	
419	419				
419	400				
400	450				
390	440	k	$=$	$\frac{\sum xy - \frac{1}{N} \sum x \cdot \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2}$	$= 0,779$
440	479				
479	509				
509	479				
479	465	σ_x	$=$	$\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2}{N - 1}}$	$= 80,5$
465	465				
465	464				
464	515				
515	545	σ_y	$=$	$\sqrt{\frac{\sum y^2 - \frac{1}{N} (\sum y)^2}{N - 1}}$	$= 73,9$
545	537				
537	537				
537	493				
493	450				
450	433	r	$=$	$k \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$	$= 0,848$

- Droite de régression de y en x : $y = \bar{y} + k (x - \bar{x})$ $= 0,779 x + 104$

- Intervalle à 50 % : $y = \bar{y} + k (x - \bar{x}) \pm \frac{2}{3} \sigma_y \sqrt{1 - r^2}$ $= 0,779 x + \begin{pmatrix} 78 \\ 130 \end{pmatrix}$

- Intervalle à 90 % : $y = \bar{y} + k (x - \bar{x}) \pm 2 \sigma_y \sqrt{1 - r^2}$ $= 0,779 x + \begin{pmatrix} 26 \\ 182 \end{pmatrix}$

conduit à un coefficient de corrélation $r = 0,85$ qui est très significatif. (Le test de STUDENT pour un niveau de signification de 0,05 donne un coefficient de corrélation de 0,42). Le graphique 4-10 montre la droite de régression de $Hx_i + 1$ en Hx_i , ainsi que les droites encadrant les intervalles de confiance à 50 et 95 %. On voit, par exemple, que pour une crue de 500 cm il y a 50 chances sur 100 que la crue suivante soit comprise entre 467 et 519 cm et 95 chances sur 100 qu'elle soit comprise entre 415 et 572 cm.

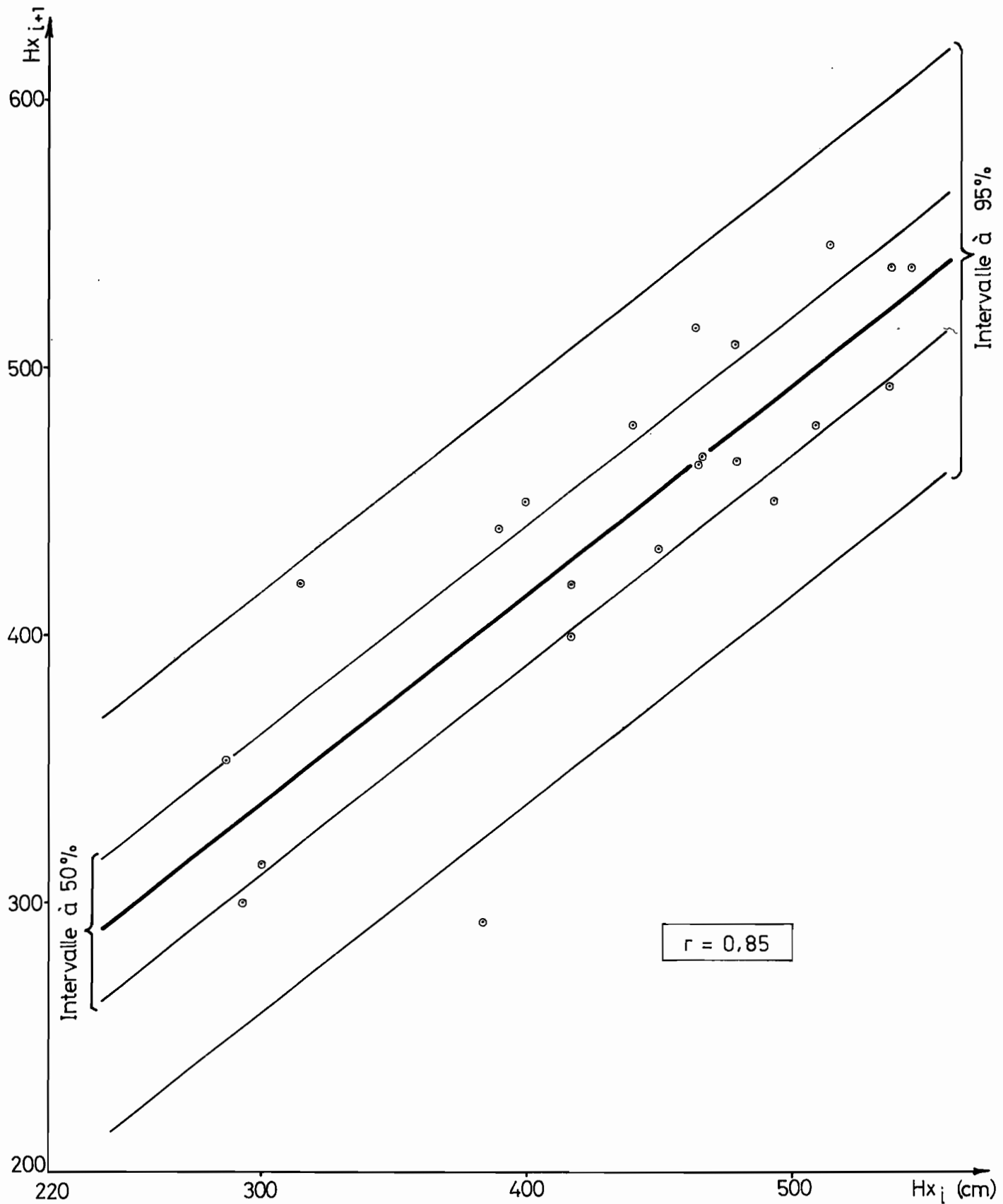
Les maximums du lac sur deux années consécutives sont liés aux apports de deux crues annuelles du CHARI. La différence entre deux minimums consécutifs du lac est liée assez étroitement, comme on l'a vu précédemment (4.1.6), aux apports d'une seule crue du CHARI. On peut donc s'attendre à ce que l'auto-corrélation des étiages du lac soit encore plus serrée que celle de ses crues. Le calcul (tableau 4-VII et graphique 4-11) montre, en effet, que le coefficient d'auto-corrélation s'élève à 0,91 au lieu de 0,85.

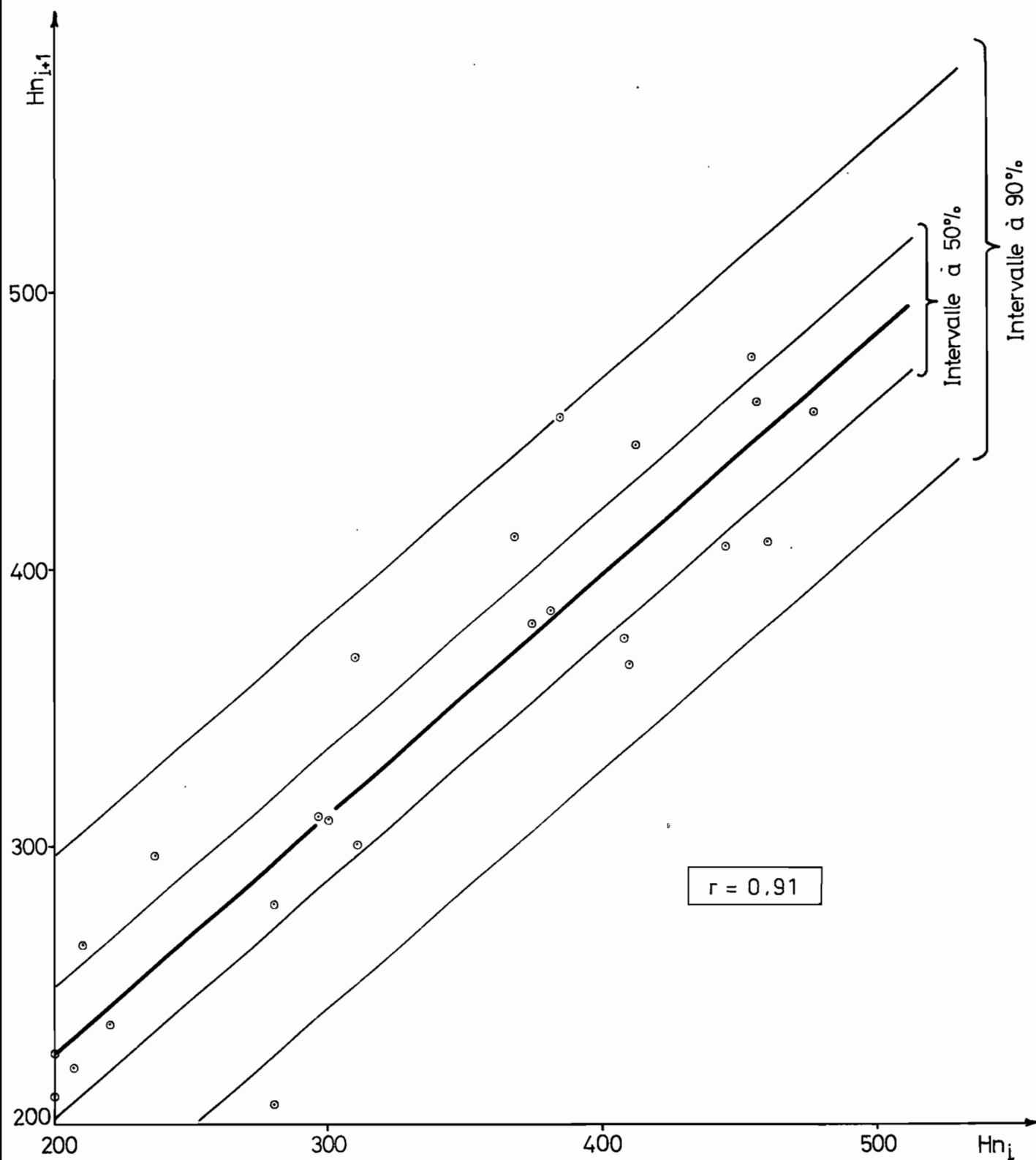
4.3.2 - Loi de fréquence des maximums et minimums

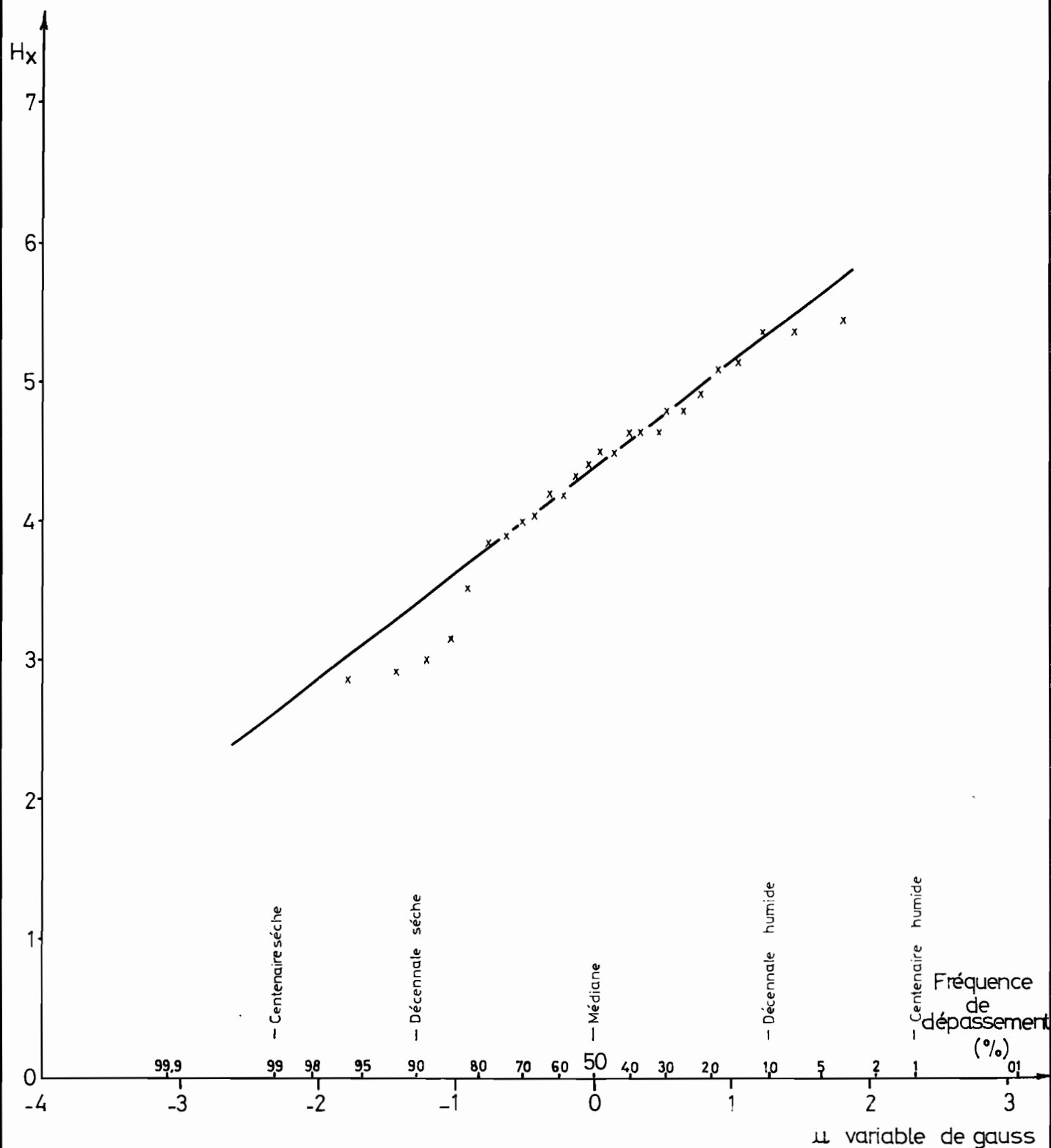
Sur une série d'observations suffisamment longue, il n'est pas impossible, en faisant totalement abstraction de l'ordre de succession chronologique, de considérer l'effet de persistance comme un facteur aléatoire supplémentaire qui intervient dans la genèse des crues et des étiages du lac. On peut donc tenter à leur sujet une étude classique de distribution dont les calculs sont condensés dans les tableaux 4-VIII & 4-IX, lesquels ont permis d'établir en coordonnées gaussio-linéaires les graphiques de fréquence 4-12 et 4-13.

Le premier de ces graphiques montre que l'on peut ajuster une droite de GAUSS aux hauteurs de crues observées. L'ajustement est très satisfaisant pour les crues comprises entre 380 et 535 cm. Il l'est moins pour les crues situées au-dessus et surtout en dessous de cet intervalle, mais la dispersion des valeurs extrêmes est un fait habituel, sans doute un peu aggravé dans le cas présent par l'effet de persistance.

Auto-corrélation des maximums annuels successifs



Auto-corrélation des minimums annuels successifs

Distribution statistique des maximums annuels

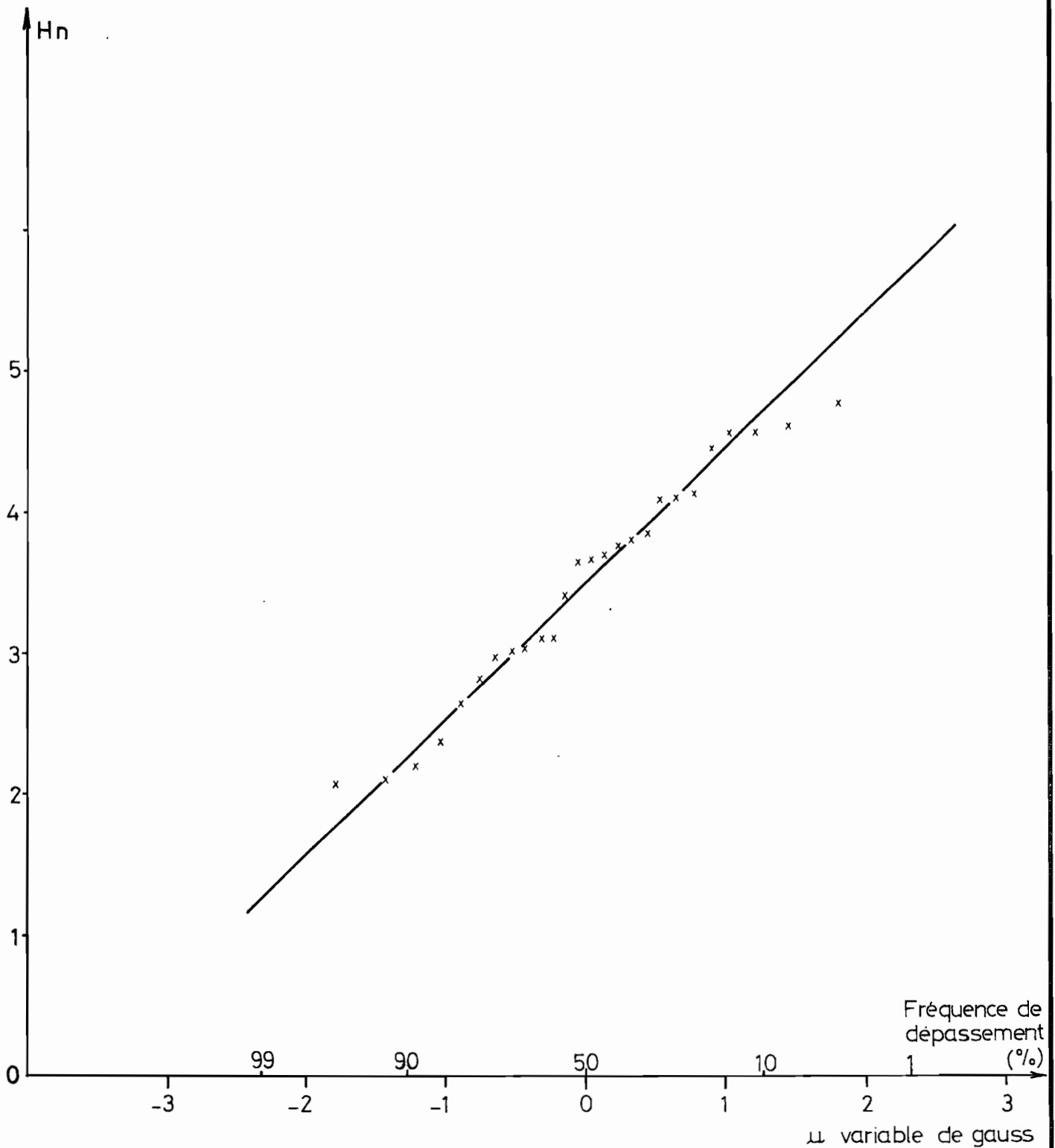
Distribution statistique des minimums annuels

TABLEAU n° 4-VII

AUTO-CORRELATION des MINIMUMS ANNUELS SUCCESSIFS

: x (= Hn _i) : y (= Hn _{i+1}) :					
: 200	: 210				
: 210	: 265	: N	=	23	
: 280	: 280	: $\sum x$	=	7 884	: $\sum y$ = 8 036
: 280	: 207	: $\bar{x}$	=	343	: $\bar{y}$ = 349
: 207	: 220	: $\sum x^2$	=	2 885 498	: $\sum y^2$ = 2 971 880
: 220	: 237	: $\sum xy$	=	2 912 694	
: 237	: 297				
: 297	: 310				
: 310	: 301				
: 300	: 310				
: 310	: 368				
: 368	: 412	: k	=	0,864	
: 412	: 445	: σ_x	=	91,2	
: 445	: 408	: σ_y	=	86,4	
: 408	: 375	: r	=	0,912	
: 375	: 381				
: 381	: 385				
: 385	: 455				
: 455	: 477				
: 477	: 457				
: 457	: 460				
: 460	: 410				
: 410	: 366				

- Droite de régression y en x : y = 0,864 x + 52,5

- Intervalle à 50 % : y = 0,864 x + $\begin{pmatrix} 76,1 \\ 28,9 \end{pmatrix}$

- Intervalle à 90 % : y = 0,864 x + $\begin{pmatrix} 123,3 \\ 18,3 \end{pmatrix}$

TABLEAU n° 4-VIII

FREQUENCE des MAXIMUMS ANNUELS

Rang :		Hx :	Fréquen-	Variable:	Rang :		Hx :	Fréquen-	Variable:
clas-	Année :	(cm)	ce dépas-	de	clas-	Année :	(cm)	ce dépas-	de
sement :			sement :	GAUSS	sement :			sement :	GAUSS
r :			F (%) :	u	r :			F (%) :	u
1	1962-1963	545	3,7	1,79	14	1954-1955	440	51,9	- 0,05
2	1963-1964	537	7,4	1,45	15	1967-1968	433	55,5	- 0,14
3	1964-1965	537	11,1	1,22	16	1916-1917:(419)	59,2	- 0,23	
4	1961-1962	515	14,8	1,04	17	1917-1918:(419)	63,0	- 0,33	
5	1956-1957	509	18,5	0,90	18	1950-1951:(405)	66,7	- 0,43	
6	1965-1966	493	22,2	0,76	19	1918-1919:(400)	70,4	- 0,53	
7	1955-1956	479	25,9	0,65	20	1953-1954	390	74,1	- 0,65
8	1957-1958	479	29,6	0,53	21	1912-1913:(384)	77,8	- 0,76	
9	1958-1959	465	33,3	0,43	22	1908-1909:(353)	81,5	- 0,90	
10	1959-1960	465	37,0	0,33	23	1915-1916:(315)	85,2	- 1,04	
11	1960-1961	464	40,8	0,23	24	1914-1915:(300)	88,9	- 1,22	
12	1966-1967	450	44,5	0,14	25	1913-1914:(293)	92,6	- 1,45	
13	1919-1920:(450)	48,1	0,05		26	1907-1908:(287)	96,3	- 1,79	

$$F \% = \frac{r}{N + 1} \times 100$$

$$N = 26$$

TABLEAU n° 4-IX

FREQUENCE des MINIMUMS ANNUELS

: Rang :	:	: Hn :	:Fréquen-:Variable:	:	: Rang :	:	: Hn :	:Fréquen-:Variable:	:
: clas- : : sement :	: Année :	: (cm) :	: ce dépas- : : sement : : F (%) :	: de : : GAUSS : : u :	: clas- : : sement :	: Année :	: (cm) :	: ce dépas- : : sement : : F (%) :	: de : : GAUSS : : u :
1	1963	477	3,7	1,79	14	1920	((363))	51,9	- 0,05
2	1965	460	7,4	1,45	15	1968	((340))	55,5	0,14
3	1964	457	11,1	1,22	16	1918	(310)	59,2	0,23
4	1962	455	14,8	1,04	17	1954	310	63,0	0,33
5	1957	445	18,5	0,90	18	1951	((305))	66,7	0,43
6	1956	(412)	22,2	0,76	19	1919	(301)	70,4	0,53
7	1966	(410)	25,9	0,65	20	1917	(297)	74,1	0,65
8	1958	408	29,6	0,53	21	1913	(280)	77,8	0,76
9	1961	385	33,3	0,43	22	1909	(265)	81,5	0,90
10	1960	381	37,0	0,33	23	1916	(237)	85,2	1,04
11	1959	375	40,8	0,23	24	1915	(220)	88,9	1,22
12	1955	368	44,5	0,14	25	1908	(210)	92,6	1,45
13	1967	366	48,1	0,05	26	1914	(207)	96,3	1,79

$$F \quad \% \quad = \quad \frac{r}{N + 1} \quad \times \quad 100$$

$$N \quad = \quad 26$$

L'ajustement de GAUSS conduit aux résultats suivants :

- Crue médiane	(F = 50 %)	=	440	cm
- Crue décennale sèche	(F = 90 %)	=	340	cm
- Crue centenaire sèche	(F = 99 %)	=	265	cm
- Crue décennale humide	(F = 10 %)	=	535	cm
- Crue centenaire humide	(F = 1 %)	=	615	cm

On notera qu'à 30 ou 40 cm près les hauteurs de crues centenaires sèche et humide correspondent au plus bas niveau (293 cm en Novembre 1907) et au plus haut niveau (658 cm en 1874) des crues qui ont pu être reconstituées depuis une centaine d'années (d'après les données du tableau 3-I au paragraphe 3.4). On pouvait difficilement espérer une meilleure concordance étant donné la petite taille de l'échantillon des crues directement observées et l'imprécision des reconstitutions anciennes.

Sur le graphique 4-13 relatif aux minimums annuels, l'effet de persistance apparaît plus nettement que sur le graphique précédent et la répartition des points est de ce fait plus discontinue. On peut cependant leur ajuster une droite de GAUSS dans des conditions encore assez satisfaisantes. Cette droite conduit aux résultats suivants :

- Fréquence	50 %	=	350	cm
- Fréquence	90 %	=	230	cm
- Fréquence	99 %	=	130	cm
- Fréquence	10 %	=	475	cm
- Fréquence	1 %	=	570	cm

En fait, il semble bien que l'extrapolation de la droite de GAUSS vers les fréquences extrêmes conduise à des niveaux légèrement trop hauts pour les étiages très humides et beaucoup trop bas pour les étiages très secs. Le plus faible étiage reconstitué depuis une centaine d'années a été de 200 cm en Juillet 1907 et l'on peut raisonnablement penser que l'étiage centenaire sec n'est guère inférieur à cette valeur. D'ailleurs, si l'on utilise

la relation entre $H_{n_i} + 1$ et H_{x_i} du graphique 4-2, on peut à partir des crues de diverses fréquences, déterminer approximativement les étiages de même fréquence. On obtient des résultats qui paraissent très vraisemblables et que nous adopterons de préférence à ceux donnés ci-dessus :

- Etiage médian	:	350 cm
- Etiage décennal sec	:	235 cm
- Etiage centenaire sec	:	195 cm
- Etiage décennal humide	:	455 cm
- Etiage centenaire humide	:	565 cm

4.3.3 - Eventualité des maximums et des minimums annuels

On sait déjà que le maximum et le minimum du lac se produisent tous les ans à des saisons bien déterminées. Nous allons maintenant examiner plus en détail leur fréquence d'apparition au cours de ces saisons.

Le graphique 4-14a montre à quelles dates se sont produits les 20 maximums annuels qui ont été observés avec suffisamment de précision. On remarque que ces maximums se sont prolongés sur des périodes variant entre 1 et 15 jours, avec une valeur moyenne de 6 jours. Sur le graphique 4-14a le milieu de chaque période a été figuré par un point que nous considérerons comme la date du maximum pour simplifier notre étude.

Les maximums observés sont tous compris entre le 22 Novembre et le 27 Janvier. Sur un total de 25 maximums, 6 se sont produits en Novembre, 12 en Décembre et 7 en Janvier. L'histogramme mensuel présente donc une pointe très nette en Décembre, mois pour lequel la fréquence d'apparition de la crue annuelle est proche de 50 % (graphique 4-14b).

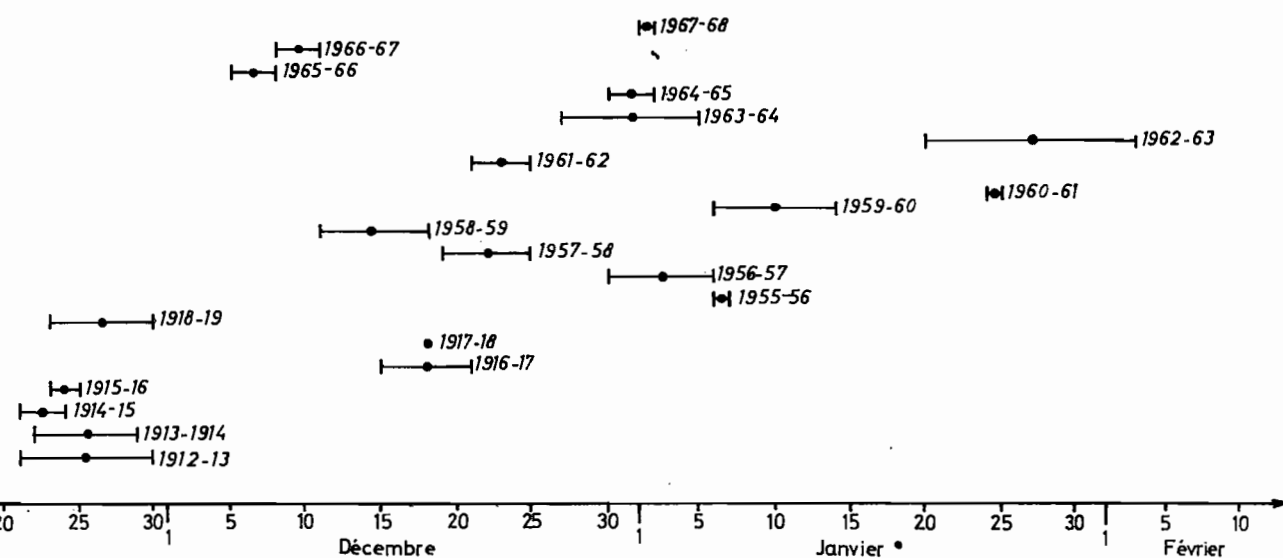
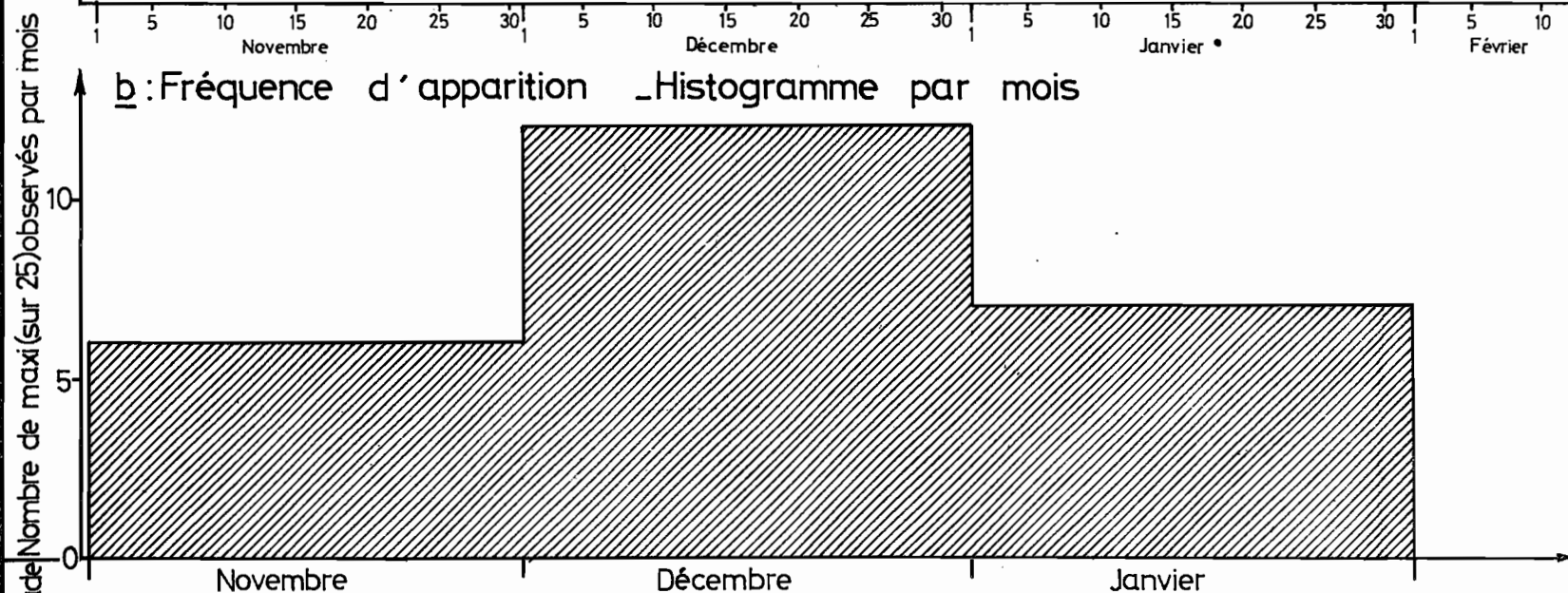
Un histogramme plus détaillé peut être établi par décades en s'appuyant sur les 20 années dont la date du maximum est exactement connue. Cet histogramme présente assez curieusement deux pointes qui encadrent le mois de Décembre : 25 % des maximums se situent en effet dans la décade 20-30 Novembre (tous relatifs à la période 1912-1918) et 25 % également dans la décade 30 Décembre - 9 Janvier. L'histogramme présente une pointe secondaire entre le 10 et le 20 Décembre, décade où apparaissent 15 % des maximums observés.

La date du maximum du lac dépend de celle de la pointe de la crue du CHARI à FORT-LAMY et de l'importance de cette crue, mais il n'est pas possible d'établir une relation bien définie entre ces différents éléments. On peut seulement dire qu'en gros le maximum du lac est d'autant plus tardif que la crue du CHARI est elle-même tardive et que son débit est élevé.

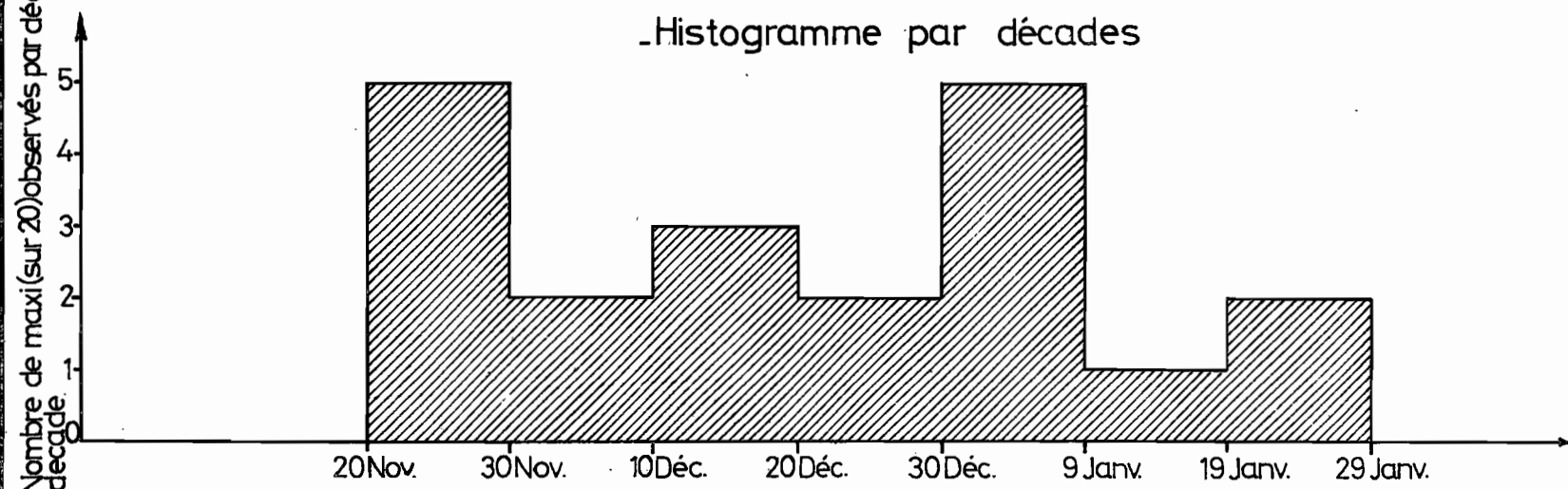
Le graphique 4-15 est analogue au précédent mais se rapporte aux minimums annuels. Ceux-ci se produisent toujours entre la fin de Juin et le début d'Août. Sur les limnigrammes "lissés" le minimum absolu se prolonge chaque année sur une période qui varie entre 1 et 13 jours et dure en moyenne 4,5 jours. Si l'on adopte comme date du minimum de chaque année le milieu de cette période, on constate que les dates extrêmes des étiages observés sont comprises entre le 26 Juin et le 6 Août. L'histogramme mensuel montre que sur 25 étiages, un seul s'est produit en Juin, 22 en Juillet et 2 en Août. Il y a donc à peu près 90 chances sur 100 pour que l'étiage apparaisse en Juillet.

Si l'on ne retient que les minimums annuels dont la date est connue avec précision, on peut établir un histogramme par période de cinq jours. Celui-ci a une forme assez régulière avec une pointe entre le 15 et le 20 Juillet. On constate que 70 % des étiages absolus se situent entre le 10 et le 30 Juillet.

La date du minimum annuel dépend des débits journaliers du CHARI de la fin Juin au début d'Août, ainsi que des précipitations qui tombent directement sur le lac, mais là encore il n'est pas possible d'établir une relation bien définie. On note seulement qu'à la date du minimum du lac le débit du CHARI à FORT-LAMY est compris entre 250 et 900 m³/s.

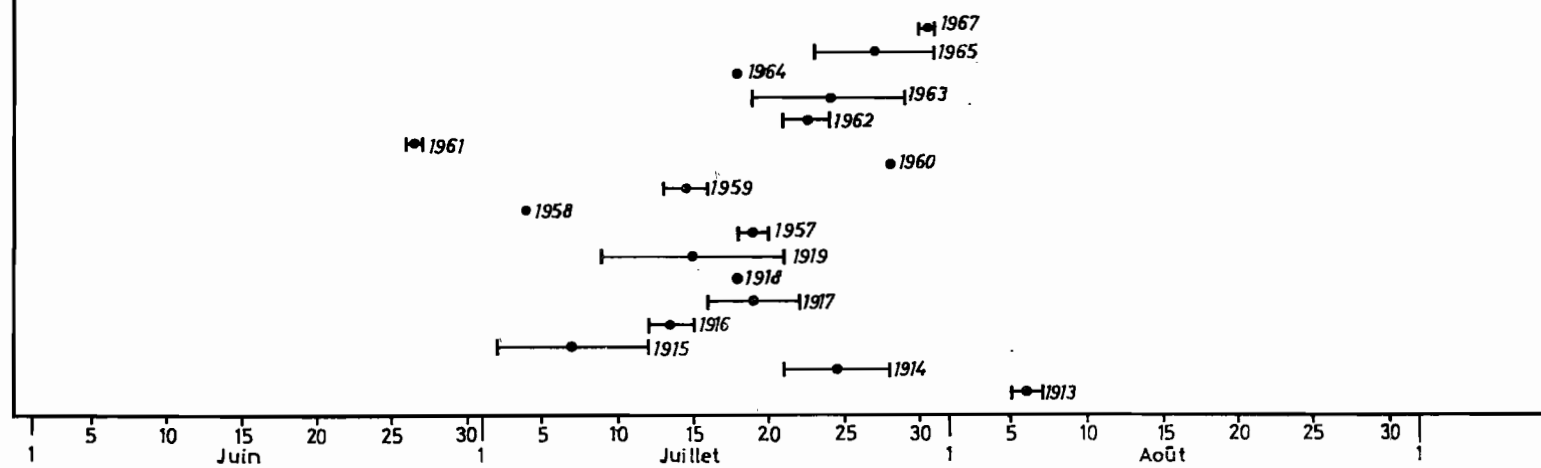
Eventualités des maximums annuelsa: Dates des maximums annuels observés.b: Fréquence d'apparition - Histogramme par mois

-Histogramme par décades

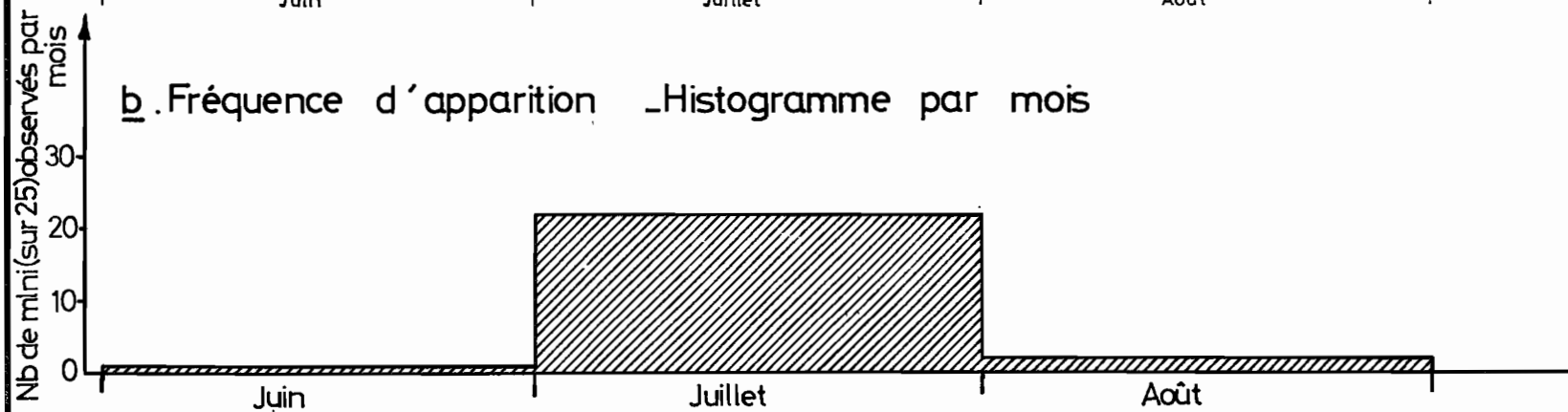


Eventualités des minimums annuels

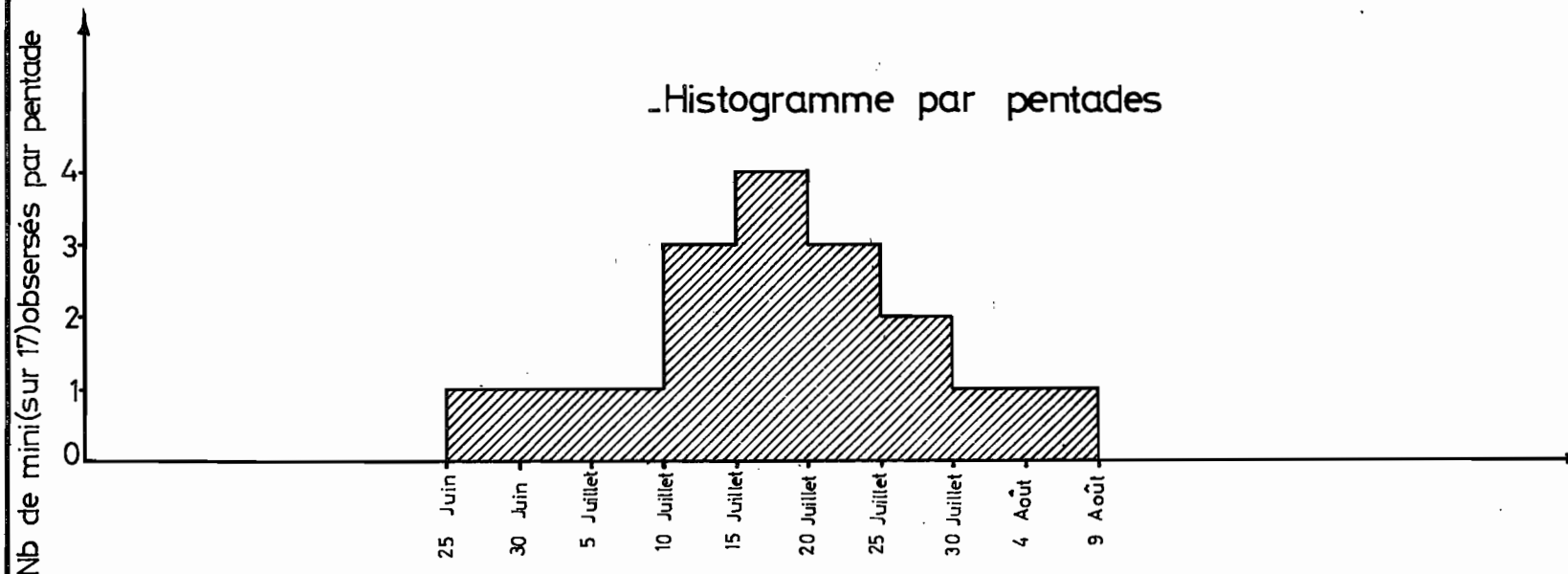
a: Dates des minimums annuels observés



b: Fréquence d'apparition - Histogramme par mois



- Histogramme par pentades



CHAPITRE 5

Le BILAN HYDROLOGIQUE

5.1 - EVALUATION des DIFFERENTS TERMES du BILAN

Le niveau du Lac résulte à chaque instant d'un équilibre entre :

- les quantités d'eau qui entrent dans le lac : débit total q des tributaires et précipitations p tombant à la surface du lac;
- les quantités d'eau qui sortent du lac : évaporation e et pertes par infiltration f ;
- la variation du stock d'eau contenu dans le lac : $\frac{dv}{dt}$ ou $S \cdot \frac{dH}{dt}$.

L'équation du bilan hydrologique traduit l'équilibre entre ces différents termes et s'écrit :

$$q + p = e + f + S \cdot \frac{dH}{dt}$$

Cette équation permet en principe d'évaluer à chaque instant les débits sortants ($e + f$) à partir des débits entrants et des variations de niveau du lac. Pratiquement, nous intégrerons l'équation du bilan sur des périodes mensuelles et nous diviserons tous les termes par S , ce qui revient à exprimer les débits entrants et sortants en lames d'eau réparties sur la surface du lac. Compte tenu des unités employées, l'équation du bilan que nous utiliserons sera alors la suivante :

$$8,64 \, n \, \frac{Q}{S} + P = E + F + DH$$

avec les notations ci-après :

- Q : débit mensuel total des tributaires (m^3/s);
S : surface moyenne du lac (km^2) pendant le mois considéré;
n : nombre de jours dans le mois considéré;
P : précipitations moyennes mensuelles sur le lac (cm);
E : évaporation moyenne mensuelle à la surface du lac (cm);
F : pertes mensuelles par infiltration rapportées à la surface du lac (cm);
DH : variation de niveau du lac pendant le mois considéré (cm).

Parmi les différents termes de l'équation du bilan hydrologique, certains ont déjà été évalués dans les chapitres précédents ou se déterminent aisément.

La surface S, comme on l'a vu au paragraphe 1-3, est liée au niveau du lac par la relation :

$$S = 48 (H - 13)$$

On admettra que la surface moyenne pendant le mois considéré correspond à la moyenne des hauteurs d'eau relevées au début et à la fin du mois en question.

Les précipitations moyennes mensuelles sur le lac ont été déterminées au paragraphe 2.7.7.

Les variations mensuelles du niveau du lac se calculent immédiatement d'après les données du paragraphe 3.6.

En ce qui concerne les débits mensuels des tributaires, on connaît bien ceux du CHARI à FORT-LAMY depuis une trentaine d'années (voir Monographie du CHARI), mais on n'a que des données très fragmentaires sur les autres cours d'eau qui se jettent dans le lac TCHAD. On sait cependant que les apports de ces tributaires sont très faibles en comparaison de ceux du CHARI qui ont été en moyenne de $40,4 \times 10^9 m^3/an$ entre 1933 et 1966 à la station de FORT-LAMY.

L'EL BEÏD, qui draine une zone de marécages alimentée par les déversements du LOGONE et du CHARI ainsi que par le ruissellement de rivières torrentielles du Nord-CAMEROUN, apporte en moyenne au lac environ $2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$.

Le YEDSERAM, qui est situé entièrement sur le territoire du NIGERIA et pour lequel on ne possède aucune observation précise, écoule probablement moins de $0,1 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$.

La KOMADOUGOU-YOBE, issue du plateau de BAUCHI et de la région de KANO au NIGERIA, perd beaucoup d'eau dans la traversée de régions sahéliennes très plates. En année moyenne, elle n'apporte guère au lac TCHAD plus de $0,5 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Au total, les apports annuels des trois tributaires secondaires du lac atteignent à peine 6,5 % du volume écoulé en année moyenne par le CHARI à FORT-LAMY. L'absence de données précises sur les débits de ces trois rivières n'a donc pas de conséquences très graves sur la détermination du bilan hydrologique.

En pratique, nous admettrons que les débits du CHARI à FORT-LAMY représentent la totalité des apports qui alimentent le lac TCHAD. La station de FORT-LAMY est, en effet, située à une centaine de kilomètres en amont de l'embouchure du fleuve qui, dans la dernière partie de son cours, subit d'importantes pertes par évaporation dans de vastes plaines d'inondation. On peut admettre sans erreur importante que ces pertes en aval de FORT-LAMY sont du même ordre de grandeur que les apports des autres tributaires du lac.

Les pertes par évaporation et par infiltration seront d'abord considérées globalement et constitueront l'inconnue que le calcul du bilan mois par mois doit précisément permettre d'évaluer. Nous essayerons ensuite de dissocier les pertes par évaporation des pertes par infiltration en nous appuyant sur diverses considérations qui ont déjà été abordées au paragraphe 2.6 relatif à l'évaporation ou qui seront traitées au paragraphe 6.7 sur la salinité.

Le tableau 5-I donne, à titre d'exemple, les valeurs mensuelles des différents termes du bilan pour les années 1954 et 1955. Nous avons récapitulé dans le tableau 5-II la totalité des valeurs des pertes globales (E + F) que l'étude du bilan hydrologique nous a permis de déterminer, mois par mois, de Janvier 1954 à Décembre 1966.

Il est intéressant d'estimer par un calcul d'erreur la précision avec laquelle sont obtenues les valeurs de E + F. On peut écrire :

$$\Delta (E + F) = 8,64 n \cdot \Delta \left(\frac{Q}{S} \right) + \Delta P + \Delta DH$$

$$\text{ou } \Delta (E + F) = 8,64 n \cdot \frac{Q}{S} \left(\frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta S}{S} \right) + \Delta P + \Delta DH$$

Suivant les saisons on peut évaluer comme suit l'ordre de grandeur des différents termes du second membre de cette expression :

	$8,64 n \cdot \frac{Q}{S}$	$\frac{\Delta Q}{Q}$	$\frac{\Delta S}{S}$	ΔP	$\Delta \cdot DH$
Janvier	11 cm	0,06	0,04	0 cm	3 cm
Avril	2	0,06	0,04	0	3
Juillet	10	0,06	0,04	2	3
Octobre	45	0,06	0,04	0,5	3
Année	200	0,04	0,04	6	3

On en déduit les valeurs suivantes de l'erreur à craindre:

- Janvier	:	$\Delta (E + F)$	=	4,1 cm,	soit	27 %	environ
- Avril	:	"	=	3,2 cm,	"	21 %	"
- Juillet	:	"	=	6 cm,	"	30 %	"
- Octobre	:	"	=	8 cm,	"	23 %	"
- Année	:	"	=	25 cm,	"	10 %	"

TABLEAU 5-I

LAC TCHAD

BILAN HYDROLOGIQUE MENSUEL en 1954 et 1955

Mois	1954							1955						
	H cm	Q m ³ /s	S km ²	8,64 n. cm	P cm	DH cm	E + F cm	H cm	Q m ³ /s	S km ²	8,64 n. cm	P cm	DH cm	E + F cm
Janvier	380 380	738	17 615	11,22	0	0	11,22	435 435	1 099	20 255	14,53	0	0	14,53
Février	365	(410)	17 255	5,75	0	- 15	20,75	425	634	20 015	7,66	0	- 10	17,66
Mars	355	(230)	16 655	3,70	0	- 10	13,70	410	334	19 415	4,61	0	- 15	19,61
Avril	345	(130)	16 175	2,08	0	- 10	12,08	400	212	18 815	2,92	0	- 10	12,92
Mai	330	108	15 575	1,86	0,5	- 15	17,36	385	270	18 215	3,97	1,2	- 15	20,17
Juin	315	323	14 855	5,64	0,4	- 15	21,04	370	358	17 495	5,30	2,1	- 15	22,40
Juillet	325	745	14 735	13,54	12,5	+ 10	16,04	370	779	17 135	12,18	3,9	0	16,08
Août	360	1 435	15 815	24,30	41,9	+ 35	31,20	385	1 570	17 495	24,03	13,8	+ 15	22,83
Septembre	375	2 657	17 015	40,47	0,6	+ 15	26,07	405	2 816	18 335	39,81	3,6	+ 20	23,41
Octobre	395	3 909	17 855	58,64	0,6	+ 20	39,24	420	4 098	19 175	57,24	3,8	+ 15	46,04
Novembre	420	4 356	18 935	59,63	0	+ 25	34,63	445	4 551	20 135	58,58	0	+ 25	33,58
Décembre	435	2 837	19 895	38,19	0	+ 15	23,19	477	3 132	21 505	39,01	0	+ 32	7,01
Année	-	-	-	265,0	56,5	+ 55	266,5	-	-	-	269,8	28,4	+ 42	256,2

TABLEAU 5-II

LAC TCHAD

PERTES GLOBALES par EVAPORATION et par INFILTRATION (E + F en cm)

Mis	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	Moyenne
Janvier	11,2	14,5	16,4	20,4	14,0	15,1	19,7	12,3	12,9	11,5	14,3	20,7	15,2	15,3
Février	20,8	17,7	10,7	13,3	11,6	22,0	15,4	28,9	15,5	16,5	16,7	9,6	16,9	16,6
Mars	13,7	19,6	23,3	14,0	21,0	10,3	11,9	14,4	15,6	18,3	12,9	18,6	15,9	16,1
Avril	12,1	12,9	19,5	16,6	15,8	16,5	12,7	13,3	14,0	14,4	21,0	14,3	12,3	15,0
Mai	17,4	20,2	19,0	12,4	16,7	12,4	24,1	14,6	20,4	17,6	13,7	17,2	19,4	17,3
Juin	21,0	22,4	20,0	20,7	14,7	27,9	15,6	24,9	11,7	22,5	18,7	16,6	18,6	19,6
Juillet	16,0	16,1	13,4	19,2	20,6	14,9	23,2	27,5	24,0	21,4	13,7	21,6	23,8	19,7
Août	31,2	22,8	19,8	21,0	16,0	27,6	21,4	5,7	12,7	25,2	24,4	22,7	19,0	20,7
Septembre	26,1	23,4	16,1	21,2	27,2	22,9	24,6	26,4	17,4	18,2	18,1	9,7	23,0	21,1
Octobre	39,2	46,0	39,4	23,7	30,4	37,7	33,5	41,7	29,0	28,8	30,1	34,9	30,9	34,2
Novembre	34,6	33,6	14,7	22,9	19,8	25,8	31,7	24,5	26,5	22,6	25,9	17,7	23,2	24,9
Décembre	23,2	7,0	23,9	18,8	14,1	14,7	13,0	9,2	15,5	7,2	7,7	12,6	20,0	14,4
Total	266	256	236	224	222	248	247	243	215	224	217	216	238	235

On remarque qu'à l'échelle mensuelle l'imprécision sur la différence de niveau DH est souvent la principale source d'erreur. Etant donné les petites fluctuations incessantes de niveau que nous avons déjà signalées, cette cause d'erreur ne pourra être sensiblement atténuée que lorsque les niveaux seront enregistrés de façon continue par un limnigraphe en excellent état de fonctionnement. L'erreur sur les précipitations peut être considérée comme nulle pendant les mois de saison sèche, mais n'est pas négligeable en saison des pluies. L'erreur sur le débit entrant et sur la surface du lac n'intervient sérieusement que pour les mois où les apports sont importants, c'est-à-dire de Septembre à Novembre.

A l'échelle de l'année l'importance relative des différentes sources d'erreur est inversée : l'imprécision sur les termes Q et S devient nettement prépondérante, celle sur P reste appréciable, tandis que celle sur DH devient secondaire.

L'erreur probable à craindre sur les moyennes mensuelles et interannuelles des pertes E + F calculées sur 13 ans est assez difficile à estimer, car les causes d'erreur sont, à des degrés divers, partiellement systématiques et partiellement accidentelles. Nous admettons néanmoins les valeurs suivantes :

- Moyenne de Janvier	:	Δ (E + F)	=	2 cm,	soit 13	%
- " Avril	:	"	=	1 cm,	" 6,5	%
- " Juillet	:	"	=	3 cm,	" 15	%
- " Octobre	:	"	=	5 cm,	" 15	%
- Moyenne Interannuelle	:	"	=	15 cm,	" 6,5	%

C'est en Avril que l'erreur apparaît minimale, aussi bien en valeur absolue qu'en valeur relative, car pendant ce mois les apports du CHARI sont très faibles et les précipitations nulles, de sorte que les pertes par évaporation et infiltration constituent le facteur presque exclusif de la variation de niveau du lac. Cependant il intervient peut-être en Avril, comme en Octobre, un facteur d'imprécision qu'il est difficile d'évaluer et dont nous n'avons pas tenu compte. Il s'agit d'un léger "basculement" de la surface du lac qui serait provoqué par le renversement de la direction du vent dominant (voir parag. 2.2 sur l'harmattan et la mousson).

Le fait que le lac TCHAD constitue une cuvette fermée sans émissaire est une circonstance favorable pour déterminer les pertes par évaporation et infiltration avec une précision satisfaisante. Ce cas est assez rare pour être signalé. Pour beaucoup de lacs et de retenues de barrage, les pertes par évaporation ne constituent qu'un terme différentiel secondaire entre les débits entrants et les débits sortants. L'étude du bilan ne permet alors de les déterminer qu'avec une précision très médiocre, voire même dérisoire. Sans être excellente la précision du bilan du lac TCHAD est en comparaison très satisfaisante à l'échelle annuelle.

5.2 - INTERPRETATION du BILAN

5.2.1 Résultats annuels

Du tableau 5-II il résulte que la moyenne interannuelle des pertes par évaporation et infiltration donnée par le bilan du lac a pour valeur :

$$E + F = 235 \text{ cm/an}$$

Ce résultat est à peine supérieur à la moyenne de l'évaporation annuelle calculée au paragraphe 2-6 par la formule de PENMAN pour la station de BOL :

$$E = 229 \text{ cm/an}$$

Il est également très voisin de l'évaporation moyenne interannuelle donnée par le bac Colorado enterré de BOL, si on lui applique un coefficient de réduction de 0,70 qui paraît vraisemblable pour passer en climat sahélien de l'évaporation sur bac à l'évaporation sur une grande étendue d'eau * :

$$E = 323 \times 0,70 = 226 \text{ cm/an}$$

*. NOTA - Ce coefficient de réduction sera évalué plus loin de façon plus précise -

Bien que ni la formule de PENMAN, ni le bac Colorado ne permettent d'évaluer avec une grande précision l'évaporation du lac, la comparaison des trois valeurs ci-dessus indique clairement que dans le bilan annuel les pertes par évaporation E sont très largement prépondérantes par rapport aux pertes par infiltration F.

Cette affirmation est corroborée par l'étude de la salinité du lac. Comme on le verra au chapitre suivant (paragr. 6.7), la régulation saline du lac laisse supposer que les pertes par infiltration sont de l'ordre de 10 à 25 cm/an, soit 4,2 à 10,5 % des pertes globales E + F.

Compte tenu de l'imprécision de 15 cm déterminée précédemment par le calcul d'erreur sur les pertes globales, on peut admettre que l'évaporation du lac en année moyenne a pour valeur :

$$E = 235 \pm 15 - (10 \text{ à } 25) \text{ cm/an}$$

Elle est ainsi comprise entre 195 et 240 cm/an, la valeur la plus probable étant voisine de 215 cm/an.

Il est intéressant d'en déduire le coefficient de réduction à appliquer aux résultats du bac Colorado et du bac de Classe A de BOL, qui ont donné respectivement des évaporations moyennes de 323 et 378 cm/an :

$$\text{- bac Colorado : } k = \frac{215}{323} = 0,665$$

$$\text{- bac Classe A : } k = \frac{215}{378} = 0,57$$

On peut avoir une idée approximative de l'irrégularité interannuelle de l'évaporation du lac d'après les valeurs de (E+F) données dans le tableau 5-II pour les années 1954 à 1966. Les valeurs extrêmes sur 13 ans sont de 215 cm en 1962 et de 266 cm en 1954; elles correspondent respectivement à un déficit de 20 cm et à un excédent de 31 cm par rapport à la moyenne interannuelle⁽¹⁾

(1) - NOTA - Ces écarts sont partiellement imputables à l'imprécision du calcul des pertes -

Phénomène curieux, les pertes (E+F) tendent à être excédentaires lorsque le niveau du lac est relativement bas et déficitaire lorsqu'il est haut (voir graphique 5-1). Peut-être faut-il voir là l'effet de la végétation aquatique qui est beaucoup plus développée lorsque le lac est peu rempli. Cet effet serait plus sensible que l'augmentation des infiltrations avec l'élévation du niveau du lac.

5.2.2 Résultats mensuels

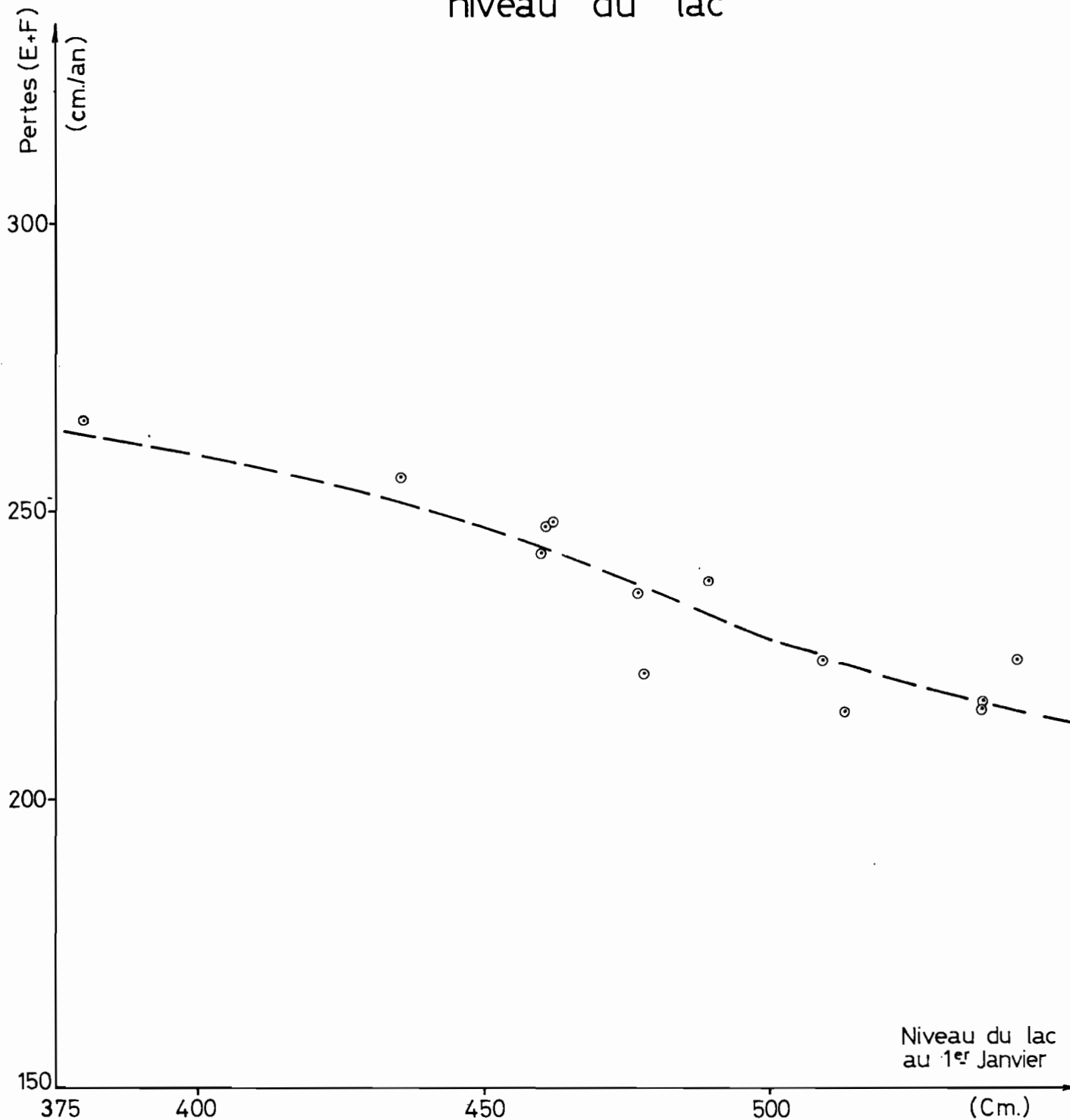
A l'échelle mensuelle la concordance entre les résultats fournis par le bac Colorado, la formule de PENMAN et le bilan hydrologique est beaucoup moins satisfaisante qu'à l'échelle annuelle (voir tableau 5-III). Au paragraphe 2.6 nous avons déjà comparé les évaporations mensuelles données par le bac Colorado et la formule de PENMAN. Nous avons vu notamment que les résultats du bac étaient faussés par des échanges parasites de chaleur entre l'eau et le sol. Cette cause d'erreur n'intervient pas dans la formule de PENMAN qui présente néanmoins des imperfections sur lesquelles nous nous sommes assez longuement étendus. Nous n'y reviendrons pas et nous nous bornerons ici à comparer les résultats de la formule de PENMAN avec ceux du bilan hydrologique en année moyenne.

Une anomalie apparaît tout de suite, qui est bien mise en évidence par le graphique 5-2 : les pertes calculées par le bilan semblent trop faibles de Mars à Juillet et trop fortes d'Octobre à Février. Les écarts négatifs sont de 70 mm en Avril et Mai. Les écarts positifs atteignent 145 mm en Octobre et 100 mm en Novembre.

Pour expliquer cette anomalie on peut invoquer plusieurs hypothèses :

a) Le "basculement" du lac dû au renversement de la direction des vents dominants est susceptible de provoquer un écart de l'ordre de 20 à 30 mm, négatif en Avril et positif en Octobre.

Relation entre les pertes annuelles
par
évaporation et infiltration
et le
niveau du lac



Pertes par évaporation et infiltration
(en mm./mois)

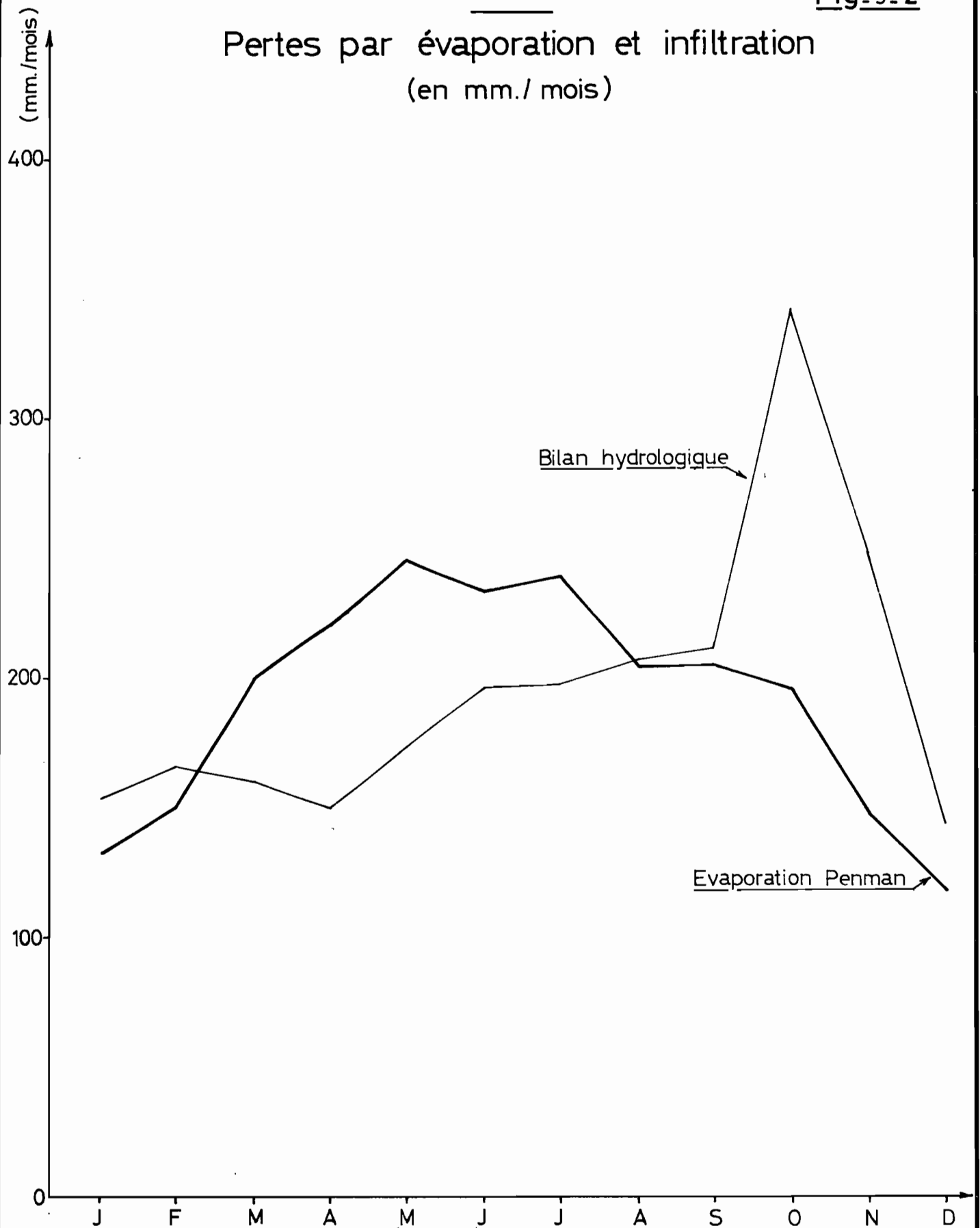


TABLEAU 5-III

COMPARAISON des MOYENNES MENSUELLES FOURNIES par :

- le bac COLORADO de BOL
- la formule de PENMAN
- et le bilan hydrologique

Mois	Evaporation (mm)		Pertes globales (mm)
	Bac Colorado BOL (1957-1966)	Formule PENMAN BOL (1965-1966)	Bilan hydrologique (1954-1966)
Janvier	267 x 0,665 = 178	132	153
Février	285 x 0,665 = 190	150	166
Mars	355 x 0,665 = 236	200	161
Avril	326 x 0,665 = 217	220	150
Mai	303 x 0,665 = 202	245	173
Juin	253 x 0,665 = 168	234	196
Juillet	232 x 0,665 = 154	239	197
Août	190 x 0,665 = 126	204	207
Septembre	207 x 0,665 = 138	205	211
Octobre	281 x 0,665 = 187	196	342
Novembre	280 x 0,665 = 186	147	249
Décembre	250 x 0,665 = 166	118	144
Total annuel	3 230 x 0,665 = 2 150	2 290	2 350

b) Les pertes du lac par infiltration se produisent sans doute en grande partie en Octobre et Novembre, époque à laquelle la montée du lac est la plus rapide. Une partie non absolument négligeable de ces infiltrations revient peut-être vers le lac lorsque le niveau redescend de Mars à Juillet.

c) Les apports de l'ensemble des tributaires ont été calculés à partir des débits du CHARI à FORT-LAMY. Cette approximation valable à l'échelle de l'année l'est beaucoup moins à l'échelle du mois. D'une part, la propagation des débits ne se fait pas sans un certain amortissement ni sans un certain délai entre FORT-LAMY et BOL. Il est difficile d'évaluer ce délai qui varie avec le remplissage du lac et l'état de la végétation dans les bras de l'archipel. Dans les cas les plus défavorables il est peut-être de l'ordre d'une dizaine de jours. Il en résulte une erreur qui est surtout sensible lorsque les variations de débits du CHARI sont rapides, c'est-à-dire en Octobre et Novembre. D'autre part, les tributaires secondaires du lac ont un régime un peu décalé par rapport à celui du CHARI : leur maximum se produit généralement en Décembre, avec un retard de six à huit semaines sur celui observé à FORT-LAMY. Il en résulte encore une légère erreur sur le calcul des pertes mensuelles.

d) L'application de la formule de PENMAN tend vraisemblablement à surestimer l'évaporation pendant la fin de la saison sèche et au début de la saison des pluies et conduit au contraire à la sous-estimer au début de la saison sèche.

Dans l'état actuel de nos connaissances il n'est pas possible de préciser davantage l'influence de ces différentes causes d'incertitude.

L'irrégularité interannuelle des pertes globales paraît à première vue nettement plus élevée à l'échelle mensuelle qu'à l'échelle annuelle. Sur 13 années l'écart entre la plus forte et la plus faible valeur varie entre 8,9 cm pour Avril et 25,5 cm pour Août. Toutefois, si on divise par deux ces écarts entre valeurs extrêmes et qu'on les compare aux erreurs Δ (E + F) estimées au paragraphe 5.1, on note qu'une partie importante de l'irrégularité interannuelle apparente doit en fait être attribuée à l'imprécision du calcul des pertes, comme le montre le tableau ci-après :

Mois	$\frac{(E + F)_{\max} - (E + F)_{\min}}{2}$		$\Delta (E + F)$
Janvier	4,75 cm	31 %	4,1 cm : 27 %
Avril	4,45 cm	30 %	3,2 cm : 21 %
Juillet	7,05 cm	36 %	6 cm : 30 %
Octobre	11,15 cm	33 %	8 cm : 23 %

L'irrégularité véritable des pertes mensuelles ne peut pas être exactement chiffrée, mais elle apparaît finalement assez réduite. Elle ne doit guère dépasser 10 % sur une période décennale.

CHAPITRE 6

SALINITE des EAUX

(Chapitre rédigé par Michel ROCHE, sauf parag. 6.7)

6.1 - MESURES de SALINITE

6.1.1 - Introduction

Au siècle dernier, les explorateurs qui découvrirent le Lac TCHAD furent étonnés par la faible salinité de ses eaux. Les premières analyses chimiques d'eau furent présentées dans les documents scientifiques de la mission TILHO (1906-1909). Le problème de l'aboutissement de la sédimentation chimique était déjà posé. Les hypothèses de la "dénatronisation automatique par le simple jeu de ses crues et de ses assèchements successifs" et des pertes dans "une nappe souterraine" étaient déjà émises pour expliquer la non-salinisation du lac.

Il faut ensuite attendre 1957 pour que l'étude de la salinité soit de nouveau abordée. E. GUICHARD (1957) traça la première carte de la conductivité des eaux. A. BOUCHARDEAU (1957) établit un premier bilan hydrologique du lac, démontrant ainsi le rôle primordial des apports en eau du CHARI. La carte des conductivités lui permit d'appuyer (1958) l'hypothèse des pertes marginales au profit des nappes souterraines et de présenter un essai de calcul de ces pertes.

P.J. DIELEMAN et N.A. RIDDER (1963), puis J.D. SCHNEIDER (1966) précisèrent certaines relations entre le lac et les nappes de bordure.

R. GRAS (1962-1964) contribua largement à la connaissance physico-chimique des eaux du lac, en particulier par de nombreuses mesures de conductivité. B. DUPONT (1967) effectua également des mesures sur l'itinéraire Delta du CHARI - BOL.

Depuis plusieurs années, l'ORSTOM a entrepris une opération concertée multidisciplinaire visant à une définition des mécanismes d'altération, érosion, transport et sédimentation, dans la cuvette tchadienne. L'étude de la physico-chimie des eaux du lac TCHAD, actuellement en cours, entre dans le cadre de ces travaux. Les données présentées ici ont été recueillies essentiellement lors des missions effectuées d'Octobre 1966 à Janvier 1968.

Dans ce chapitre il s'agit ainsi essentiellement des données physico-chimiques relatives aux eaux du CHARI, du LOGONE et du lac. L'interprétation portera sur les mécanismes régissant les variations de la conductivité électrique des eaux dans l'espace et dans le temps et sur l'évolution des compositions ioniques relatives dans l'espace. On estimera les apports en sels au lac, plus précisément ceux du CHARI et la salinité moyenne des eaux du lac. On abordera enfin le problème difficile de la régulation saline du lac qui est encore loin d'être clairement résolu.

6.1.2 - Méthodes de mesures

Les prélèvements ont été effectués en surface dans des flacons en polyéthylène à capsule d'étanchéité. Sur le CHARI et le LOGONE les eaux ont été échantillonnées au milieu du lit, sinon le plus loin possible des rives. D'après les études actuellement en cours la représentativité de ces prélèvements est largement satisfaisante. Nous aborderons plus loin la représentativité de l'échantillonnage dans le lac.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de Chimie du Centre ORSTOM de FORT-LAÏY, le plus rapidement possible après les prélèvements.

Les résidus solubles ont été mesurés après filtration des eaux sur filtre DURIEUX 200. L'échantillon, de 500 à 200 ml, était évaporé sur plaque chauffante, puis pesé avec une précision de 1 mg.

La conductivité (C), ramenée à 25°C, a toujours été mesurée sur place avec un conductivimètre Philips PR 9500, alimenté par une batterie 12 V (celle du bateau) par l'intermédiaire d'un convertisseur à transistors. Soulignons tout de suite que les conductivités seront toujours exprimées en micromhos/cm, et que nous ne rappellerons pas l'unité après chaque valeur.

En Octobre et Novembre 1966, l'eau était prélevée du bateau en marche dans un b cher et la mesure effectuée immédiatement à l'aide d'une microcellule PR 9512/01. A partir de Janvier 1967, nous avons installé un dispositif permettant la mesure directe à n'importe quel moment, l'eau étant amenée par un tuyau à une cellule à circulation continue PR 9511, située dans la cabine. Jusqu'en Avril 1967, l'arrivée d'eau s'effectuait lorsque le bateau se déplaçait, même à faible vitesse, suivant le principe du tube de PITOT. L'embarcation ayant ensuite changé, la circulation se faisait grâce à la pompe à eau du moteur : une partie de l'eau passait par la cellule avant de gagner la pompe. Le débit était de l'ordre de quelques litres par minute.

Le seuil de signification de la différence entre deux mesures, effectuées avec deux appareils différents, est de 2 à 5 %. En fait, en se plaçant dans des conditions toujours analogues, c'est-à-dire avec le même montage, le même appareil, la même cellule et le même observateur, un écart supérieur à $\pm 1\%$ commence à être significatif (M.A. ROCHE, 1968).

Les chlorures : la méthode de CHARPENTIER-VOLHARD ne s'est pas révélée assez sensible mais a permis de fixer une première limite peu précise des teneurs maximales. La détermination par potentiométrie à l'électrode d'argent et électrode de référence au calom l sur appareil M trohm E 436 permet de déterminer des teneurs de 0,05 me/l.

Les sulfates : ils sont dosés par gravimétrie. La limite de sensibilité est de 0,04 me/l. Pour les teneurs de 0,2 me/l, la précision est de l'ordre de 20 %.

L'alcalinité : la plupart des dosages (1966-1968) ont été effectués par volumétrie, en utilisant l'acide sulfurique N/20, avec la phénolphthaléine comme indicateur coloré (carbonates). En continuant avec l'héliantine comme indicateur, on obtient l'alcalinité totale A qui représente la somme des carbonates et des bicarbonates. La limite de sensibilité peut être considérée comme égale à 0,05 me/l. Nous avons comparé les résultats obtenus sur le terrain en Mars-Avril 1967 à ceux déterminés au laboratoire, sur une même série d'échantillons. L'écart maximal sur A ne dépassait généralement pas $\pm 5 \%$.

Le titrage potentiométrique au Métrohm a été effectué sur les derniers échantillons analysés (1968). La limite de sensibilité est passée à 0,01 me/l; la précision est de l'ordre de 1 %.

Alcalino-terreux : d'après des résultats d'analyses non systématiques d'éléments traces, ce sont essentiellement Ca et Mg. Ils sont dosés par complexométrie en utilisant le sel disodique de l'acide EDTA. N/50. On obtient d'une part la teneur en Ca, avec la murexide comme indicateur de concentration d'ions, à pH 12, d'autre part la somme Ca + Mg, avec le noir ériochrome T, à pH 10. Le magnésium est déduit par différence.

Alcalins : les teneurs en potassium et en sodium sont déterminées au spectrophotomètre de flamme (JOBIN-YVON). Les eaux sont diluées de 1/2 à 1/10 pour le sodium, suivant les concentrations, et à 1/2 pour le potassium. La précision peut être évaluée de ± 1 à $\pm 5 \%$ pour le sodium, et de ± 1 à $\pm 10 \%$ pour le potassium en fonction des teneurs.

6.2 - PHYSICO-CHIMIE des EAUX du CHARI à FORT-LAMY

6.2.1- Températures

Des mesures isolées de la température de l'eau en surface ont été effectuées par divers chercheurs et nous-mêmes à différentes époques. Les résultats concordent bien avec ceux des mesures relevées toute l'année 1957 par J. BLACHE (1964), à FORT-LAMY.

Mois	7 h	12 h	18 h	23 h
Janvier	20,6	21,4	21,6	21,7
Février	19,4	20,7	20,9	-
Mars	24,0	24,6	24,3	-
Avril	25,3	29,5	29,2	27,8
Mai	29,6	30,9	30,3	30,0
Juin	29,4	30,8	31,2	30,4
Juillet	27,7	28,6	28,9	29,1
Août	27,5	29,7	28,2	28,3
Septembre	27,3	27,8	27,8	27,6
Octobre	29,1	29,6	29,7	29,3
Novembre	26,6	27,2	27,3	27,1
Décembre	22,7	24,4	24,6	24,4

Il existe deux maximums, un en Mai-Juin avec 31°, l'autre en Octobre avec 30° et un minimum en Février avec 19°.

6.2.2 - Résidu soluble et poids total des ions

6.2.2.1 Résidu soluble RS.

Les valeurs mesurées varient de 69 à 95 mg/l et celles déduites des conductivités de 50 à 91 mg/l sur toutes les années d'observation. Les variations saisonnières seront abordées avec l'étude des conductivités.

6.2.2.2 Poids total des ions

p désigne la teneur en ions dissous, soit $p^+ = Ca + Mg + Na + K$, et $p^- = CO_3H + Cl + SO_4$.

A CHAGOUA et FORT-FOUREAU, les variations observées ont été respectivement de 27 à 66 mg/l et de 32 à 68 mg/l. Sur toute la période de mesure des conductivités, on déduit par corrélation des valeurs extrêmes de 34 et 74 mg/l (parag. 6.3.3.3).

Le poids total des ions dissous peut s'écarter de celui du résidu soluble pour plusieurs raisons dont l'importance doit varier suivant la concentration des eaux.

Il existe en plus des ions analysés, d'autres substances en quantité plus ou moins importante tels les nitrates, les phosphates, la silice etc..., qui augmentent le poids total. Cependant seule la silice est suffisamment importante (environ 40 %) pour créer un écart notable. Certains minéraux, en particulier les sels de sodium, contiennent de l'eau de constitution qui vient augmenter le poids du résidu sec. Certaines particules argileuses très fines traversent les filtres et viennent s'ajouter au poids mesuré. Cependant avec un effet contraire, une partie des bicarbonates doit cristalliser en carbonates lors de l'évaporation, ce qui a pour effet de diminuer le poids total des ions.

6.2.3 - Teneurs en ions majeurs

6.2.3.1 Les anions

Les chlorures sont à très faibles concentrations et n'ont pu être mis en évidence par la méthode de dosage utilisée dont la sensibilité atteint 0,05 me/l.

Les sulfates sont également à très faibles concentrations, inférieures à 0,04 me/l, qui est la limite de sensibilité de la méthode de dosage employée.

Les pH sont inférieurs à 8,3 ce qui explique l'absence de carbonates. Par contre, les bicarbonates prédominent nettement sur tous les autres ions. On peut considérer qu'ils représentent la moitié de la minéralisation globale exprimée en milliéquivalent, puisqu'ils sont les seuls anions existant en quantité notable. Les teneurs à CHAGOUA et FORT-FOUREAU peuvent varier de 0,35 à 0,80 me/l (21 à 49 mg/l) ou 70 à 78 % du poids total des ions avec une moyenne de 75 %.

6.2.3.2 Les cations

A CHAGOUA et FORT-FOUREAU les teneurs en calcium varient de 0,15 à 0,40 me/l (3 à 8 mg/l), ou 9 à 14 % du poids total.

Les teneurs en magnésium sont comprises entre 0,10 et 0,30 me/l (1 à 4 mg/l) ou 3 à 6 % du poids total.

Le rapport caractéristique Mg/Ca est généralement compris entre 0,50 et 0,85, avec pour valeur la plus fréquente 0,7. Il est à remarquer que la somme des deux cations est assez constante : $0,25 < Ca + Mg < 0,60^{(1)}$ soit aussi : $1,2 < dh < 3,0^{(2)}$.

A CHAGOUA les teneurs en alcalins Na et K varient de 0,05 à 0,17 me/l (1,2 à 3,9 mg/l) ou 4 à 8 % du poids total, à FORT-FOUREAU de 0,10 à 0,20 me/l (2,3 à 4,6 mg/l) ou 5 à 8 % du poids total.

Les teneurs en potassium sont comprises entre 0,02 et 0,09 me/l (0,8 à 3,5 mg/l) à CHAGOUA. A FORT-FOUREAU, elles peuvent être inférieures à 0,02 et ne dépassent pas 0,08. Ces valeurs représentent 2 à 6 % du poids total des ions dissous.

Les formules caractéristiques sont généralement de la forme $Ca > Mg > Na > K$. Ce sont des bicarbonatées à tendance légèrement calcique.

6.2.4 - Eléments traces

Trois eaux, prélevées par G. MAGLIONE les 19 et 20 Octobre 1966, entre FORT-LAMY et le delta, ont été analysées par M. PINTA à BONDY. Les résultats sont les suivants en γ/l (ou mg/m^3) :

	Mn	Pb	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Ni	Ti	Cr	Sr	Ba	Li	Rb	Tot
MARA	6:1	8:0	2:0	6:1	2:1	8:18	0:2	18:1	2:60	60:0	2:0	6:170			
DJIMTILO	8:2	4:0	2:0	8:1	8:2	4:24	0:2	24:1	6:80	80:0	2:0	8:226			
Delta	10:3	0:2	1:2	3:30	0:3	30:3	100:100	0:3	1:284						

Les poids des différents éléments se répartissent ainsi dans chaque eau :

$$Sr = Ba > Zn = Ti > Mn > Pb = Cu > V < Cr > Sn = Rb > Ni = Li > Mo$$

(1) r signifie que les teneurs sont exprimées en milliéquivalents par litre -

(2) $dh = 5 r (Ca + Mg)$ -

6.2.5 - Conductivité

6.2.5.1 Valeurs et variations annuelles

La conductivité des eaux du CHARI et du LOGONE a été mesurée toutes les semaines de Juillet 1958 à Avril 1959, en Novembre et Décembre 1959 et d'Août 1961 à maintenant. L'interprétation s'arrête à 1966. Les prélèvements ont été effectués en surface, à une cinquantaine de mètres de chaque rive, à la traversée du bac de FORT-LAMY.

La figure 6-1 présente les courbes annuelles de variation de la conductivité des eaux des deux fleuves.

Les variations peuvent être notables d'une semaine à l'autre, mais il est curieux de constater qu'elles sont très souvent synchrones aux deux stations.

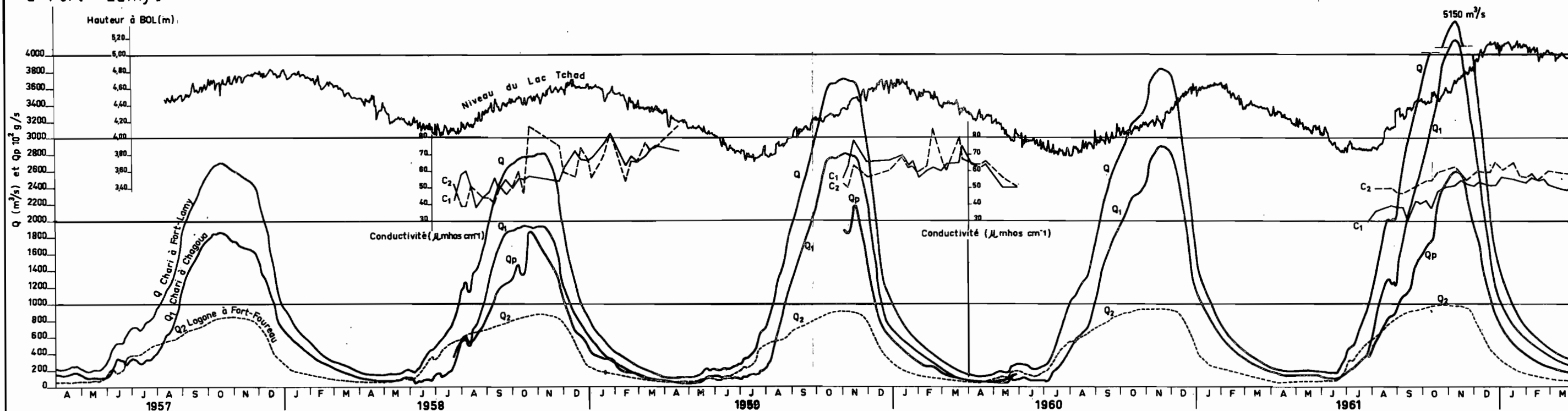
Les conductivités des eaux du LOGONE sont voisines de celles du CHARI. Le LOGONE tend cependant en général à avoir des conductivités plus fortes. Les valeurs s'échelonnent de 35 à 80 suivant les périodes de l'année, quelques-unes peuvent atteindre toutefois 30 et 87.

Les conductivités moyennes annuelles ont été déduites des valeurs obtenues par planimétrage des courbes $Q_C = f(t)$ et $Q_P = f(t)$. Elles s'échelonnent de 47,6 à 56,7 (1962) avec une valeur moyenne de 51,9 sur les 7 années (tabl. 6-I au parag. 6.5.2).

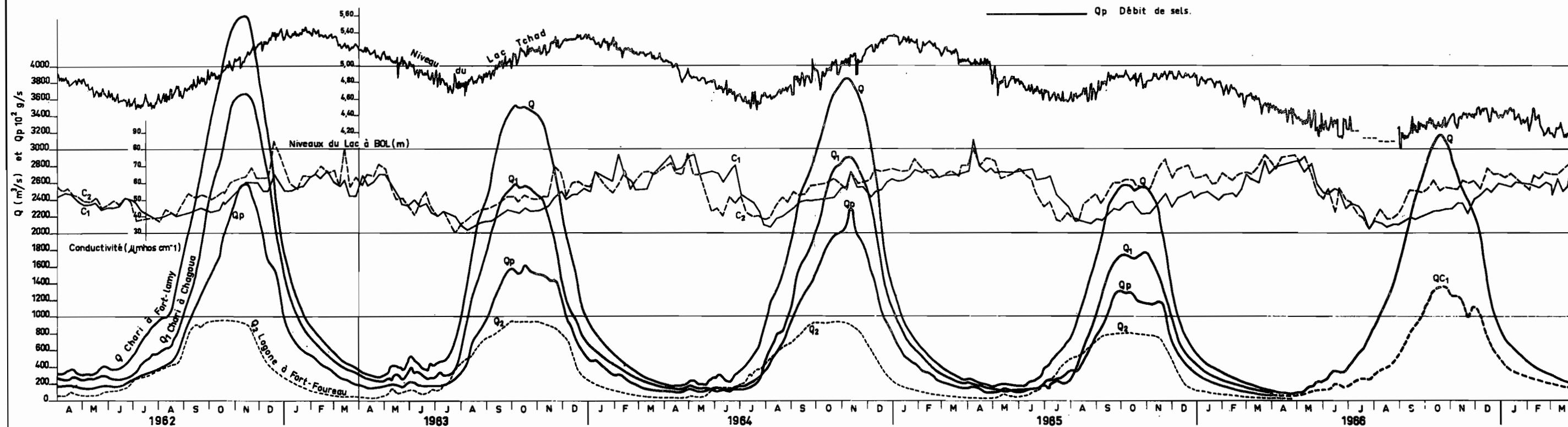
A partir d'un minimum bien marqué situé entre le 1er et le 10 Août, les conductivités augmentent lentement avec la remontée en flèche des eaux du CHARI et du LOGONE jusqu'à un maximum situé fin Avril début Mai. Cette augmentation de la salinité se produit avec quelques pointes secondaires plus ou moins marquées. Elle correspond à la pointe de crue du CHARI, à toute la décrue et aux basses eaux, à la fin desquelles correspond le maximum de conductivité.

Niveaux du lac Tchad à Bol. Débits du Chari à Chagoua et Fort-Lamy et du Logone à Fort-Foureau. Conductivités du Logone à Fort-Foureau et du Chari à Chagoua. Débits de sels du Chari à Fort-Lamy.

Fig. 6 - 1



— C₁ Conductivité du CHARI à CHAGOUA.
 - - - C₂ Conductivité du LOGONE à Fort-Foureau.
 - · - Q_p Débit de sels.



6.2.5.2 Traduction en quantité de sels

La traduction des résultats de conductivité en quantité de sels se fait à l'aide de diverses corrélations que l'on verra plus loin (6.3.3.3).

- Pour une expression en poids l'équation est :

$$p = 0,700 C + 13$$

p représente la somme de Ca + Mg + Na + K + CO₃H en mg/l

C la conductivité à 25°C en $\mu\text{mhos} \cdot \text{cm}^{-1}$

- La corrélation entre le résidu soluble (obtenu par évaporation des eaux) et la conductivité a pour équation :

$$RS = 0,713 C + 29$$

- Les teneurs exprimées en me/l peuvent être calculées par l'équation :

$$rp = 0,0206 C$$

pour des valeurs comprises entre 40 et 80 $\mu\text{mhos} \cdot \text{cm}^{-1}$.

6.3 - PHYSICO-CHIMIE des EAUX du LAC TCHAD

6.3.1. - Température

La température de l'eau du lac en surface a été relevée à la station climatologique de BOL-île à 6h, 12 h et 18 h de Janvier 1956 à Décembre 1960 et à 6 h seulement en 1961 (fig. 6-2) (d'après B. BILLON et al-1963).

La moyenne interannuelle des moyennes journalières est de 27°4 (1956-1960)

l'écart-type	de 1°0
le maximum observé	de 36°7
le minimum observé	de 15°0
l'amplitude maximale journalière	de 21°7

Ces valeurs sont données par défaut, en l'absence de mesures effectuées à l'aide de thermomètres à maximum et minimum.

La variation mensuelle de la température du lac présente un maximum en Mai-Juin (31°7) et un minimum en Janvier (20°5). Le minimum estival se réduit à un palier.

D'après les relevés journaliers, l'amplitude journalière maximale observée est d'au moins 6°.

6.3.2 - Conductivité électrique

6.3.2.1 Variations à grande échelle

6.3.2.1.1. Variations verticales

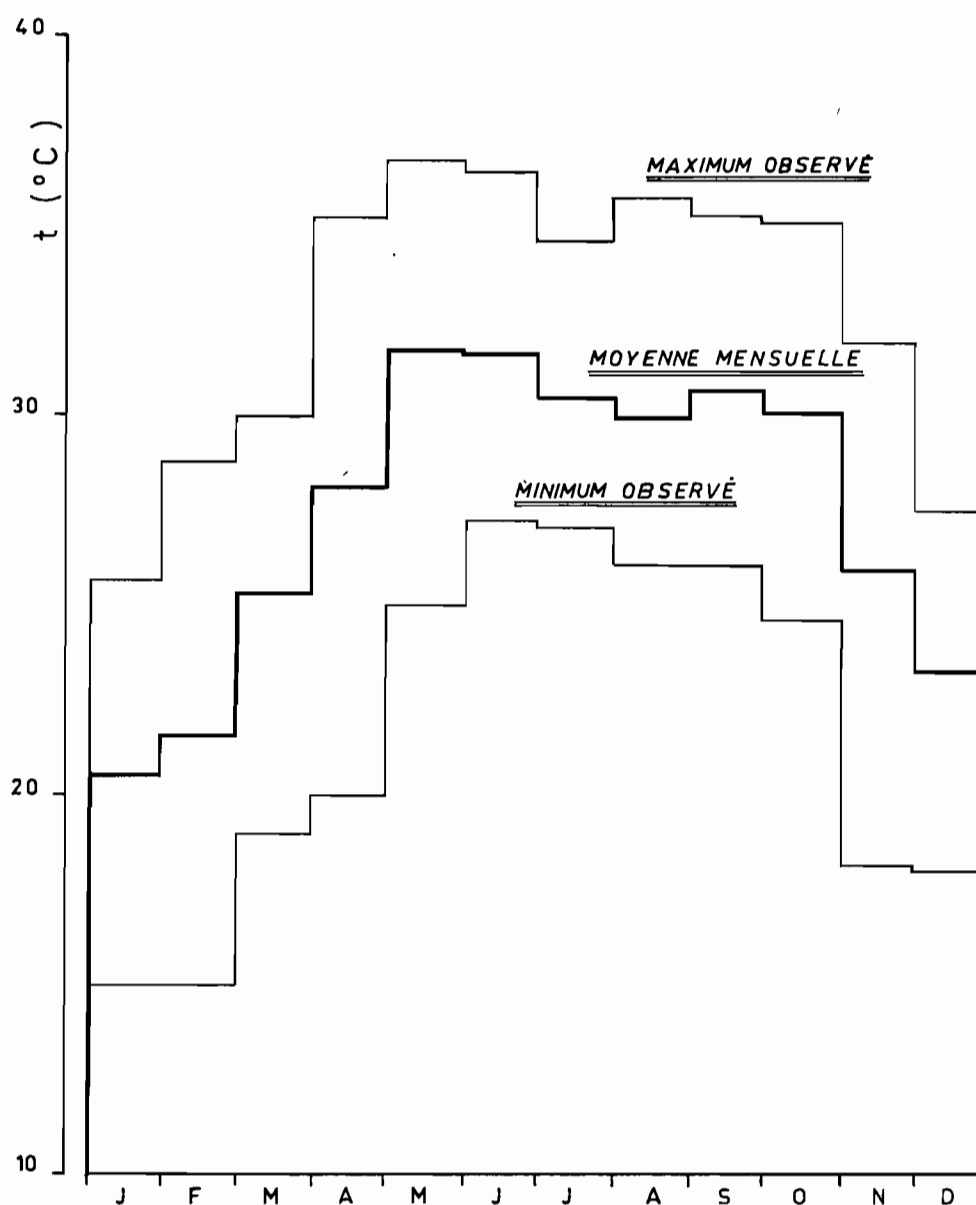
Différents chercheurs (E. GUICHARD 1957, B. DUPONT 1957, M.A. ROCHE 1968) se sont souciés d'un éventuel gradient vertical de la conductivité en effectuant en certains points une mesure en surface et une au fond. Il ne semble pas exister de variations nettement significatives sur une verticale, les écarts étant de l'ordre de l'erreur de mesure. Cette absence de gradient doit s'expliquer par la faible profondeur, un brassage par les vagues et les courants de diverses origines et le déplacement en masse des eaux sans biseau de salinité. Ceci est valable pour les points de mesure considérés, mais on peut penser qu'un gradient existe dans des zones plus ou moins limitées et pendant une période plus ou moins longue.

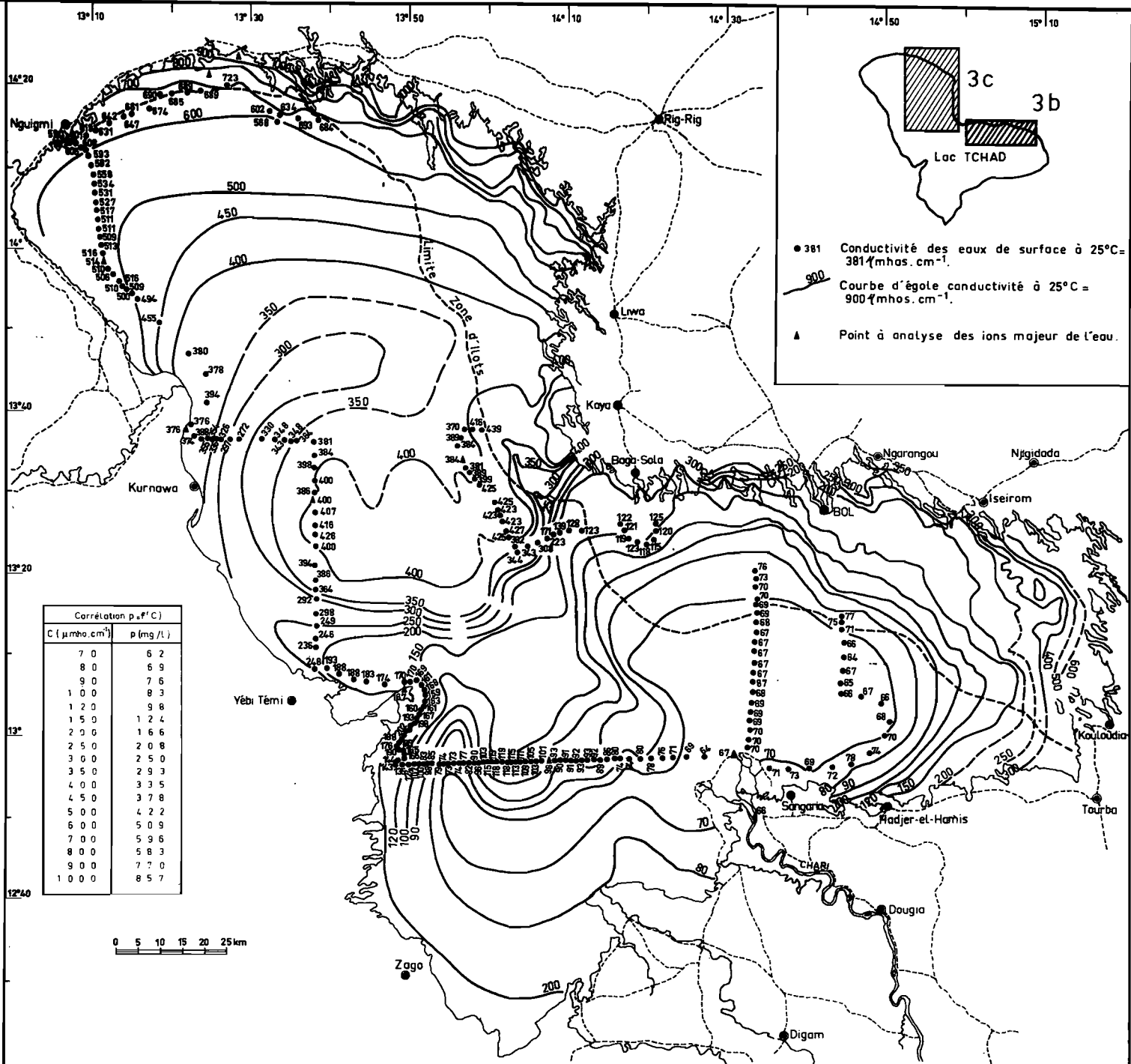
6.3.2.1.2 Variations locales

Les mesures ont été effectuées généralement au milieu des bras pendant la marche longitudinale du bateau. Au début de l'étude il était nécessaire de connaître la représentativité d'une mesure dans une transversale d'un "bahr" (bras) de l'archipel et de mettre en évidence un éventuel gradient à proximité immédiate des rives.

Température des eaux du lac Tchad

Bol-île 1956-1960





Conductivité électrique des eaux du lac Tchad
du 26 Février au 10 Avril 1967

Différentes transversales ont été effectuées. Il existe des variations locales, avec souvent une légère augmentation de la conductivité à proximité des rives et derrière les bordures de roseaux et papyrus. Cependant, une mesure située à quelques mètres de la rive ou au milieu d'un bras est suffisamment représentative de la section lors d'un itinéraire dans le sens longitudinal des bras et permet de définir avec une précision suffisante le gradient longitudinal de la conductivité sur les cartes au 1/200 000^e.

6.3.2.2 Valeurs de la conductivité des eaux

De 1966 à 1968 plusieurs campagnes ont été effectuées dans la partie Sud-Ouest et sur l'ensemble du lac par M.A. ROCHE (1968) et en Mars 1968 par J.P. CARMOUZE (1968).

Les résultats obtenus permettent de définir, pour les dernières années, des gammes de conductivité mesurées dans les différentes zones, en précisant toutefois qu'elles ne sont pas limitatives puisque les mesures ont été effectuées sur des itinéraires plus ou moins denses, à des périodes de l'année ne correspondant pas forcément aux valeurs extrêmes des variations saisonnières.

La carte de Mars-Avril 1967 (fig. 6-3) donne une bonne vue d'ensemble. Elle fournit en particulier le détail des gradients sur les côtes Nord et Nord-Est.

. Zone Sud-Est : pendant la plus grande partie de l'année on a observé une inversion du gradient de la conductivité dans les eaux libres au Nord du delta. Les valeurs variaient de 45 à 95 suivant les points et l'époque de l'année. Au-delà d'une certaine distance les courbes sont concentriques au delta du CHARI et d'autant plus serrées que leur valeur est élevée. Les valeurs des mesures effectuées sur la côte Sud étaient de 250 à 300 à HADJER el HAMIS et 440 à TOURBA. Dans l'archipel, elles atteignaient 55 à 100 à la limite Sud des îles et variaient de 120 à plus de 600 à l'extrémité des bras côtiers où on observe des valeurs maximales.

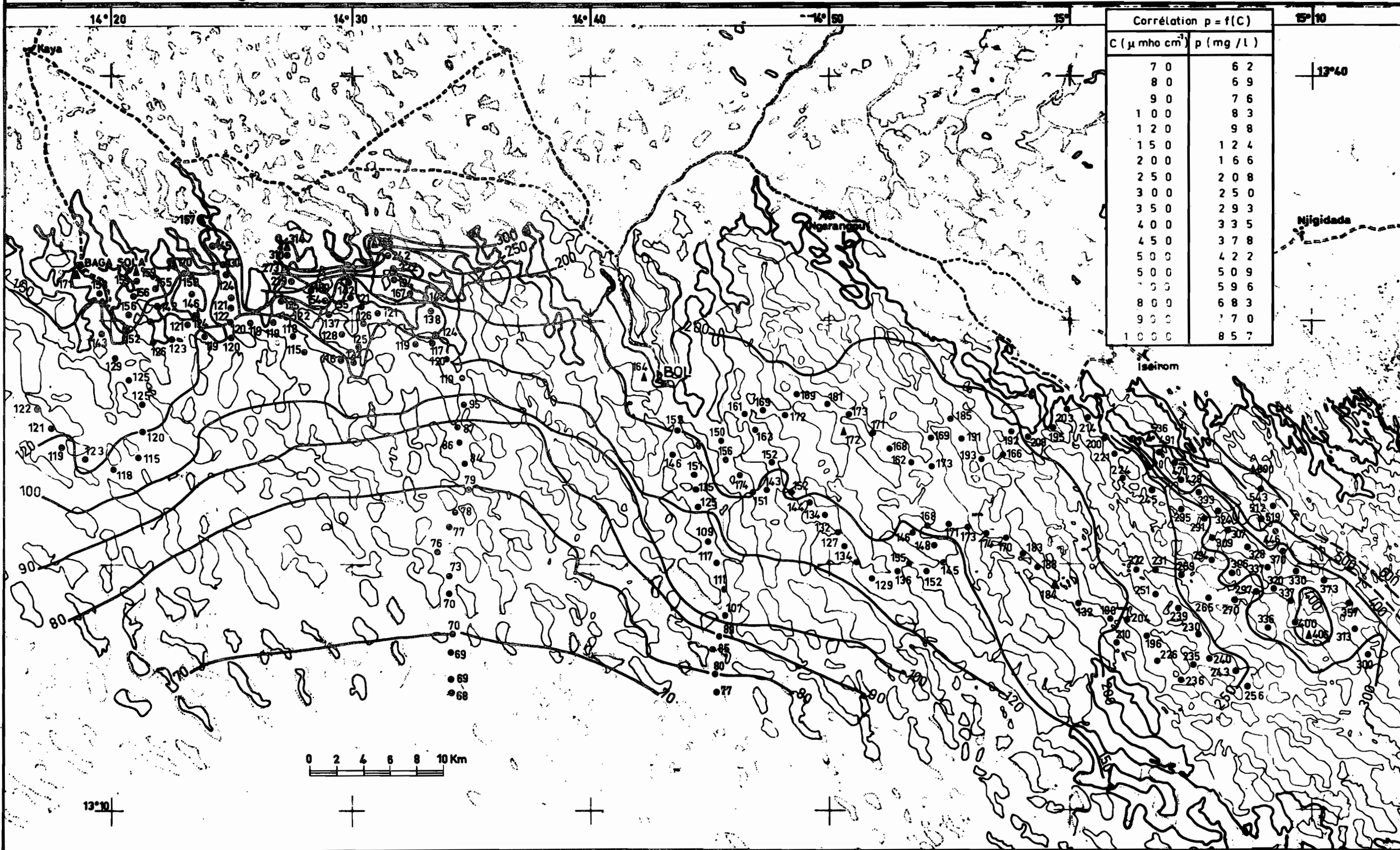
. Zone Sud-Ouest : à l'Ouest du delta du CHARI, en Mars 1967, a été mise en évidence une répartition assez compliquée des conductivités; à cette époque, une zone de plus fortes valeurs (maximum observé : 120) était bordée vers le Sud de valeurs plus faibles (70 à 80).

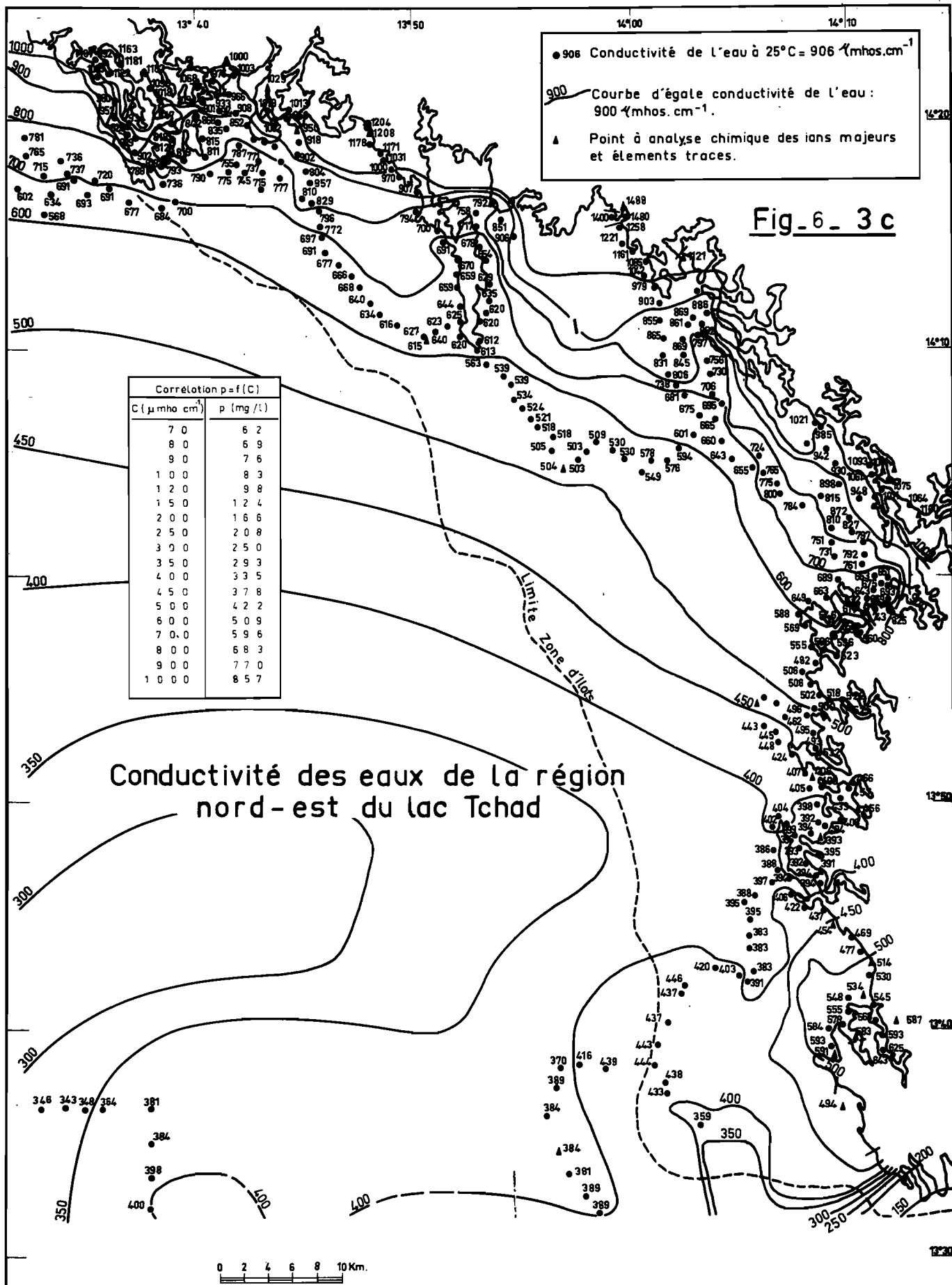
. Partie médiane : lors des campagnes de mesures effectuées en Mars-Avril 1967 et Janvier 1968, les eaux avaient des conductivités plus fortes dans la Grande Barrière et les régions environnantes que dans les eaux-libres du Nord. Toutefois deux zones de plus faibles valeurs se dessinaient à travers ces premières régions pour s'étaler dans la seconde et celle de BAGA KISKRA. Il n'est pas impossible qu'il existe d'autres "points" de plus faibles conductivités entre le Sud et le Nord. Les valeurs y fluctuent au cours de l'année, modifiant l'extension - toute relative d'ailleurs - de ces zones. Les conductivités observées dans cette partie médiane variaient de 150 à 500. La répartition des conductivités y apparaissant très variable dans l'espace et le temps, on est amené à considérer cette partie médiane du lac, qui correspond à la Grande Barrière, à l'archipel de BAGA KISKRA et aux eaux-libres du Nord.

. Partie septentrionale (région des flots-bancs du Nord, zone de NGUIGMI, archipel de TATAVEROM et de KISKAWA) : les courbes d'égales conductivités reprennent un tracé plus classique, parallèle dans l'ensemble à la côte septentrionale. Les valeurs minimales, mesurées au niveau des premiers flots-bancs, étaient de l'ordre de 300. A l'extrémité des bras côtiers les valeurs maximales étaient voisines de 600 à 700 dans la zone de NGUIGMI, 1 000 à 1 200 dans celles de TATAVEROM et KISKAWA. La valeur maximale observée a été de 1 488.

6.3.2.3 Variations saisonnières

Les conductivités varient au cours de l'année mais cette variation est différente en amplitude et décalée dans le temps suivant les zones du lac et les points considérés, en raison des différents mécanismes qui en sont responsables.





.....



Des observations mensuelles ont été effectuées en 1964 et 1965 en 12 stations de la zone Sud-Est (R. GRAS, A. ILTIS, S. LEVEQUE-DUWAT - 1967). Nous avons tracé à partir de ces résultats les courbes de variation des conductivités (fig. 6-4).

Le tableau 6-II présente les valeurs maximale, minimale et moyenne, l'écart maximal et l'intervalle de variation à la moyenne en chaque station.

On peut dire sans plus de précision, que le minimum de la conductivité apparaît entre Août (en 1964) et Septembre (en 1965) à la station 1, en Septembre à HADJILELE, en Octobre à la station 2, en Novembre à la 3, en Décembre à la 4 (fig. 6-4). Le maximum de la conductivité est atteint lentement à ces stations mais il est plus net que celui des eaux du CHARI. Il se produit en Août, sauf à la station 1 où l'on observe déjà une décroissance.

Dans l'archipel, le minimum est étalé de Décembre à Février aux stations 5 et 6; il se situe en Janvier ou Février aux 7, 8, 9, 10 et à BOL. Le maximum, généralement moins net, se situe entre Juillet et Octobre suivant les stations.

Dans les parties médiane et Nord on a observé une diminution générale des conductivités inférieure à 10 % en Janvier 1968 par rapport à Mars et Avril 1967.

6.3.2.4 Variations interannuelles

Les documents auxquels on peut se référer concernent les années 1908, 1957 et 1962 à 1968.

1908 : Il est difficile de savoir quelle signification apporter aux résultats d'analyses de la mission TILHO, les méthodes d'analyses employées étant à considérer avec suspicion pour ces eaux faiblement chargées. Les eaux prélevées en différents points de la partie Sud du lac auraient eu un résidu soluble de 93 mg/l (à BOL), c'est-à-dire plus faible que celui mesuré actuellement, mais des teneurs en chlore de 0,6 me/l, nettement supérieures à celles dosées en 1968.

TABLEAU 6-II

VALEURS de la CONDUCTIVITE en DIFFERENTES STATIONS
de la PARTIE SUD-EST (fig. 6-5)

Station	Maximum	Minimum	Moyenne	Intervalle de variation	Intervalle de variation relatif (%)
1	85	40	64	45	70
HADJILELE	103	45	78	58	74
2	88	53	69	35	51
3	92	59	73	33	45
4	98	60	76	38	50
5	103	74	88	29	33
6	127	98	112	29	26
BOL	135	109	125	26	21
7	171	123	139	48	35
8	210	163	181	47	26
9	400	293	344	107	31
10	407	346	380	61	16

Les eaux de la partie Nord du lac, dans les puits de bras récemment asséchés, étaient alors légèrement plus salées.

1957 : Une première carte de la conductivité de l'ensemble du lac a été tracée par E. GUICHARD (1957). A. BOUCHARDEAU (1958) a publié à partir de ces valeurs une carte de concentration des eaux en "natron". Elle montrait pour la première fois que la concentration en sels s'accroît vers le Nord en dessinant des courbes d'égales teneurs sensiblement concentriques au delta du CHARI.

Il ressort des comparaisons avec les cartes établies par nous-mêmes de 1966 à 1968, que la partie méridionale était plus minéralisée qu'actuellement tandis que l'inverse s'observe pour la zone septentrionale. Toutefois, au stade actuel de nos connaissances, il n'est pas impossible que cette différence soit en partie rattachable aux variations saisonnières des conductivités.

1962 - 1965 : La région Sud-Ouest du lac a été prospectée en diverses occasions par R. GRAS (inédit et 1967) et B. DUPONT (1967) sur l'itinéraire Delta du CHARI - BOL et dans l'archipel de BOL. Seule une carte, établie en Juillet 1962, montre des conductivités nettement plus élevées que toutes celles observées par la suite mais la cause est probablement à rattacher à l'époque de l'année qui fait suite aux apports mensuels les plus faibles et à toute la saison sèche, pendant laquelle l'évaporation est particulièrement intense. Aucune différence vraiment significative n'apparaît entre les autres mesures et celles effectuées 5 et 6 ans plus tard sur des itinéraires communs.

D'après ces documents antérieurs et ceux établis par nous-mêmes d'Octobre 1966 à Mars 1968, il n'est donc pas possible de déceler une évolution pluriannuelle orientée de la minéralisation des eaux du lac TCHAD. Ou les résultats ne sont pas assez sûrs, comme c'est le cas de ceux de 1908, ou les variations constatées ne sont pas assez marquées, pouvant être alors, au stade actuel de nos connaissances, rattachables aux variations saisonnières.

De toutes façons, au moins pendant la période 1957-1968, on peut conclure que les mécanismes de régulation des concentrations en sels des eaux du Lac TCHAD ont effectivement joué.

6.3.3 - Teneurs ioniques et minéralisation globale

Les teneurs en ions majeurs ont été déterminées sur des eaux prélevées dans le lac à différentes époques, de 1966 à 1968. Il s'agit donc de résultats bruts englobant les variations saisonnières. La majorité des échantillons proviennent des zones d'archipel et des bras côtiers (voir légende des figures).

Les teneurs minimales peuvent être considérées égales à celles des eaux du CHARI. Elles s'observent dans les eaux-libres immédiatement au large du delta.

6.3.3.1 Anions

Les teneurs maximales en chlorures et sulfates, à l'extrémité des bras de la partie septentrionale, ne dépassent pas 0,1 à 0,2 me/l suivant les points.

Nous ne considérons ici que l'alcalinité totale A. Elle représente la somme des teneurs en carbonates et bicarbonates, c'est-à-dire pratiquement la teneur totale en anions (puisque celles en chlorures et sulfates peuvent être considérées comme négligeables) et par suite la moitié de la teneur totale en ions (exprimée en me/l).

La valeur maximale dosée à l'extrémité du bras côtier le plus minéralisé que nous ayons prospecté dans la partie Nord, est de 17,6 me/l. Dans cette région les teneurs à l'extrémité des bras peuvent atteindre assez fréquemment 13 à 14 me/l.

6.3.3.2 Cations

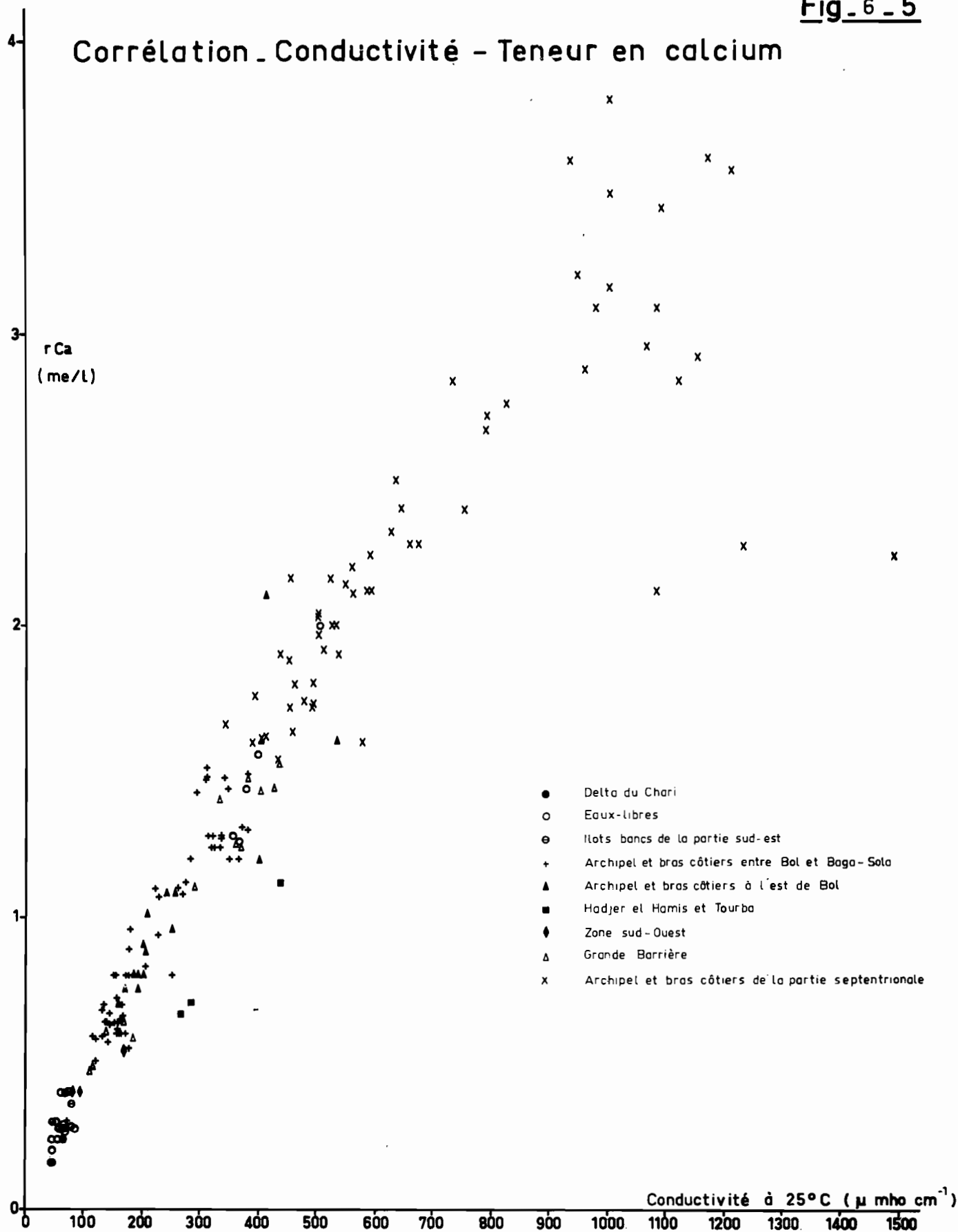
Les valeurs maximales (en me/l) qui ont été déterminées sont mentionnées ci-dessous :

calcium	:	3,8
magnésium	:	4,0
sodium	:	9,0
potassium	:	2,8

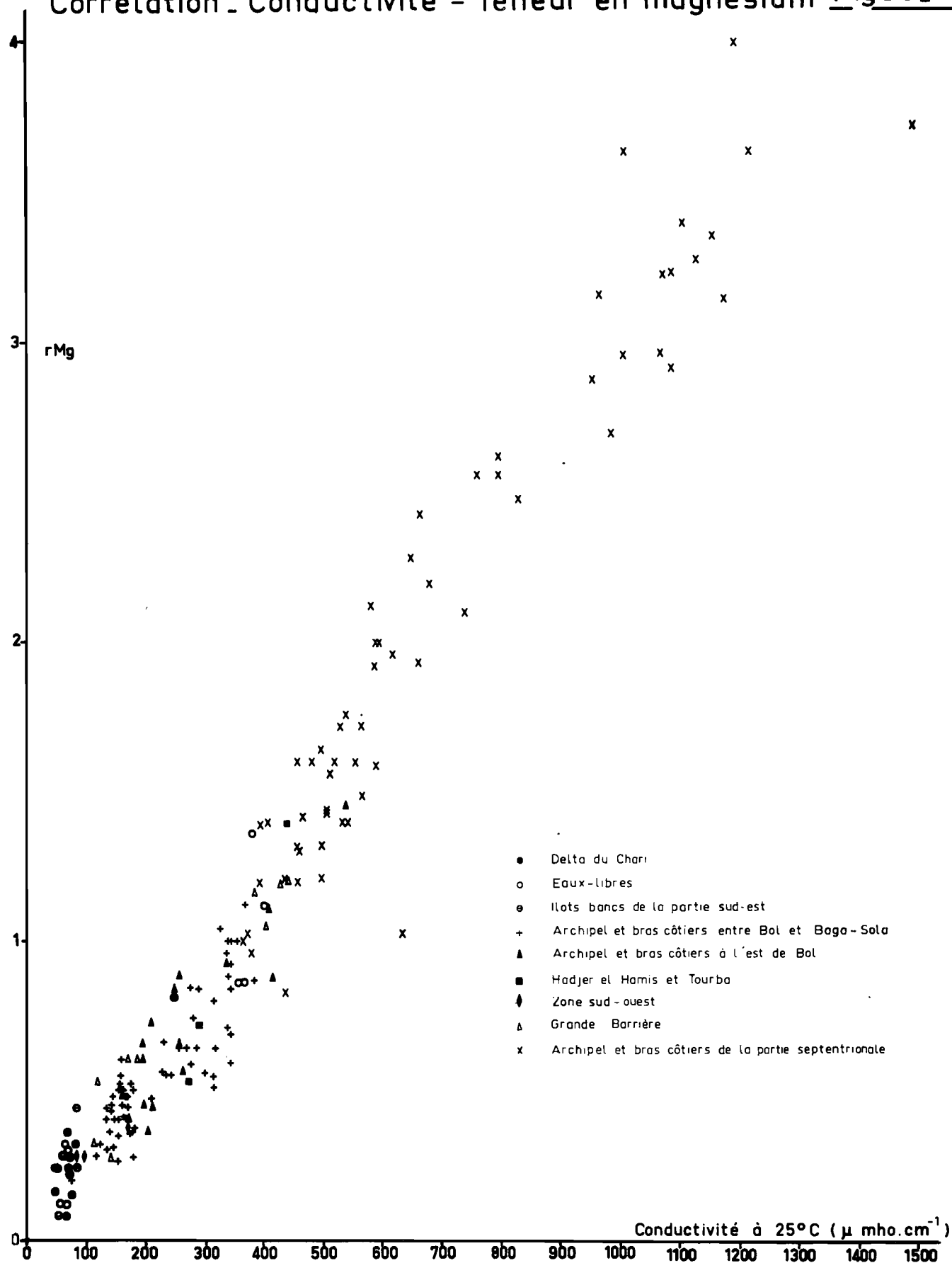
Les corrélations entre la conductivité et les teneurs en ces différents ions (fig. 6-5 à 6-8) permettent de définir une gamme de valeurs pour une conductivité donnée (que l'on peut lire sur les cartes établies) et une région déterminée, différentes zones du lac ayant été considérées (voir légende).

Fig. 6 - 5

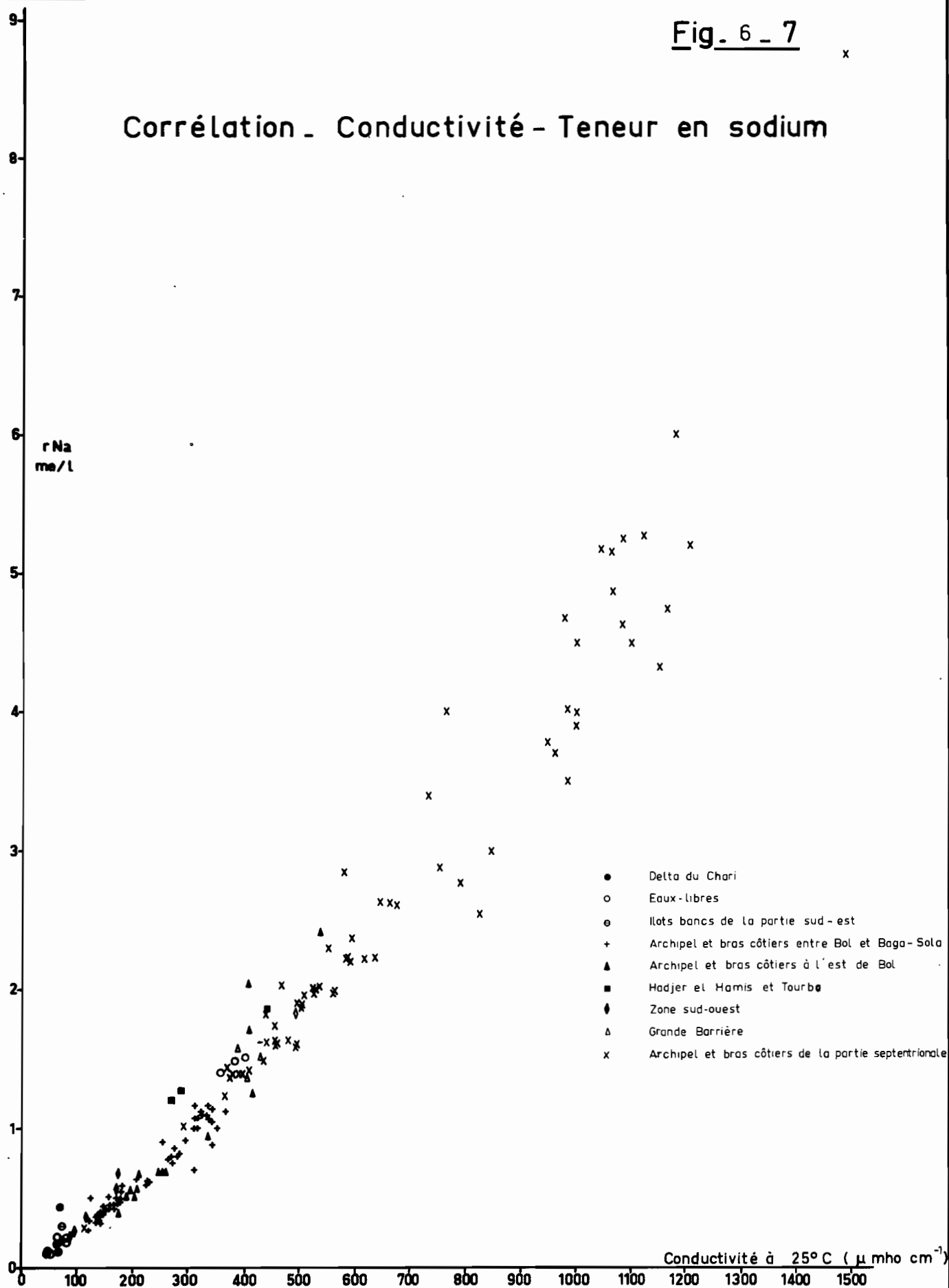
Corrélation - Conductivité - Teneur en calcium



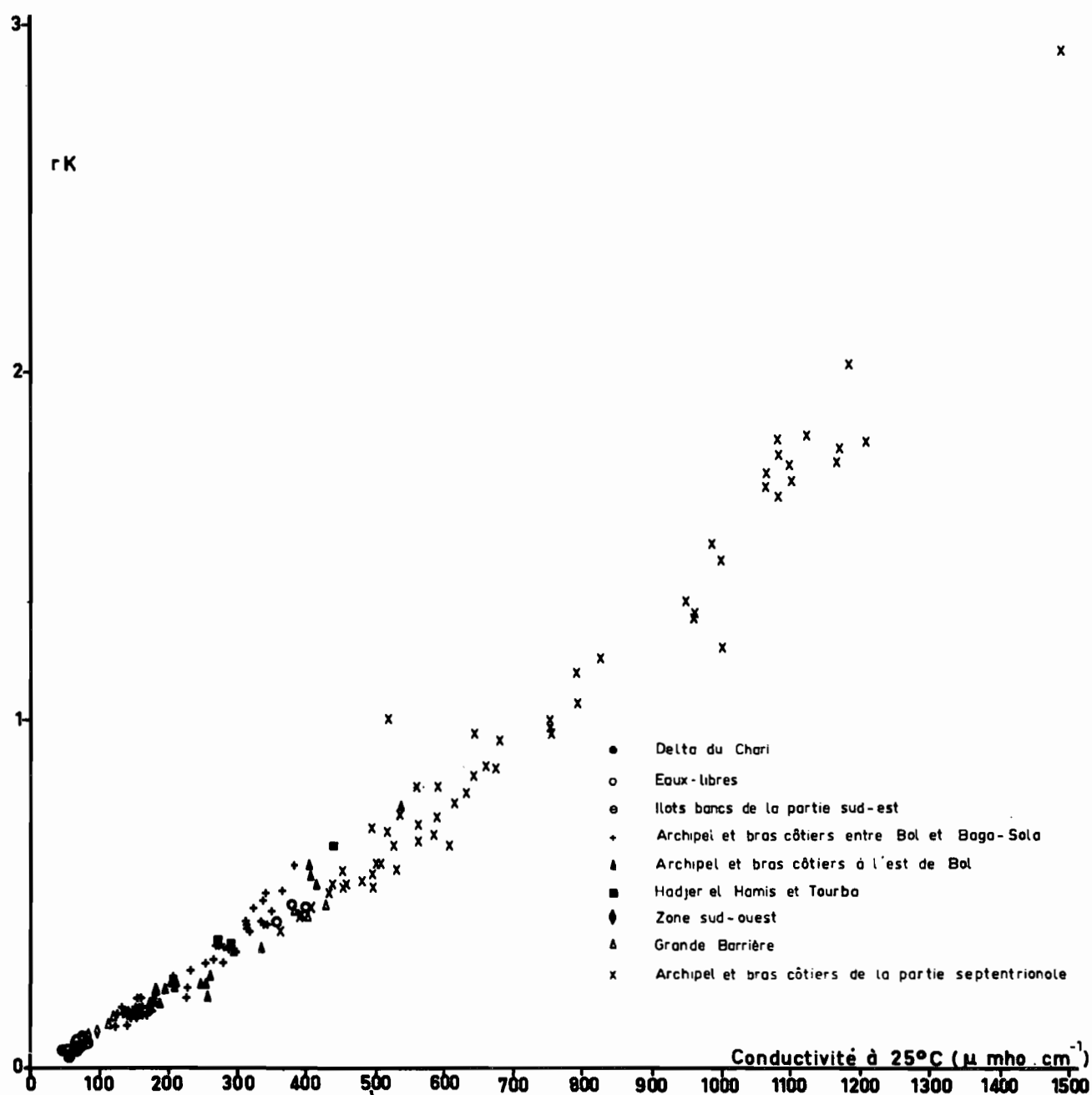
Corrélation - Conductivité - Teneur en magnésium Fig. 6 - 6



Corrélation - Conductivité - Teneur en sodium



Corrélation - Conductivité - Teneur en potassium



6.3.3.3 Minéralisation globale

Les corrélations $RS = f(C)$ et $p = f(C)$ donnant le résidu soluble et le poids d'ions dissous en fonction de la conductivité ont été établies d'après des mesures effectuées en 1965, 1966 et surtout 1967 sur les eaux du CHARI et du Lac TCHAD. (Les valeurs les plus élevées correspondent à des eaux des nappes et mares de la bordure Nord-Est).

Les courbes $RS = f(C)$ et $p = f(C)$ (fig. 6-9 et 6-10) peuvent se décomposer en un certain nombre de droites dont voici les équations :

C		RS = f (C)	p = f (C)
30 - 110		$RS = 0,713 C + 29$	$p = 0,700 C + 13$
110 - 400		-	$p = 0,845 C - 3$
400 - 1 500		$RS = 0,733 C + 24$	$p = 0,870 C - 13$

La corrélation $p = f(C)$ est également définie par $p = C^{0,975}$ pour $C > 125$.

Les poids sont exprimés en mg/l, les conductivités à 25°C en μ mhos/cm.

La corrélation $rp = f(C)$ donnant la teneur totale en ions (me/l) peut être déduite directement de $RA = f(C)$, en doublant les valeurs lues. RA est, rappelons-le, l'alcalinité totale (me/l).

La corrélation $RA = f(C)$ (fig. 6-11) est relativement bonne mais les deux catégories de résultats obtenus, soit par dosage volumétrique et indicateurs colorés (1966-1968), soit par titrage potentiométrique (1968), définissent deux courbes voisines. Les valeurs les plus élevées sont déterminées par potentiométrie. L'écart, peu important pour les teneurs de RA inférieures à 1 me/l, atteint 8 % pour celles de l'ordre de 7 me/l.

Dans les différentes zones du lac, la corrélation semble être la même pour les eaux d'égales conductivités. On peut en déduire que les courbes d'égales teneurs globales en ions ont des tracés analogues à ceux des courbes d'égales conductivités.

6.3.4 - Teneurs ioniques relatives

6.3.4.1 Evolution des teneurs relatives en fonction de la minéralisation globale et de la localisation des eaux

Nous avons reporté sur un graphique (fig. 6-12 à 6-15) la somme des cations $r_p +$ (en me/l) en abscisses et la composition relative en ordonnées (par exemple : $100 \frac{r}{r_{Na}}$). La distribution des points permet d'étudier l'évolution des r_{p+} teneurs en fonction de l'augmentation de la minéralisation globale. Ce graphique permet également de déterminer la teneur absolue, en multipliant l'ordonnée d'un point par son abscisse. La dispersion des résultats est due aux erreurs d'analyse et aux variations naturelles des compositions. La grande majorité des valeurs se regroupe cependant dans un intervalle que nous avons défini sur les figures et il est possible de déterminer des valeurs moyennes.

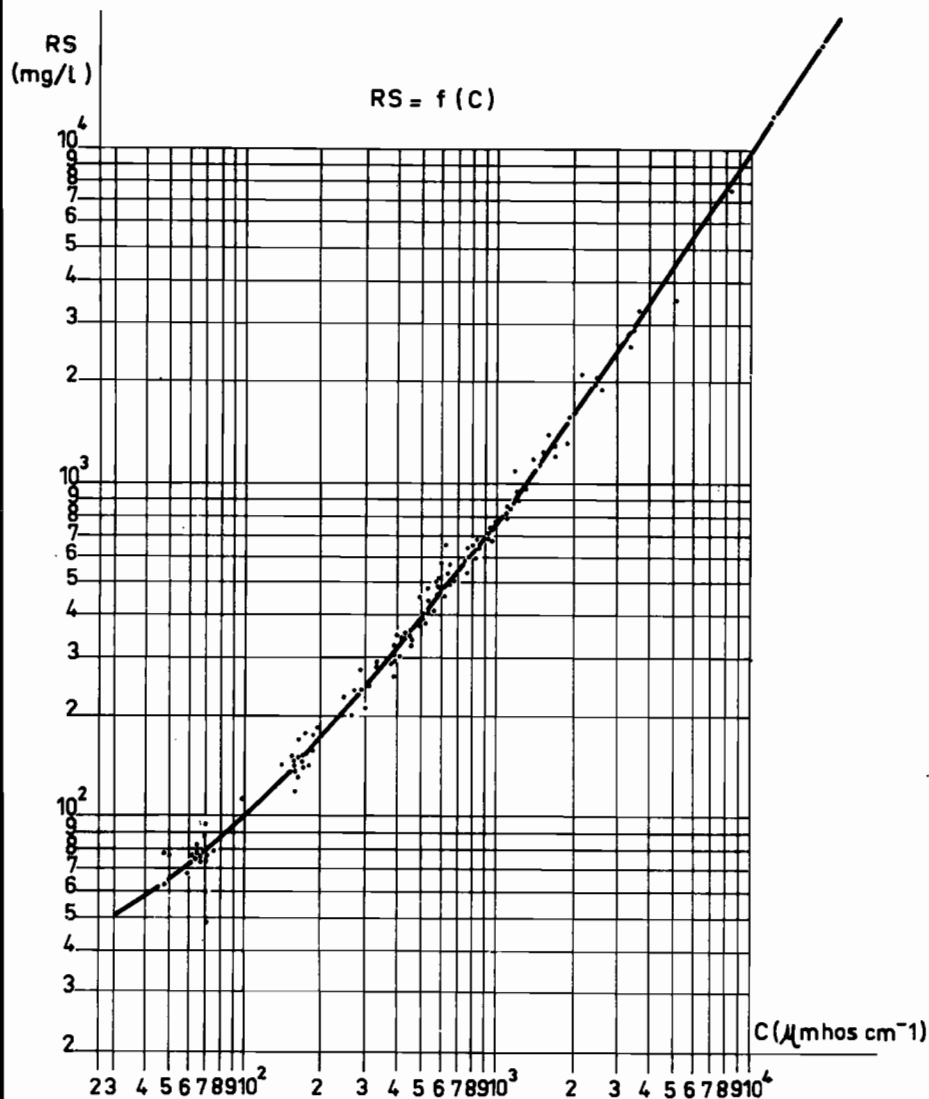
Avec l'augmentation de la minéralisation globale, la teneur relative en calcium tend à décroître tandis que celles en sodium et potassium croissent. Celle en magnésium reste pratiquement stable.

Calcium (fig. 6-12) : les valeurs observées représentent normalement 45 à 12 % de la teneur en cations qui varient de 0,5 à 17,6 me/l. Les concentrations moyennes sont de l'ordre de 35 à 40 % à l'extrémité des bras de la partie Sud, tandis qu'elles s'échelonnent de 34 à 25 % dans ceux de la partie Nord.

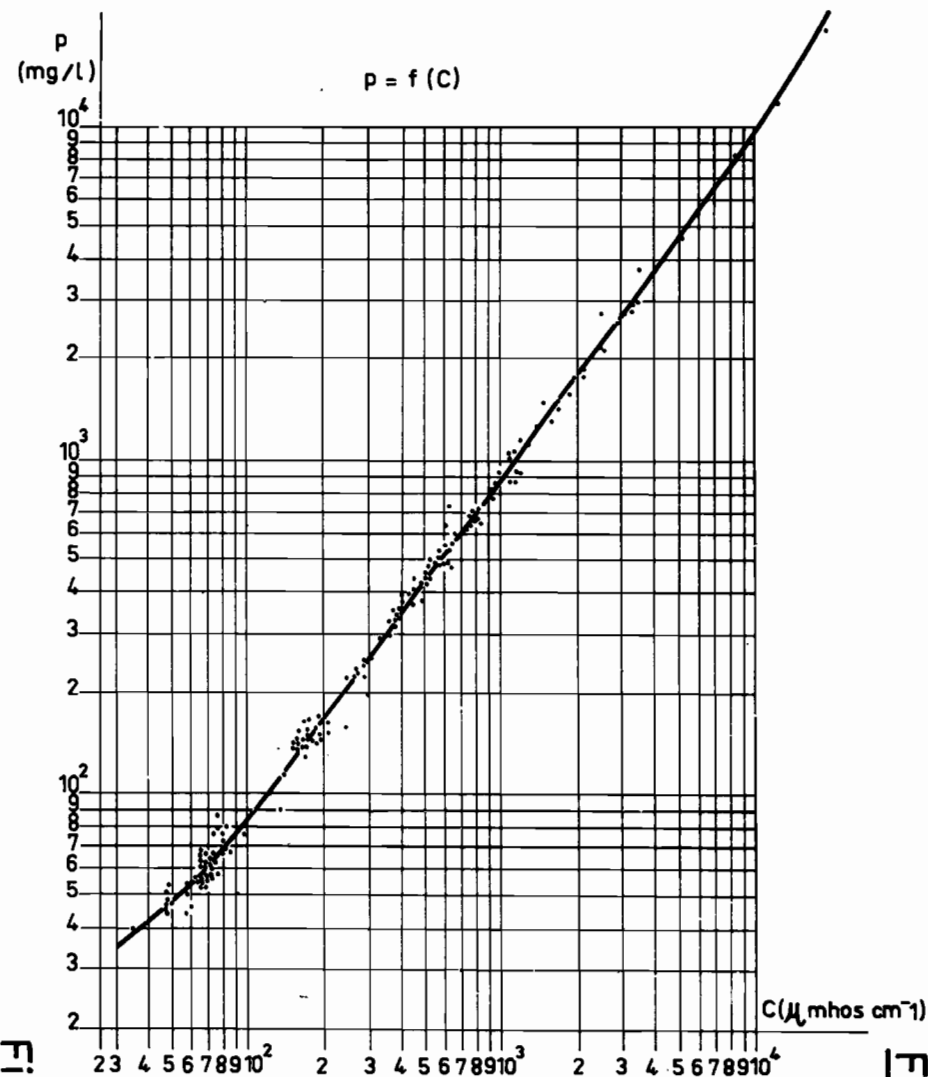
Remarquons que sur la côte méridionale les teneurs apparaissent nettement plus basses (22 à 24 %) pour une minéralisation globale relativement faible.

A partir d'une teneur en cations de 7 me/l, la décroissance de la concentration en calcium s'accélère, pour atteindre des valeurs très basses à l'extrémité des bras les plus minéralisés.

Magnésium (fig. 6-13) : les valeurs varient entre 30 à 17 % pour des teneurs globales supérieures à 1 me/l. Dans l'ensemble, la moyenne de 25 % paraît très peu évoluer avec l'augmentation de la minéralisation totale.

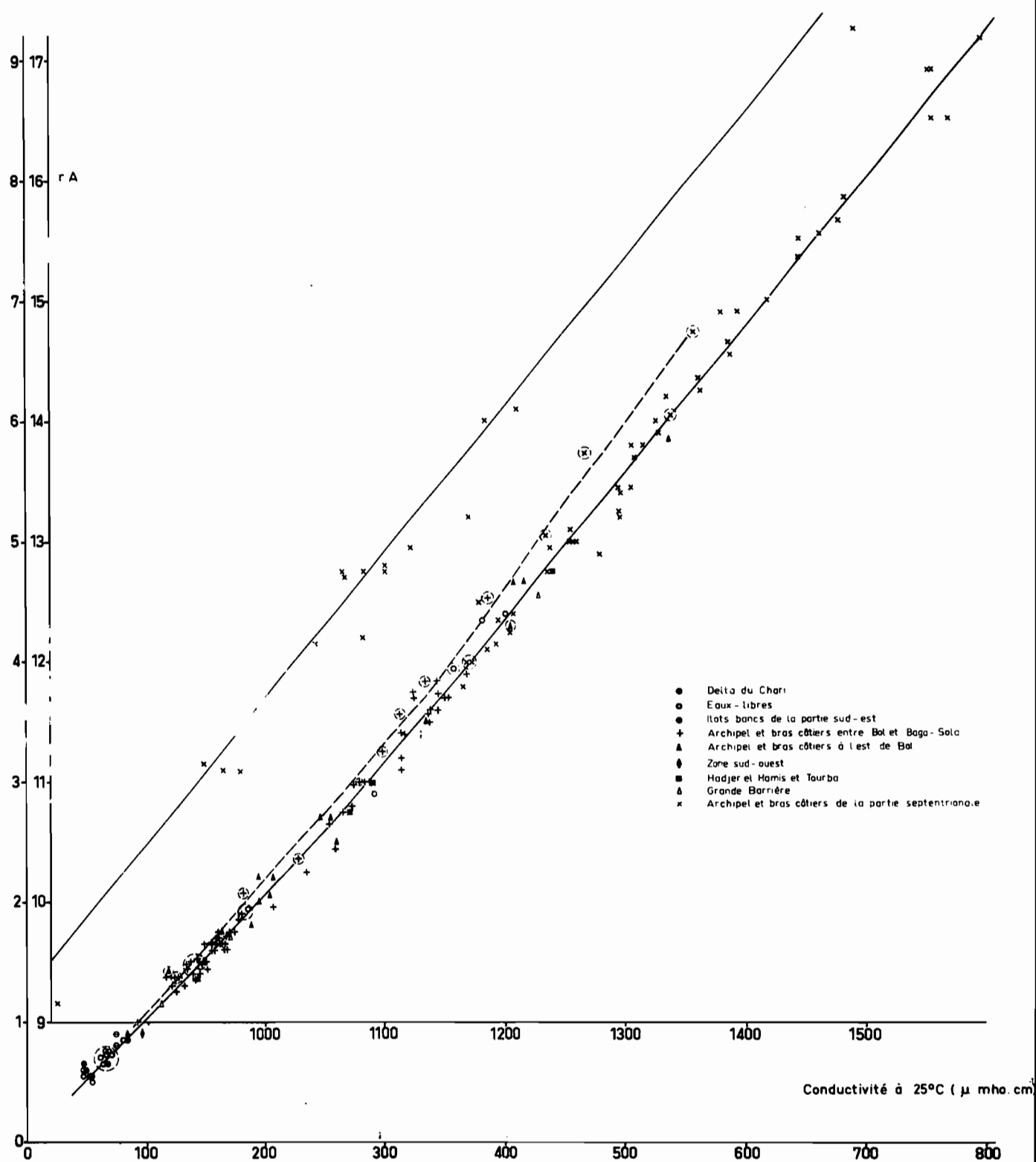


Corrélation : Résidu soluble. Conductivité



Corrélation : Poids d'ions en solution.
Conductivité

Corrélation - Conductivité - Alcalinité totale



Corrélation Teneur en calcium - Teneur totale en cations

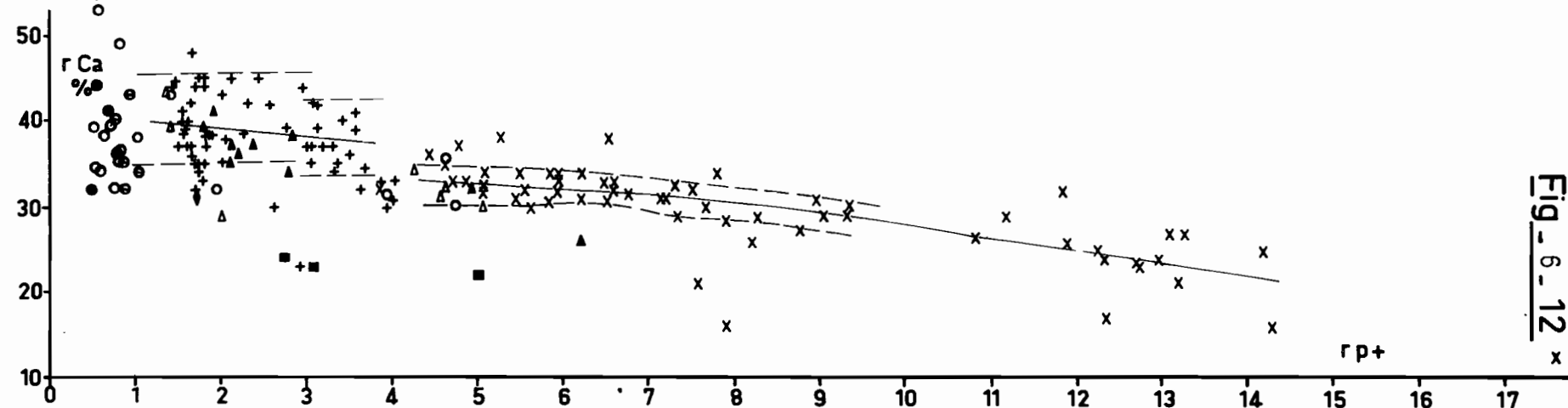


Fig. 6. 12

Corrélation Teneur en magnésium - Teneur totale en cations

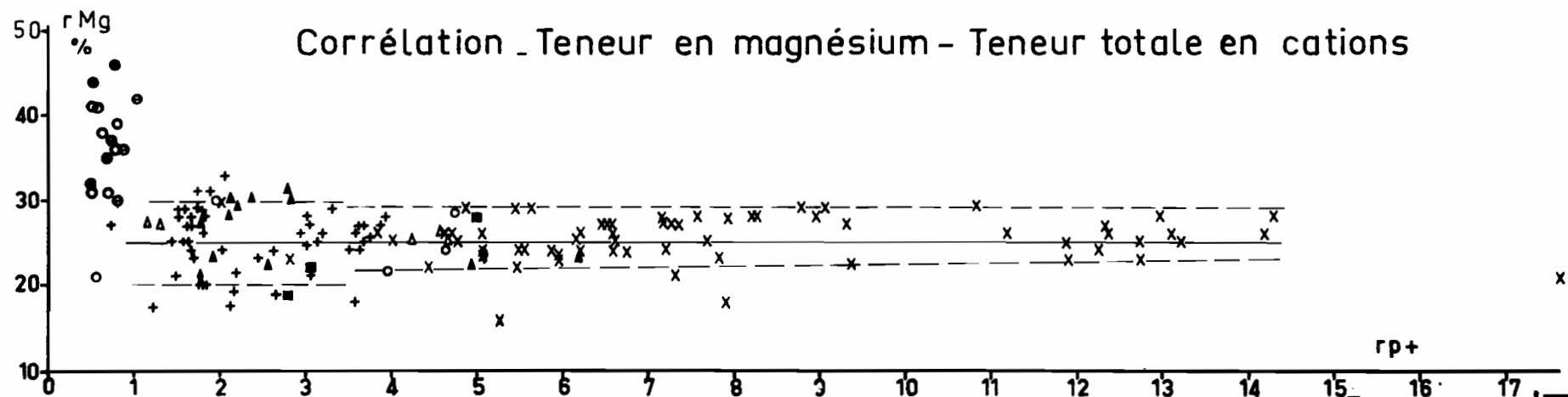
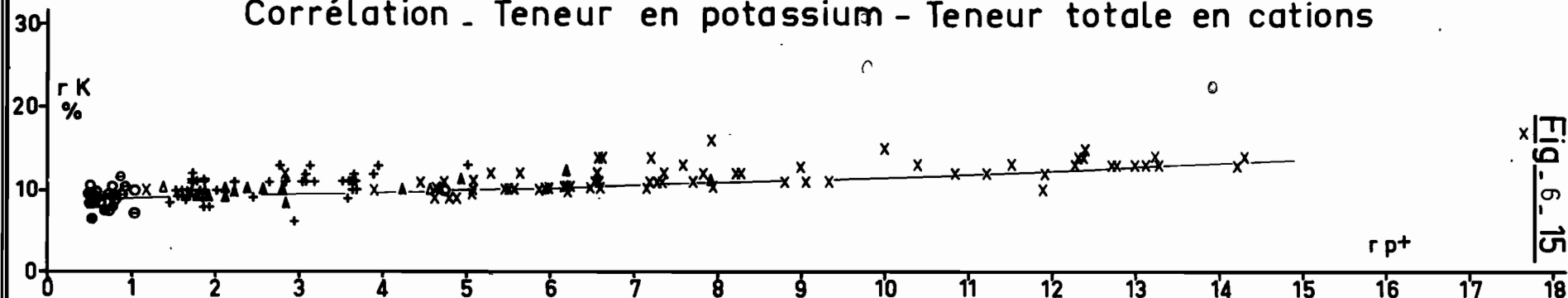


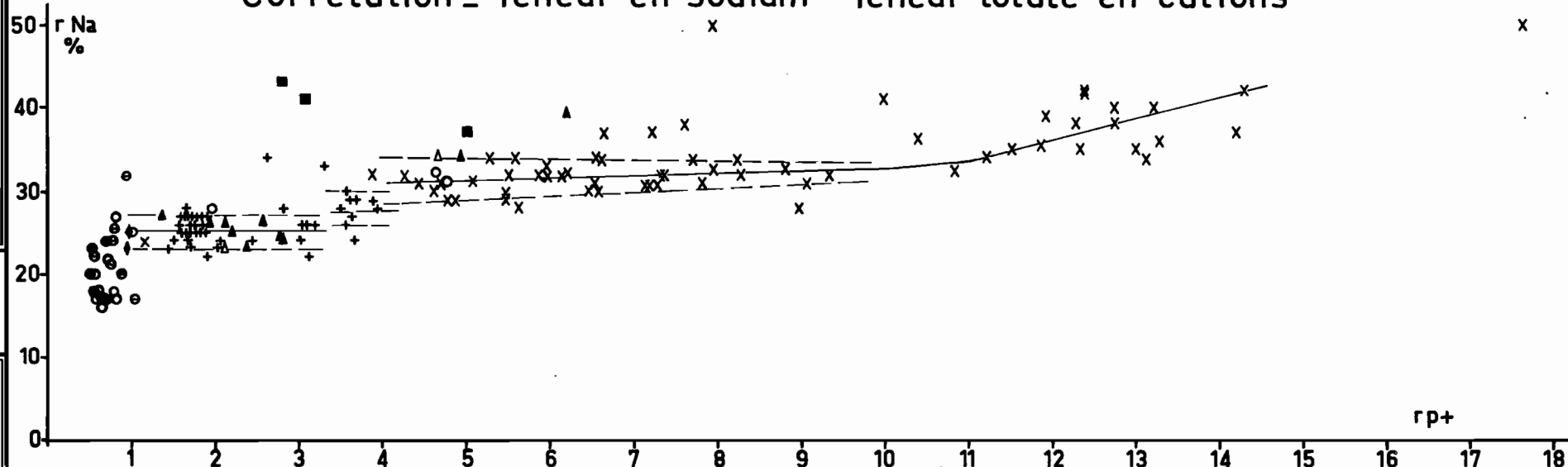
Fig. 6. 13

- | | | |
|------------------------------------|---|--|
| ● Delta du Chari | + Archipel et bras côtiers entre Bol et Baga-Sola | ◆ Zone sud-ouest |
| ○ Eaux-libres | ▲ Archipel et bras côtiers à l'est de Bol | △ Grande Barrière |
| ○ Ilots bancs de la partie sud-est | ■ Hadjer el Hamis et Tourba | x Archipel et bras côtiers de la partie septentrionale |

Corrélation - Teneur en potassium - Teneur totale en cations



Corrélation - Teneur en sodium - Teneur totale en cations



- | | | |
|------------------------------------|---|--|
| • Delta du Chari | + Archipel et bras côtiers entre Bol et Baga-Sola | ◆ Zone sud-ouest |
| ○ Eaux-libres | ▲ Archipel et bras côtiers à l'est de Bol | △ Grande Barrière |
| ◊ Ilots bancs de la partie sud-est | ■ Hadjer el Hamis et Tourba | x Archipel et bras côtiers de la partie septentrionale |

Sodium (fig. 6-14) : les teneurs moyennes évoluent de 22 à 42 %. Dans les bras de l'archipel Sud, les valeurs sont comprises entre 24 et 27 % avec une moyenne de 25 %; dans les plus minéralisés, elles atteignent 28 %. Dans ceux de la partie septentrionale, elles se groupent autour de 32 %, pour une teneur en cations comprise entre 4 et 10 me/l.

Pour des minéralisations supérieures, elles s'accroissent alors plus rapidement jusqu'à 40 %.

Potassium (fig. 6-15) : les concentrations varient de 9 à 14 %. L'accroissement moyen est régulier, de l'ordre de 0,3 % pour un accroissement de 1 me/l de la teneur en cations.

6.3.4.2 Evolution des rapports caractéristiques en fonction de la minéralisation globale et de la localisation des eaux

Nous avons reporté sur un graphique (fig. 6-16, 6-17 et 6-18), en abscisses la somme des cations $rp+$ et en ordonnées la valeur du rapport caractéristique étudié (par exemple $r \frac{Mg}{Ca}$). L'évolution des rapports $r \frac{Mg}{Ca}$, $r \frac{Na}{K}$ et $r \frac{Na}{Ca}$ sera ainsi suivie, en fonction de la minéralisation globale. La dispersion des résultats est due aux erreurs d'analyses et aux variations naturelles du rapport.

$r \frac{Mg}{Ca}$: dans la partie méridionale, les valeurs varient de 0,4 à 0,9 avec une moyenne de 0,7, montrant une légère tendance à décroître avec l'augmentation de la minéralisation globale (fig. 6-16). Sur la côte méridionale, elles sont plus élevées : 0,8 à 1,25. Dans la Grande Barrière et les eaux libres du Nord, la valeur moyenne semble être de 0,8. Dans l'archipel et les bras côtiers de la partie septentrionale, les valeurs croissent de 0,7 à 0,8 quand la teneur en cations passe de 4 à 8 me/l. Pour des minéralisations plus fortes, l'accroissement du rapport s'accélère. Ceci correspond évidemment à la diminution des teneurs relatives en calcium puisque celles en magnésium varient peu.

$r \frac{Na}{K}$: dans la partie méridionale, les valeurs s'échelonnent entre 2,15 et 2,90, avec une valeur moyenne de 2,5 (fig. 6-17). Les points de la côte Sud montrent des valeurs plus élevées s'étalant de 2,9 à 3,4. Dans la Grande Barrière et les eaux libres du Nord se distinguent aussi des valeurs relativement élevées de 3,2 à 3,5. Puis dans l'archipel et les bras côtiers de la partie Nord on assiste à une décroissance du rapport dont les valeurs moyennes passent de 3,2 à 2,8 pour une teneur totale en cations de 4 à 8 me/l. Ensuite le rapport moyen, de 2,8, n'évolue plus avec l'augmentation de la minéralisation globale.

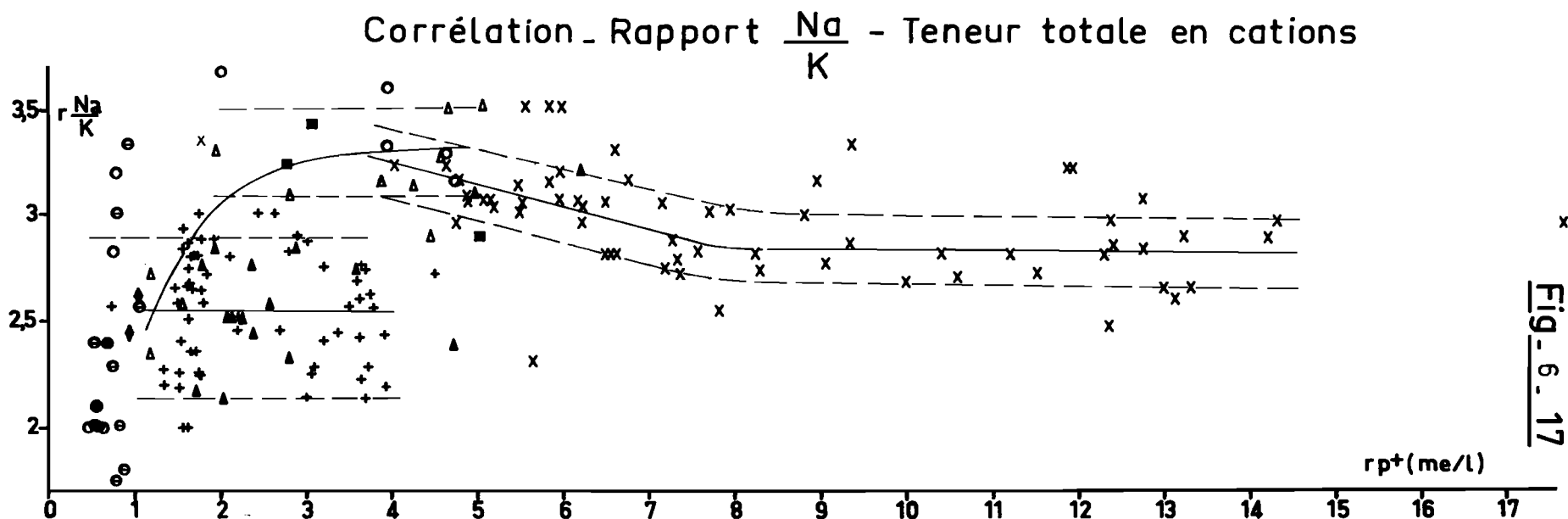
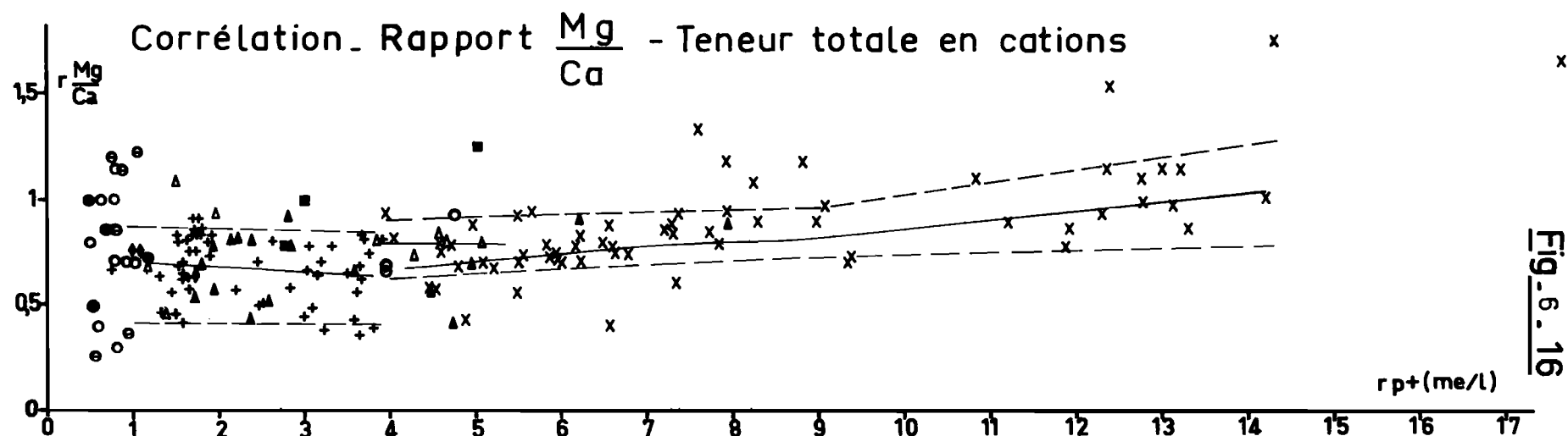
$r \frac{Na}{Ca}$: dans la partie méridionale le rapport s'accroît avec la teneur totale (fig. 6-18). Les valeurs moyennes évoluent ainsi de 0,6 à 0,9. Sur la côte Sud, les valeurs exceptionnellement élevées de 1,65 à 1,80 sont à mettre en relation avec la baisse relative de la teneur en calcium et l'augmentation de celle en sodium. Dans la Grande Barrière et les eaux libres du Nord, pour des minéralisations comparables, les rapports sont beaucoup plus élevés que dans la partie Sud. Les valeurs peuvent atteindre 1,2 et la moyenne 1,05 pour les minéralisations les plus fortes. Dans l'archipel et les bras côtiers de la partie Nord, pour une concentration totale en cations inférieure à 11 me/l, les valeurs minimales ne dépassent pas le plus fréquemment 0,90, les maximales 1,1 à 1,2, la valeur moyenne évolue de 0,95 à 1,05. Pour une minéralisation supérieure et jusqu'à 14 me/l, le rapport s'accroît rapidement jusqu'à des valeurs moyennes de 1,7.

6.4 - INTERPRETATION des RESULTATS

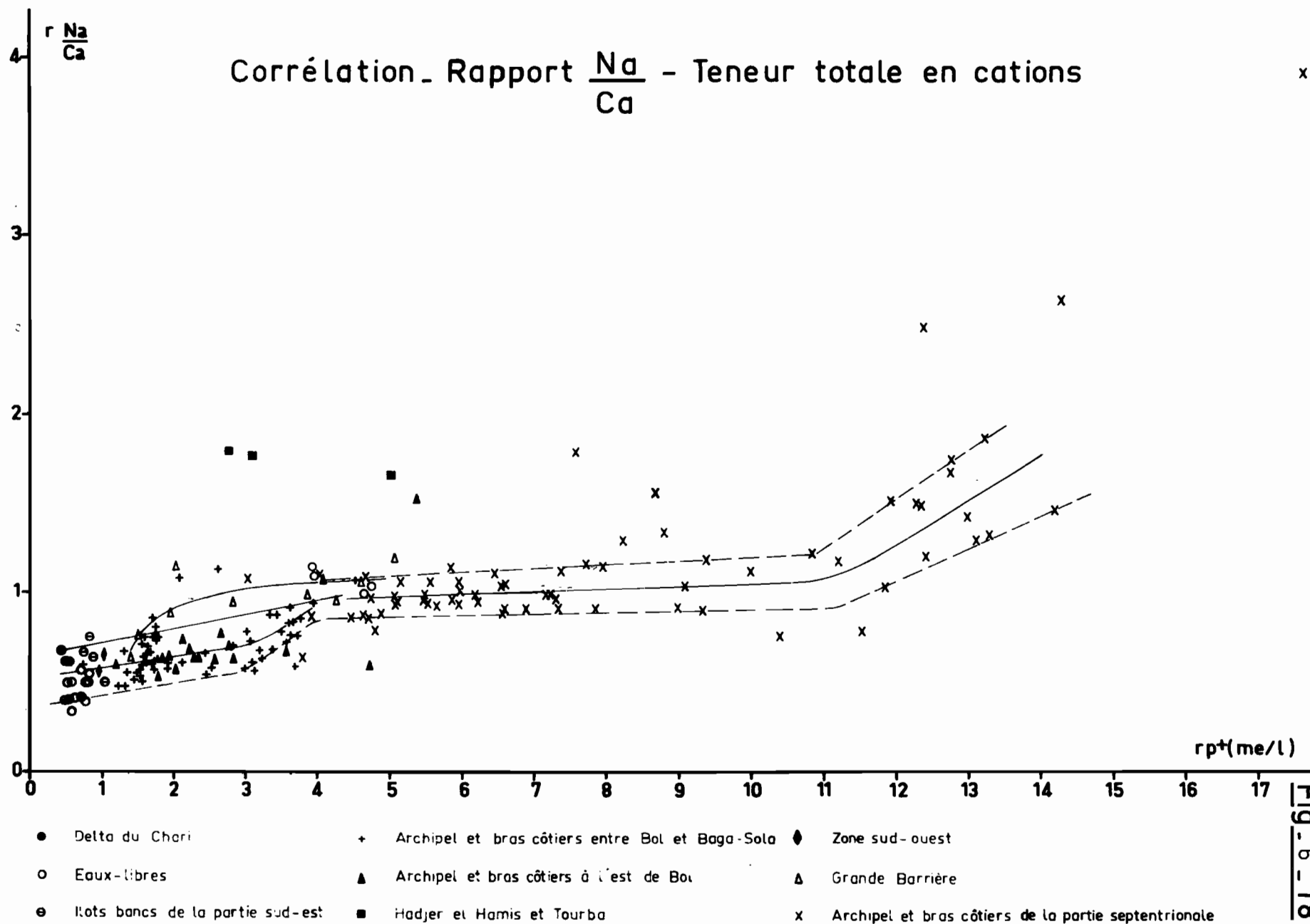
6.4.1 - Mécanismes régissant les variations de la conductivité des eaux

6.4.1.1 Eaux du CHARI à FORT-LAMY

La croissance de la conductivité à partir de la mi-Août s'explique par le début du ruissellement intensif qui lessive de grandes surfaces. Le maximum étalé d'Avril-Mai est dû à l'apport d'eaux souterraines et à l'évaporation particulièrement intense qui s'exerce sur les eaux de surface des plaines inondées.



- | | | |
|------------------------------------|---|--|
| ● Delta du Chari | + Archipel et bras côtiers entre Bol et Baga-Sola | ◆ Zone sud-ouest |
| ○ Eaux libres | ▲ Archipel et bras côtiers à l'est de Bol | △ Grande Barrière |
| ◐ Ilots bancs de la partie sud-est | ■ Hadjer el Hamis et Tourba | x Archipel et bras côtiers de la partie septentrionale |



Les eaux des premières petites crues de Mai et Juin apparaissent moins chargées; ce n'est qu'avec l'amorce de la grande crue que le minimum, beaucoup plus net que le maximum, sera atteint les premiers jours d'Août.

Certaines variations pourraient s'expliquer par les apports conjugués de différents affluents et zones d'inondation, mais le plus curieux est de constater que les premiers ruissellements produisent en général les eaux les moins chargées de l'année. En fait, les premières pluies ne suffisent pas à saturer les terrains ou à remplir les zones topographiquement déprimées où les **sels** se sont concentrés pendant la saison sèche et ce n'est qu'après une certaine hauteur de pluie que ces zones ruisselleront, alimentant alors les rivières en eaux plus chargées.

6.4.1.2 Eaux du Lac

Les variations dans l'espace et le temps des conductivités des eaux du lac sont sous l'influence directe de l'évaporation, de l'arrivée de la crue annuelle des tributaires et du déplacement des masses liquides.

6.4.1.2.1 Augmentation de la minéralisation par évaporation

L'évaporation est le facteur de l'augmentation de la concentration en sels des eaux du lac.

A. BOUCHARDEAU (1958) précisait que la concentration en sels d'un courant augmente progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la source (le delta du CHARI) en perdant de l'eau douce par évaporation. La perte par évaporation entre deux points A et B d'un "tube de courant" s'exprime par :

$$Q = Q_0 - KS$$

K étant la constante d'évaporation en cm/s,
Q₀ et Q les débits aux points A et B,
S la surface d'évaporation du tube de courant.

On assiste ainsi progressivement, en s'éloignant du delta, à une diminution des volumes d'eau et à une augmentation de la concentration. Ceci se traduit par un rapprochement des courbes d'égale conductivité. La concentration dépend essentiellement du temps de séjour des eaux dans le lac, mais d'autres facteurs interviennent :

- Les variations saisonnières de l'évaporation (voir parag. 2-6 et chap. 5).

- La concentration initiale des eaux : plus elle est élevée, plus l'amplitude de la variation absolue sera grande sous l'effet de l'évaporation, ce qui contribue à expliquer les observations de 1964 et 1965.

- La profondeur : les conductivités plus élevées dans la région de la Grande Barrière, la croissance relativement rapide et générale des valeurs dans les zones d'îlots-bancs ou de faibles profondeurs conduisent à mettre partiellement en cause l'influence directe de l'épaisseur de la lame d'eau sur les concentrations. Pour une même conductivité initiale, l'augmentation sous l'influence de l'évaporation sera d'autant plus forte que l'épaisseur d'eau sera faible.

6.4.1.2.2 Influence directe de l'arrivée des eaux des tributaires

La quantité et la qualité des eaux qui se déversent dans le lac expliquent en grande partie les variations des conductivités dans les zones proches des débouchés et en particulier les inversions de gradient.

R. GRAS (1964), d'après les résultats obtenus d'Août à Décembre 1964, expliquait ainsi le mécanisme des variations dans les eaux libres : durant la montée des eaux, l'action adoucissante des eaux du CHARI se fait sentir d'abord au voisinage du delta, puis peu à peu dans toutes les eaux libres. Il peut arriver, qu'à une certaine distance du delta, la conductivité soit plus basse que celle du CHARI, car la conductivité de celui-ci a augmenté entre temps. Au maximum de la crue, elle est assez uniforme et de l'ordre de 60. Elle doit à nouveau augmenter en même temps que

celle du CHARI, puis le débit de ce dernier devenant peu à peu insignifiant, l'évaporation provoque un enrichissement progressif des eaux en sels dissous et la conductivité atteindra probablement à nouveau des valeurs voisines de 85 à 90 au début de la crue suivante.

Les gros volumes déversés par le CHARI d'Août à Janvier ne doivent pas dépasser, avant la crue suivante, une certaine distance à compter du delta. La zone ainsi remplie est fonction de l'importance de la crue. A l'Ouest et au Nord-Ouest (Grande Barrière) la limite de pénétration semble être plus complexe en raison de zone de circulation préférentielle. Les eaux de la crue du CHARI sembleraient se frayer des chemins à travers les masses d'eau à conductivités plus élevées d'après les observations de Mars-Avril 1967 et Janvier 1968. Il est probable que les mélanges soient alors importants car les conductivités relativement plus fortes indiquent qu'il ne s'agit pas franchement des eaux du CHARI déversées la même année.

- L'EL BEÏD contribue à alimenter la zone Sud-Ouest du lac en eaux plus minéralisées que celles du CHARI (>100), pouvant y expliquer en grande partie les valeurs relativement élevées de Mars 1968. Il est probable que dans cette zone se côtoient et se mélangent plus ou moins des masses liquides d'origines différentes (CHARI, SERBEQUEL, EL BEÏD et YEDSERAM).

- La KOMADOUGOU ne peut exercer qu'une influence locale de faible ampleur compte tenu des volumes d'eau apportés au lac.

- L'influence des pluies n'apparaît pas nettement dans la partie Sud-Est du lac, aucune diminution de la conductivité n'étant apparue en Juillet 1962 et pendant la saison des pluies de 1964 et 1965.

6.4.1.2.3 Variations dues aux déplacements des masses liquides

En 1964-1965, dans l'archipel au Nord du delta, le minimum de la conductivité se situait entre Décembre et Février suivant les stations et le maximum entre Juillet et Octobre. Ce phénomène est en rapport avec la poussée de la crue du CHARI.

A partir d'Août, au déversement des forts débits dans le lac, les eaux arrivées à la crue précédente et qui s'étaient déplacées très peu de Mars à Juillet, sont refoulées pour laisser leur place à celles de la nouvelle crue. Donc au-delà de la zone soumise à l'influence directe de l'arrivée des eaux des tributaires, du CHARI en particulier, on assiste à un décalage des masses liquides tendant à les éloigner du débouché des fleuves.

En une station de cette zone non soumise à l'influence directe des eaux des tributaires, la variation saisonnière de la minéralisation des eaux apparaît essentiellement comme la résultante de ce décalage et de l'évaporation. Tant que l'effet du décalage l'emporte sur celui de l'évaporation, on observe la décroissance des conductivités, et vice-versa. Toutefois les autres causes du déplacement des masses liquides peuvent également interférer. En 1964-1965, il semble que le minimum se soit produit d'autant plus tard que la station était éloignée du delta.

L'amplitude de la variation annuelle croît avec la conductivité, bien que le décalage des courbes dans l'espace, sous la poussée de la crue, soit d'autant plus faible que les valeurs de la conductivité sont fortes. Cependant, les courbes de forte conductivité étant d'autant plus serrées que leur valeur est élevée, un petit décalage donne lieu à une grande variation de la conductivité.

Ce décalage dans l'espace est mieux traduit en considérant la variation relative de la conductivité, calculée par exemple par rapport à la moyenne annuelle, qui est plus en relation avec la distance séparant les courbes du delta et qui tient compte de la minéralisation initiale. Le tableau 6-II mentionne les valeurs maximales, minimales et moyennes aux diverses stations, ainsi que l'intervalle de variation relatif à la moyenne en 1964-1965.

Les autres phénomènes pouvant jouer un rôle secondaire dans le déplacement des masses liquides sont :

- Les vents : l'Harmattan, de secteur Nord-Est, pourrait créer un déplacement des eaux de la Grande Barrière vers le Sud et contribuer à expliquer les concentrations relativement élevées à l'Est-Nord-Est du delta.

- L'évaporation et les précipitations, différentes d'une région à l'autre.

- Les oscillations journalières du niveau du lac : elles créent des courants locaux souvent importants dans les bras de l'archipel et sont susceptibles d'expliquer certaines variations irrégulières parfois constatées d'un mois à l'autre.

Interviennent enfin dans le déplacement des masses liquides des facteurs morphologiques, tels que la bathymétrie générale du lac, la largeur et la profondeur des bras, la disposition des côtes, des îles, des îlots-bancs, des hauts-fonds etc...

6.4.2 - Interprétation des variations de teneurs ioniques

- L'évolution des compositions relatives dans la Grande Barrière et les eaux libres du Nord est différente de celle de la zone méridionale où l'on peut observer des minéralisations globales analogues (fig. 6-16, 6-17 et 6-18). Ceci apparaît le plus nettement dans les rapports $\frac{Na}{K}$ et $\frac{Mg}{Ca}$. En Mars et Avril 1967 et Janvier 1968, la Grande Barrière correspond à une zone de différenciation des compositions relatives.

Il est plus difficile de comparer les évolutions dans les archipels Nord et Sud, en raison de l'absence de points à minéralisation totale de même valeur. Cependant la brusque rupture entre ces deux zones qui s'observe sur certains graphiques (fig. 6-12, 6-14, 6-17 et 6-18) semble montrer deux modes d'évolution distincts. Dans celle du Sud les teneurs relatives en sodium et le rapport $\frac{Na}{K}$ sont nettement plus faibles, tandis que la teneur en calcium est plus élevée. Ceci apparaît également dans les valeurs du rapport $\frac{Na}{Ca}$. Toutefois cette différence tend à s'estomper dans les bras les plus minéralisés de la partie Sud où les compositions se rapprochent de celles des bras les moins minéralisés de la partie Nord, ce qui tendrait à indiquer qu'il ne s'agit par forcément de différence locale mais peut-être d'une évolution normale en fonction de l'augmentation de la minéralisation.

- Les principaux phénomènes qui pourraient modifier les compositions relatives des ions sont des dissolutions et précipitations de sels, des échanges de base entre l'eau, les sédiments et les matières en suspension, des oxydo-réductions pouvant être à l'origine de précipitations ou de mises en solution, des absorptions

et des restitutions de sels par la faune et la flore suivant des cycles plus ou moins complexes et fermés. Un apport de sels extérieurs au lac se produit par les pluies et les vents, mais il est d'autant moins sensible que la concentration est forte.

Il est difficile de savoir quels sont parmi ces phénomènes ceux qui régissent l'évolution des compositions relatives, car il est probable que plusieurs interfèrent, alors qu'au stade actuel de nos connaissances nous n'observons que la résultante. Considérée globalement, l'évolution en fonction de l'augmentation de la minéralisation globale peut se résumer à une diminution relative des teneurs en Ca, une stabilité de celles en Mg, une augmentation de celles en Na et secondairement en K.

Si l'on compare l'évolution des teneurs relatives en Ca et Na, on remarque une certaine symétrie que l'on peut retrouver d'ailleurs dans celles de Ca + Mg et Na + K : l'augmentation en Na et secondairement en K compense la diminution en Ca et incite à penser à des phénomènes d'échanges, sans pouvoir trancher vraiment.

La perte éventuelle de Ca (fig.6-12) par précipitation ou utilisation biologique devrait entraîner une augmentation relative de Mg comme celle qui se produit pour Na et K. Ceci ne se réalise pas, et il faudrait alors concevoir une perte concomitante de Mg, compensant l'augmentation due à la perte de Ca.

Des encroûtements carbonatés actuels, probablement calciques, que nous avons observés en Avril 1967, à l'extrémité de certains bras côtiers, au Nord du lac, est un argument en faveur des phénomènes de précipitation. Les sédiments prélevés sous l'eau à la benne d'ECKMANN, à une profondeur variant de 5 à 5,5 m étaient constitués de sable jaune ocre, d'argile gris-bleu en plaquette et de tiges de végétaux encroûtés. Ces observations sont peut-être à relier aux teneurs en Ca relativement basses qui existent dans ces bras.

Ces phénomènes de précipitations jouent un rôle dans la régulation saline des eaux du lac; l'importance de cette contribution sera à évaluer.

Il est de toute façon évident qu'une partie du Ca est utilisée par les êtres vivants (mollusques, poissons ...) pour la confection de leur squelette ou de leur coquille.

- Le magnésium dont les teneurs relatives sont à première vue les plus stables serait l'ion à utiliser éventuellement dans un modèle de concentration des eaux du lac, mais encore faudrait-il s'assurer que son évolution réelle est aussi simple qu'elle le paraît.

6.5 - APPORTS en SELS au LAC TCHAD

6.5.1 - Différents apports en sels

Les sels des eaux du Lac TCHAD proviennent d'une part des apports fluviaux du CHARI, de l'El BEID, de la KOMADOUGOU et du YEDSERAM, d'autre part des apports par les vents et par les pluies.

6.5.1.1 Apports météoriques

Vents

C'est la partie des apports la plus délicate à évaluer et il est difficile d'avancer un ordre de grandeur.

G. BOCQUIER et M. GAVAUD (1964) ont présenté une analyse de poussières recueillies après la nuit du 17 Février 1962 dans le KADZELL (me/100 g) :

Ca	Mg	Na + K	Cl	SO ₄	CO ₃	Total	Impuretés %
188,0	120,0	54,0	12,0	84,0	266,0	724,0	80,8

B. DUPONT (1967) a estimé, par des mesures effectuées de Juillet 1966 à Février 1967, un apport annuel de sédiments (99 % de grains de quartz) de 110 t/km².an à FORT-LAMY, ce qui représenterait un apport total de 2,75.10⁶ t au lac. Il faut toutefois souligner que les méthodes de prélèvements utilisées peuvent ne pas être entièrement satisfaisantes en ce qui concerne les apports chimiques.

C'est probablement l'Harmattan qui joue le rôle le plus important. Il souffle de secteur Nord-Est de Novembre à Avril et arrive sur le lac après avoir balayé les régions désertiques septentrionales, en particulier les natronières immédiatement voisines.

La mousson de secteur Sud-Ouest apporte de Mai à Octobre des sels d'origine marine; cependant, cet apport doit être relativement réduit compte tenu de l'éloignement de l'Océan Atlantique.

Les vents de poussières qui précèdent les tornades doivent, par contre, contribuer pour une grande part à l'apport de sels en cette saison.

Eaux de pluies

Pour une pluviométrie comprise entre 250 et 300 mm, E. ERIKSSON évalue à 300 kg/km².an les précipitations salines (chlorures et sulfates d'origine essentiellement marine) sur les "steppes sèches" au Sud du SAHARA. Ceci représenterait des concentrations moyennes de 1 à 2 mg/l et un apport de 6.10³ t sur les 22 000 km² du lac.

Deux pluies de Juin (6,0 mm) et Août (29,5 mm) 1965 avaient des conductivités de 10 et 7 (B. DUPONT).

Nous avons mesuré les conductivités des eaux des premières averses de 1967 recueillies au pluviographe du Centre ORSTOM de FORT-LAMY :

Date	Hauteur de pluie	C (25°)
23-4	22,2	50
10-6	6,6	330
11-6	9,9	109
16-6	2,9	162
19-6	7,7	82
23-6	17,4	52
29,6	3,2	24 (pas de tornade)

La pluie dissout et ramène au sol les poussières et les sels mis en suspension avant l'orage. Ainsi s'expliquerait, en plus d'un apport secondaire de sels marins, la conductivité de ces eaux. Ces valeurs paraissent cependant trop élevées, d'autant plus que les concentrations des eaux de pluie devraient être en moyenne plus faibles que celles des rivières. En fait, le dépôt de sels, accumulé dans l'entonnoir du pluviographe entre deux pluies et en particulier immédiatement avant l'averse, est dissous par l'eau et vient ainsi augmenter la concentration. Ceci est appuyé par les relations qui apparaissent entre la conductivité et la hauteur de pluie. On se montrera donc réservé sur l'interprétation de telles mesures.

Les tornades de poussières diminuant au cours de l'hivernage, il est probable que la salinité des eaux de pluie diminue de même.

Sur le lac, les vents de poussières sont moins entretenus au-devant de l'orage et l'effet doit être amoindri.

Les précipitations sur le lac, avec une valeur interannuelle estimée aux environs de 8.10^9 m^3 , ne représentent que 12 % des apports liquides. D'après ce qui est exposé précédemment, l'apport en sels par les pluies devrait donc être inférieur à 12 % des apports totaux.

6.5.1.2 Apports fluviaux

Le CHARI fournit 94 % des apports fluviaux du lac, l'El BEID 5 %, la KOMADOUGOU et le YEDSERAM moins de 1 %. C'est donc le CHARI qui apporte de loin la plus grande part de sels. Les conductivités de l'El BEID sont plus élevées (100 à 200) que celles du CHARI : il doit en être de même pour celles des autres tributaires secondaires. Les valeurs finales annoncées pour le CHARI devraient donc représenter légèrement moins de 94 % de la totalité des sels déversés dans le lac par ses tributaires. En fait, cette erreur est en partie compensée par les pertes dans des plaines d'inondation que subit le CHARI entre la station de mesure de FORT-LAMY et son embouchure dans le lac.

Les conductivités, mesurées en 1958-1959 et entre 1961 et 1966, chaque semaine sur le CHARI et sur le LOGONE à FORT-LAMY, seront traduites en quantité de sels par litre. Après reconstitution des débits journaliers à CHAGOUA et à FORT-FOUREAU, les courbes annuelles de débit de sels seront tracées. Par planimétrage, elles permettront de calculer la quantité globale de sels apportée au lac et par suite les tonnages potentiels de différents sels. Grâce à des corrélations nous pourrions extrapoler les résultats aux périodes 1932-1966 puis 1870-1966.

6.5.2 - Tonnage de sels apportés au lac par le CHARI

6.5.2.1 Reconstitution des débits du CHARI à CHAGOUA et du LOGONE à FORT-FOUREAU

Pour reconstituer ces débits (et niveau du lac TCHAD), nous avons utilisé les données hydrologiques établies aux stations de LOGONE-GANA, LOGONE-BIRNI, MAILAO et FORT-LAMY de 1958 à 1966 par B. BILLON et ses prédécesseurs.

Les courbes de débits ont été tracées, ce qui a permis une étude critique très serrée des résultats (fig. 6-1).

Par comparaison entre les hydrogrammes à LOGONE-BIRNI et à LOGONE-GANA, nous avons pu diminuer les débits de pointe à cette dernière station pour recréer l'étalement de la crue vers l'aval. Les débits du LOGONE à FORT-FOUREAU ont été reconstitués à partir de ceux à LOGONE-BIRNI jusqu'en 1961, puis à partir de ceux à LOGONE-GANA jusqu'en 1965. Un décalage moyen de 2 jours a été adopté pour LOGONE-BIRNI et de 3 jours pour LOGONE-GANA. Les débits du CHARI à CHAGOUA ont été reconstitués par différence entre ceux du LOGONE et du CHARI à FORT-LAMY. Ils ont été comparés à ceux obtenus à partir de MAILAO, en comptant un décalage moyen de 2 jours. La correspondance est satisfaisante jusqu'à $2\,200\text{ m}^3/\text{s}$; au-dessus l'écrêtement de la crue entre cette station et CHAGOUA rend difficilement utilisables les résultats de MAILAO.

Par planimétrage des hydrogrammes on obtient les volumes annuels écoulés à FORT-FOUREAU, CHAGOUA et FORT-LAMY. Ces résultats sont présentés dans le tableau 6-I. Ils permettent de connaître la proportion des apports en volume du CHARI et du LOGONE. La précision sur l'estimation des volumes écoulés est très bonne.

6.5.2.2 Courbes annuelles de débit de sels et tonnage global transporté

Soit Q et p les débits journaliers et poids de sels dissous du CHARI à FORT-LAMY, Q_1 et p_1 ceux à CHAGOUA, Q_2 et p_2 ceux à FORT-FOUREAU.

Les valeurs journalières des débits de sels à FORT-LAMY sont calculées par :

$$Q p = Q_1 p_1 + Q_2 p_2$$

Par planimétrage des courbes $Qp = f(t)$, on obtient le poids total d'ions dissous transporté annuellement (fig. 6-1) :

$$T = \int_{t_1}^{t_2} Qp dt$$

L'année hydrologique est comptée du 1er Avril au 31 Mars, t_1 et t_2 correspondant à ces dates.

Les résultats sont présentés dans le tableau 6-I. Pour les 7 années observées, on aboutit à un total de 14.10^6 t, les valeurs se répartissent de $1.4.10^6$ t à $2.6.10^6$ t avec une moyenne de $2.0.10^6$ t. Ces années sont très représentatives comprenant des crues moyennes, faibles ($29.2.10^9$ m³) et fortes ($52.1.10^9$ m³).

$$\text{La corrélation } T = f \left(\int_{t_1}^{t_2} Q C_1 dt \right)$$

permet de connaître le poids de sels transporté annuellement en fonction du débit à FORT-LAMY et de la conductivité C_1 à CHAGOUA (fig. 6-19). La valeur de T pour l'année 1966 a été ainsi déterminée à 1 545 000 tonnes.

$$\text{La corrélation } T = f \left(\int_{t_1}^{t_2} Q \, dt \right) = f(V)$$

permet également une estimation assez satisfaisante du poids de sels transporté annuellement en fonction du seul volume écoulé (fig. 6-20), ceci en raison des faibles amplitudes de la salinité et de ses variations régulières. Pour 1966, la quantité de sels déterminée par cette corrélation est de 1 680 000 t.

On adoptera pour cette année la moyenne des valeurs trouvées, soit 1 612 000 t.

Cette dernière corrélation permet également des évaluations pour toutes les années dont on connaît le volume écoulé. On trouve ainsi pour la période 1932-1966 une valeur minimale de $1,2 \cdot 10^6$ t en 1940 ($23 \cdot 10^9 \text{ m}^3$), maximale de $2,7 \cdot 10^6$ t en 1955 ($54 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) et moyenne de $2,2 \cdot 10^6$ t ($42 \cdot 10^9 \text{ m}^3$). Ces résultats s'écartent peu de ceux observés en 1965 et 1962. D'après B.BILLON sur la période 1870-1966 les volumes écoulés extrêmes auraient été de 15 et $60 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. En admettant que la corrélation soit valable pour ces valeurs, on aboutit à des poids extrêmes $0,7 \cdot 10^6$ t et $3,0 \cdot 10^6$ t.

Le débit de sels peut ainsi passer de 7,7 kg/s lors d'un étiage prononcé (1958) à 260 kg/s pour une forte crue (1962), le débit moyen interannuel étant de 70 kg/s (1958-1966).

La valeur moyenne de $2,2 \cdot 10^6$ représente un débit spécifique de 37 kg/km²/an sur les 600 000 km² du bassin. En fait cette superficie est tout à fait théorique, une bonne partie du bassin étant pratiquement endoréique.

A partir de ces tonnages transportés, connaissant le volume écoulé, on peut calculer les teneurs moyennes annuelles en ions dissous des différentes années (tableau 6-I). Sur les 7 années étudiées, elles varient de 46,3 à 53,2 avec une moyenne de 49,5 mg/l.

A partir des conductivités moyennes du volume d'eau transporté annuellement au lac, on peut aussi calculer une teneur moyenne en me/l. Elles varient sur les 7 années de 0,98 à 1,17 me/l avec une moyenne de 1,07 me/l (tableau 6-I).

On peut retrouver à l'aide des corrélations conductivité - teneurs en sels les conductivités moyennes annuelles et, par suite, les résidus solubles moyens annuels. Avec un résidu soluble moyen interannuel de 66 mg/l, on calcule ainsi par exemple de 1932 à 1966 un apport moyen interannuel de $2,8.10^6$ t.

6.5.2.3 Teneurs et tonnage potentiels de différents sels transportés

Les sels dissous sont des bicarbonates. Par des cycles minéralogiques ou biologiques plus ou moins complexes, ces ions donneront naissance à différentes espèces minérales. Quels que soient les processus qui présideront à ces genèses, ce sont finalement les teneurs en cations qui déterminent les teneurs potentielles de ces différents minéraux dans les eaux du CHARI. Les rapports en poids étant $\frac{\text{cation}}{\text{Minéral}} = x$ et $\frac{\text{cation}}{\text{Minéral}} = y$, on obtient $\frac{\text{Minéral}}{\text{P}} = \frac{x}{y}$ en admettant que le cation ne donne que cette espèce minérale. Par exemple dans les eaux de FORT-FOUREAU et CHAGOUA, le sodium représente 4 à 8 % du poids total des ions, dans le natron ($\text{CO}_3\text{Na}_2, 10 \text{ H}_2\text{O}$), il représente 8,04 % du poids; on calcule ainsi que les teneurs potentielles en natron seraient comprises entre 50 et 100 % du poids total des ions si tout le sodium cristallisait en ce minéral. A partir de ces résultats et des tonnages d'ions dissous transportés, on peut évaluer un ordre de grandeur des poids annuels des différents ions qui transitent et des poids maximaux potentiels de divers minéraux.

Prenons par exemple le sodium et le natron :

Les teneurs en sodium observées variant de 4 à 8 % du poids total des ions, les tonnages de sodium, transités de 1932 à 1966 à FORT-LAMY, auraient été compris entre un minimum de 48.10^3 à 96.10^3 t (1940) et un maximum de 108.10^3 à 216.10^3 t (1955). La moyenne des teneurs en sodium et celle des tonnages transportés fournissent un tonnage de sodium moyen annuel de 132.10^3 t.

Pour le natron par exemple on calcule un transport potentiel maximal de $0,6.10^6$ à $1,2.10^6$ t en 1940, de $1,3.10^6$ à $2,7.10^6$ t en 1955 et une moyenne interannuelle de $1,7.10^6$ t.

TABLEAU 6-I

VOLUMES ECOULES par le LOGONE et le CHARI à FORT-LAMY
POIDS de SELS APORTE au LAC TCHAD

Année	V_1 10^9 m^3	V_2 10^9 m^3	V 10^9 m^3	% V LOGONE	T (tonnes)	p (mg/l)	C ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	rp (me/l)
1957	22,74	12,17	34,91	34,9	-	-	-	-
1958	21,39	12,68	34,07	37,2	1 793 664	52,6	50,7	1,17
1959	27,13	11,99	39,12	30,6	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	38,60	13,48	52,08	25,9	2 477 952	47,6	49,5	1,02
1962	38,58	11,88	50,46	23,5	2 560 890	50,8	53,5	1,10
1963	30,10	12,27	42,37	29,0	1 963 008	46,3	47,6	0,98
1964	31,10	12,24	43,34	28,2	2 305 152	53,2	56,7	1,17
1965	18,83	10,37	29,20	35,5	1 434 240	49,1	51,5	1,06
1966	(22,56)	(11,00)	33,56	(32,8)	1 612 000	48,0	50	1,03
Total 1958 et 1961-1966	201,16	83,92	285,08	-	14 146 906	-	-	-
Moyenne 1958 et 1961-1966	28,73	11,99	40,73	29,4	2 020 887	49,6	51,9	1,07

6.6 - SALINITE MOYENNE du LAC en MARS-AVRIL 1967

Par planimétrage des surfaces déterminées par les courbes d'égales conductivités de la carte de Mars-Avril 1967, il est possible de tracer la courbe de distribution de la conductivité dans le lac en fonction de la surface cumulée. Dans le souci d'une meilleure précision, nous avons divisé le lac en six zones, auxquelles nous avons affecté un coefficient en rapport avec la surface réelle des eaux. Ceci afin de tenir compte approximativement de la surface des îles.

On détermine, par planimétrage de la courbe cumulée obtenue, la conductivité moyenne du volume d'eau du lac. Il est possible, à partir de cette courbe et des corrélations établies entre diverses teneurs en sels et la conductivité, de retracer point par point une courbe cumulée de diverses teneurs en sels et d'estimer ainsi les teneurs moyennes du volume d'eau du lac.

Les résultats suivants ont été obtenus. Il sont comparés à ceux du CHARI (obtenus sur les années précédentes). Les rapports de la salinité moyenne entre les eaux du CHARI et celles du lac sont mentionnés.

	CHARI	Lac	Rapport $\frac{\text{CHARI}}{\text{Lac}}$
Conductivité	51,9	275	0,19
Teneur en me/l (1)	1,07	6,6	0,16
Teneur en me/l (2)	1,07	6,2	0,17
Poids d'ions			
dissous (mg/l)	49,6	235	0,21

(1) - d'après les résultats d'alcalinité obtenus par méthode potentiométrique -

(2) - d'après les résultats d'alcalinité obtenus par indicateurs colorés -

Avec une profondeur moyenne de 4 m et une surface de 22 000 km², le tonnage d'ions dissous dans le lac serait d'environ 21.10⁶ t, soit l'équivalent d'une dizaine d'années d'apports par le CHARI. En considérant les teneurs en me/l, on aboutit à une quantité totale de 580.10¹² me, ce qui représente 13 années d'apports par le CHARI.

Ces résultats ne donnent évidemment que des ordres de grandeurs. Il conviendra de les reprendre en tenant compte notamment des variations saisonnières.

6.7 - REGULATION SALINE du LAC

Depuis des siècles le CHARI déverse chaque année quelque deux millions de tonnes de sels dans le lac. Or, celui-ci n'en contient guère en solution plus de vingt millions de tonnes. Le problème se pose donc de savoir ce que deviennent ces sels et par quels processus est assurée la régulation saline du lac.

L'hypothèse la plus simple consiste à admettre que chaque année une quantité de sels équivalente à celle apportée par le CHARI est entraînée hors du lac par des eaux qui s'infiltrent sous les rives. La présence d'importants dépôts salins ("natronières") sur la bordure Nord-Est du lac paraissait bien confirmer cette hypothèse. Des natronières actives, dont les sels se renouvellent chaque année par l'évaporation de la frange capillaire d'une nappe phréatique, existent notamment dans la région de KAYA et de LIWA. Elles sont situées sur le flanc Sud-Ouest d'une dépression piézométrique qui était supposée provoquer un écoulement souterrain en provenance du lac.

De récentes analyses isotopiques permettant de déterminer l'origine des eaux (1) sont venues infirmer, au moins partiellement, cette hypothèse. D'après J. Ch. FONTES "le lac TCHAD sur sa bordure Nord-Est ne présente pas de phénomènes d'infiltration

(1) - Voir "Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac TCHAD avec des nappes de la bordure Nord-Est" de J. Ch. FONTES, G. MAGLIONE et M.A. ROCHE - 1968 -

massive vers l'intérieur des terres . Il imprègne périodiquement les rives sur une frange limitée de l'ordre de quelques dizaines de mètres de large. L'influence de l'eau météorique se fait déjà sentir sur la nappe littorale. Très vite cette contribution devient prédominante, au point de rendre indécélable la participation de l'eau du lac à la nappe phréatique".

Compte tenu de ces informations nouvelles, faut-il définitivement abandonner l'hypothèse des pertes de sels par infiltration sous les rives ? Nous ne le pensons pas. D'une part, les analyses isotopiques n'ont porté que sur une tranche tout à fait superficielle de la nappe phréatique. Il n'est donc pas interdit de penser que l'eau du lac se trouve, stratifiée par densité, sous la tranche superficielle d'origine essentiellement météorique. D'autre part, on peut supposer que des infiltrations se produisent dans d'autres secteurs que la bordure Nord-Est du lac, en particulier au Nord entre RIG - RIG, NGUIGMI et l'embouchure de la KOMADOUGOU ainsi que peut-être accessoirement au Sud-Est vers la fosse hydrogéologique du CHARI-BAGUIRMI et à l'Ouest vers le NIGERIA. Des fuites d'importance secondaire par le fond même du lac ne sont peut-être pas non plus impossibles dans certaines zones sableuses non colmatées par des débris organiques (par exemple, dans les eaux libres au Nord de la Grande Barrière).

Divers indices, tels que des encroûtements carbonatés observés au fond de certains bras côtiers, donnent à penser que des phénomènes chimiques et biologiques pourraient participer à la régulation saline du lac. Mais leur importance est apparemment assez minime et sans commune mesure avec celle des infiltrations qui restent le plus vraisemblablement la cause essentielle de la faible salinité du lac TCHAD.

Remarquons que si la majeure partie des infiltrations se fait le long des rives Nord-Ouest, Nord et Nord-Est où la concentration est de 8 à 20 fois supérieure à celle des apports du CHARI, il suffit pour assurer la régulation saline du lac d'un débit moyen d'infiltration de 8 à 20 fois plus faible que le module du CHARI. On trouve ainsi un débit moyen d'infiltration compris entre 65 et 160 m³/s, qui correspond à une tranche d'eau annuelle de 10 à 25 cm répartie sur toute la surface du lac.

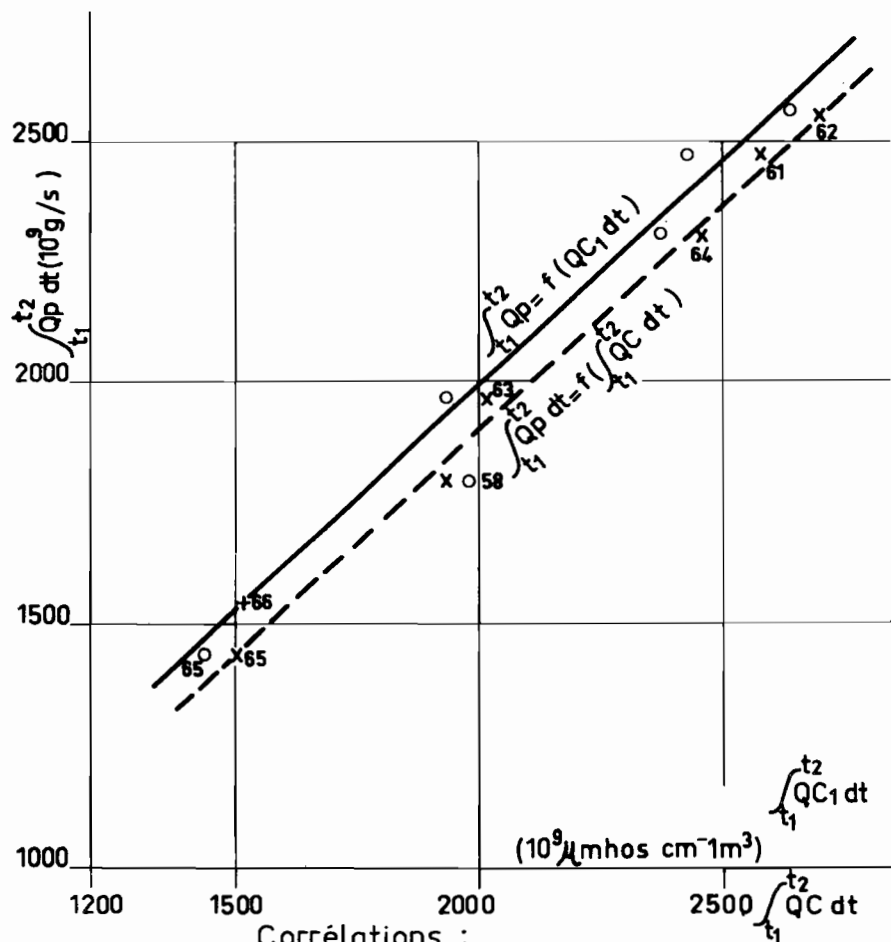


Fig. 6-19

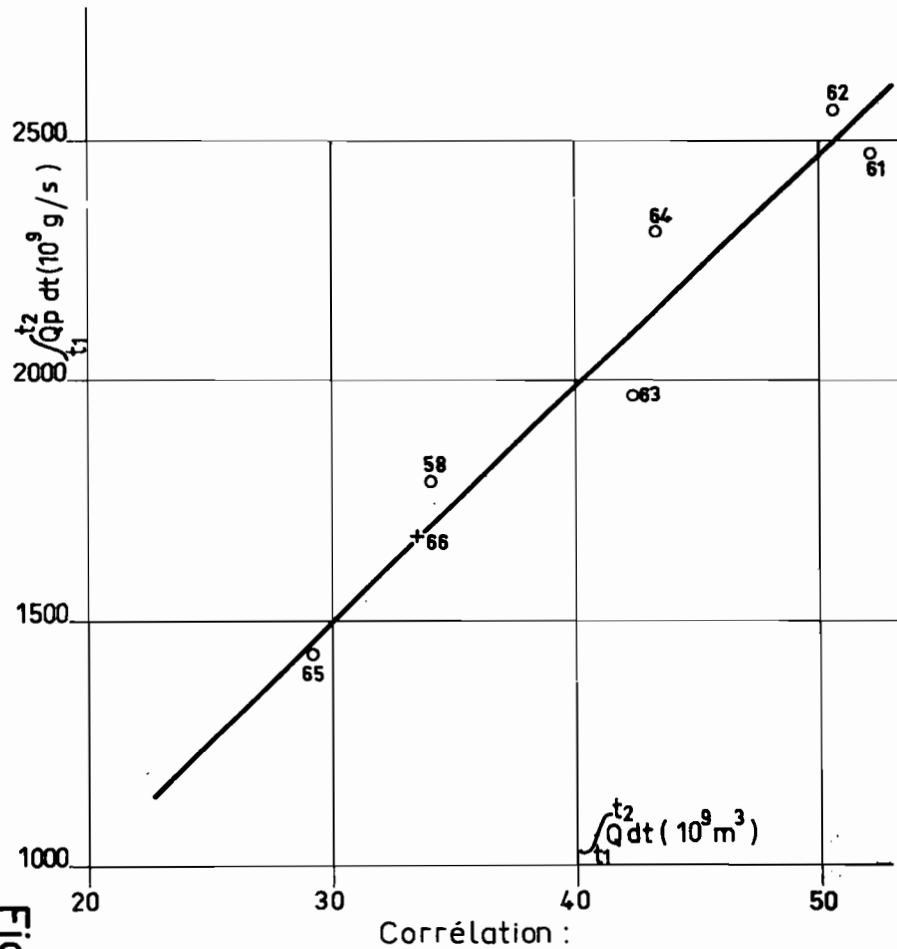


Fig. 6-20

BIBLIOGRAPHIE sur la SALINITE des EAUX du LAC TCHAD

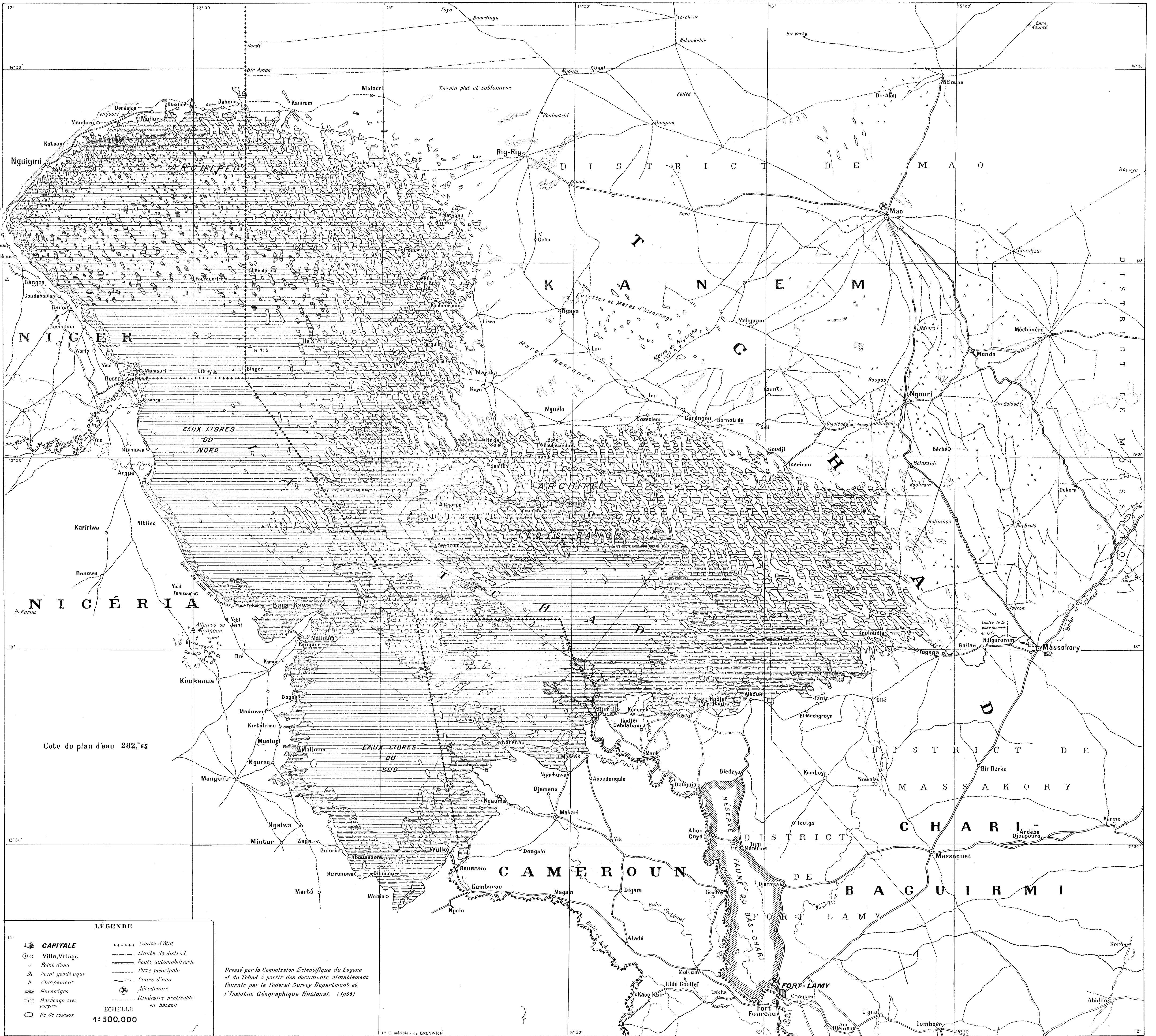
- Bilan sommaire des études d'hydrologie de surface effectuées sur le Territoire de la République du NIGER - Service Hydrologique ORSTOM, 1964, 57 p., annexes -
- BILLON (B.), BOUCHARDEAU (A.) et al. - 1967 - Monographie Hydrologique du LOGONE - Service Hydrologique ORSTOM -
- BILLON (B.), BOUCHARDEAU (A.) et al. - 1968 - Monographie Hydrologique du CHARI - Service Hydrologique ORSTOM -
- BILLON (B.), CALLEDE (J.) et SABATIER (J.) - 1963 - Etude hydro-climatologique des polders de la région de BOL - Service Hydrologique ORSTOM, 69 p., 56 fig. -
- BLACHE (J.) - 1964 - Les poissons du bassin du TCHAD et du bassin adjacent du MAYO-KEBI, ORSTOM, PARIS, 478 p. imp. -
- BOCQUIER (G.) et GAVAUD (M.) - 1964 - Etude pédologique du NIGER oriental - Rapport général, tome I, Service Pédologique, 80 p. -
- BOUCHARDEAU (A.) et LEFEVRE (R.) - 1957 - Monographie du Lac TCHAD - Service Hydrologique ORSTOM, 112 p., 24 fig., 1 carte -
- BOUCHARDEAU (A.) - 1958 - Salinité des eaux du Lac TCHAD - Interprétation des résultats - Service Hydrologique ORSTOM, 5 p., dactyl. -
- BOUCHARDEAU (A.) - 1958 - Le Lac TCHAD - Service Hydrologique ORSTOM, PARIS, Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer, année 1956, p. 9 - 26, imp. -
- CARMOUZE (J.P.C.) - 1968 - Ions majeurs, phosphates et silicates dans les eaux du Lac TCHAD en Avril 1968 - Section Hydrobiologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 18 p., 18 fig. -

- CHEVERRY (C.) - 1968 - Commentaire sur la pédogenèse actuelle des sols jeunes des polders de BOL, du point de vue de l'halomorphie - Section Pédologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 13 p., 2 fig. -
- COURTET (H.) - 1905 - Les sels de la région du TCHAD - C.R. Ac. PARIS, p. 316 - 318 -
- Documents scientifiques de la mission TILHO - 1906 - 1909 - Imp. nat., PARIS, t. II, p. 553 - 600 -
- DUPONT (B.) - 1967 - Premières données sur les apports éoliens à FORT-LAMY (TCHAD) - Section Géologique ORSTOM, 2 p., annexe -
- DUPONT (B.) - 1967 - Etude sédimentologique du lac TCHAD - Premiers résultats - Section Géologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 33 fig., biblio. -
- DUPONT (B.) - 1968 - Premières observations sur la physico-chimie du CHARI et du LOGONE (Période Juillet 1965 - Mars 1967) Section Géologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 32 p., 13 fig. -
- DUPONT (B.) et LEVEQUE (Ch.) - 1967 - Biomasse en mollusques et nature des fonds dans les zones Est du lac TCHAD - ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, Mars 1967, 18 p. -
- DURAND (J.R.) et LOUBENS (G.) - 1967 - Premières observations sur la biologie d'ALESTES baremoze dans le Bas CHARI et la partie Est du lac TCHAD - Section Hydrobiologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 74 p., 15 fig. -
- FONTES (J. Ch.), MAGLIONE (G.) et ROCHE (M.A.) - 1968 - Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac TCHAD avec les nappes de la bordure Nord-Est, 23 p., 6 fig. -
- FONTES (J. Ch.) et ROCHE (M.A.) - en préparation - Essai de bilan isotopique du lac TCHAD -
- FONTES (J. Ch.) et MAGLIONE (G.) - en préparation - Etudes isotopiques des cuvettes évaporitiques au Nord-Est du lac TCHAD (KANEM) -

- GISHLER (C.E.) - 1967 - Synthèse hydrologique du bassin du lac TCHAD - Nature et ressources, UNESCO, vol. III, n° 3, Septembre 1967, p. 10 - 16 -
- GRAS (R.) - 1964 - Rapport sur la détermination sommaire des principaux biotopes du lac TCHAD - Section Hydrobiologique, ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 41 p. -
- GRAS (R.), ILTIS (A.) et LEVEQUE-DUMAT (S.) - 1967 - le plancton du Bas CHARI et de la partie Est du lac TCHAD - Cahier ORSTOM, Section Hydrobiologique, vol. I, n° I - 4, p. 25 - 96, 15 fig., photos, biblio. -
- GUICHARD (E.) - 1957 - Sédimentation du lac TCHAD - Comm. Sc. du LOGONE et du TCHAD, Section Pédologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 8 p. -
- GUICHARD (E.) - 1957 - Eaux du lac TCHAD et mares permanentes au Nord d'IRA - Comm. Sc. du LOGONE et du TCHAD - Section Pédologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 26 p., 1 carte -
- HEBERT - 1905 - Contribution à l'étude chimique des sels, des eaux et des produits minéraux de la région du CHARI et du lac TCHAD - C.R.Ac. Sc. PARIS, t. 140, p. 163 - 165 -
- HOPSON (A.J.) - 1965 - Winter scale rings in *Lates niloticus* (Pisces - Centropomide) from Lake Chad. Nature vol. 208, n° 5014, p. 1013 - 1014, décembre 1965 -
- ILTIS (A) et ROCHE (M.A.) - 1967 - Compte rendu de mission sur le lac TCHAD - du 26 Mars au 10 Avril 1967 - Service Hydrologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 8 p., 1 carte -
- LACROIX (M.A.) - 1905 - Résultats géologiques et minéralogiques de récentes explorations dans l'Afrique Occidentale Française et dans la région du TCHAD - Rev. Coloniale, nouvelle série, n° 25, Avril 1905, p. 205 - 223 -
- LEMOALLE (J.) - 1968 - Premières données sur la production primaire et le cycle de l'azote, dans la région de BOL - rapport provisoire, Section Hydrobiologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY -

- MAGLIONE (G.) - 1968 - Présence de Gaylussite et de Trona dans les natronières du KANEM - Bull. Soc. Minéralo. Cristallogr.(1968) 91, p. 388 - 395 -
- Observations et mesures hydrologiques dans les vallées sèches du NIGER - rapport de la campagne 1965 - Service Hydrologique ORSTOM, 98 p., 39 fig. -
- PIAS (J.) - 1958 - Transgression et régressions du lac TCHAD à la fin de l'ère tertiaire et quaternaire - C.R.Ac.Sc., t. 246, p. 800 - 803 -
- PIAS (J.) - 1968 - Contribution à l'étude des formations sédimentaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent (République du TCHAD) - ORSTOM, 377 p., 190 fig., 94 tabl., bibliogr., annexe -
- POCHARD (P.) - 1943 - Contribution à l'étude des eaux souterraines, des sels et des natrons de la région du TCHAD - Rev. Sc. Med. Pharm. et Veter. de l'Afr. Fr. L. Mars 1943 -
- RIOU (Ch.) et DUBOIS (G.J.) - 1966 - Relations entre l'évaporation en bac, l'évaporation potentielle et l'évaporation sous abri dans la zone sahélienne de la République du TCHAD - Service Hydrologique ORSTOM, Centre de FORT-LAMY, 9 p. -
- ROCHE (M.A.) - 1968 - Première estimation des apports en sels au lac TCHAD par le CHARI - Cahier ORSTOM, Section Hydrologique, Vol. V, n° 1, p. 55 - 89, 11 fig., 5 tabl., bibliogr., annexes, imp. -
- ROCHE (M.A.) - 1968 - Evolution dans l'espace et le temps de la conductivité électrique des eaux du lac TCHAD d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à Mars 1968 - Rapport provisoire, ORSTOM, FORT-LAMY, 40 p., 20 fig. -
- ROCHE (M.A.) - 1968 - Traitement des résultats d'analyses physico-chimiques des sels d'un système hydrologique en calcul automatique - application au système du lac TCHAD - Service Hydrologique ORSTOM FORT-LAMY - 29 p. dactylogr., 2 fig., 2 tabl. -

- SCHNEIDER (J.L.) - 1966 - Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500 000; feuilles MAO et FORT-LAMY, rapport de synthèse B.R.G.M. -
- SCHNEIDER (J.L.) - 1967 - Relations entre le lac TCHAD et la nappe phréatique (République du TCHAD) - Extrait de la publication n° 70 de l'AIHS, Symposium de GARDA, p.122 - 131, 3 fig. -
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.) - 1966 - Bilan hydrologique du lac TCHAD - Service Hydrologique ORSTOM, Communication au Symposium de GARDA A.I.H.S., Publ. n° 70, vol. 1, p. 7 - 16, imp. -



OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT d'ETAT
aux AFFAIRES ETRANGERES
CHARGE de la COOPERATION

Service Hydrologique

COMPLEMENT au CHAPITRE 1

de la

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE

du

LAC TCHAD

APERCU sur la VEGETATION

par

Prof. J. LEONARD (BRUXELLES)

APERCU sur la VEGETATION du LAC TCHAD

I. INTRODUCTION

Le présent aperçu sur la végétation du Lac TCHAD résulte de deux missions effectuées en Décembre 1964 (partie orientale du lac) et en Janvier-Février 1968 (tour du lac). Les comptes rendus en seront publiés en détail ultérieurement.

On peut estimer à 90 % environ de la totalité le nombre des espèces récoltées et des groupements végétaux étudiés. Restent encore à prospecter plus en détail les sables et les vases exondées, la côte camerounaise et la portion orientale du lac à l'Est d'une ligne BOL-HADJER et HAMIS.

II. PRINCIPAUX TYPES de MILIEUX et CONSIDERATIONS PHYTOGEOGRAPHIQUES

Il saute rapidement aux yeux que le Lac TCHAD ne constitue pas une entité homogène, mais que divers types de milieux s'y rencontrent.

Le Lac TCHAD, à flore relativement pauvre, banale et dépourvue d'endémisme, ne mérite pas une subdivision phytogéographique propre d'un niveau hiérarchique élevé.

Néanmoins, par suite de sa superficie non négligeable et du milieu spécial qu'il représente au sein de la zone sahélienne, un District phytogéographique du Lac TCHAD pourrait être établi.

D'après les conditions écologiques et la végétation phanérogamique, ce District peut être partagé en au moins les 9 subdivisions suivantes, reliées les unes aux autres par des zones intermédiaires et assez bien disposées selon un gradient Sud-Nord.

1. Mares temporaires des bassins du CHARI et de l'EL BEID et lits de petits cours d'eau périodiquement asséchés à végétation herbacée éphémère.

2. Sables du CHARI et de ses défluent jusqu'au delta avec groupements psammophiles herbacés et arbustifs divers.

3. Zone des vases de l'EL BEID jusqu'à son delta et des vases de la KOMADOUGOU - YOBE caractérisée par un excellent développement de la végétation aquatique (Pistia, Nymphaea) et de la végétation semi-aquatique étalée à Ludwigia.

4. Deltas du CHARI et de l'EL BEID avec prairie aquatique à Vossia et apparition de Cyperus papyrus et de Phragmites.

5. Zone de dépôt des vases en aval du delta de l'EL BEID avec bonne représentation des groupements à Pistia, à Nymphaea et à Ludwigia.

6. Eaux libres du lac

Cette zone, pratiquement dépourvue de végétation, doit-elle être subdivisée en eaux libres du Nord et en eaux libres du Sud de part et d'autre d'un axe BAGA KAWA - BAGA SOLA ? Aucun argument botanique (phanérogamie) ne milite en faveur de cette séparation.

7. Ilots-bancs

Les innombrables ilots-bancs du lac sont couverts d'une végétation soit étalée à extrémités dressées formant prairie aquatique (prairie à Vossia), soit dressée formant roselières (papyraie à Cyperus papyrus, phragmitaie à Phragmites, typhaie à Typha). Ils possèdent souvent en leur centre une zone d'eau plus ou moins libre avec nympheaie et typhaie.

En progressant du Sud vers le Nord du lac, on observe fréquemment autour de chaque îlot-banc des zones concentriques de végétation disposées dans l'ordre centripète suivant :

Vossia - Cyperus papyrus - Phragmites

Cyperus papyrus - Phragmites - Typha

Phragmites - Typha

Sous une action purement mécanique, due surtout aux variations du niveau de l'eau et à l'action des vagues, des fragments parfois énormes (= kirtas) de végétation à Vossia, à papyrus ou à Phragmites se détachent des bords des ilots-bancs. Poussés par les vents, ils partent à la dérive sur les eaux libres du lac et finissent par échouer en des endroits où ils bouleversent souvent la succession normale des groupements.

8. Iles de l'archipel

Les centaines d'îles constituant l'archipel se distinguent physiologiquement des îlots-bancs par la succession d'une frange ripicole (prairie aquatique ou roselière) beaucoup plus étroite, d'une zone périodiquement inondée - exondée souvent très riche (nymphaise, groupement à Cyperus mundii, prairie aquatique à Leersia) et enfin d'une zone centrale sablonneuse, généralement exondée, dont la limite eau-sable est ordinairement marquée par une ceinture de palmiers doum (Hyphaene thebaica) et de plantes diverses (Cassia, Ipomoea, Sporobolus).

Du Sud vers le Nord du lac, des zones peuvent être distinguées, caractérisées par des îles à relief de plus en plus marqué :

- 8a. zone des îles plates :

- dépourvues d'arbres :

α. avec frange ripicole suivie de vastes prairies aquatiques périodiquement inondées - exondées (à Leersia ou à Echinochloa). Ce type d'île constitue la transition avec les îlots-bancs.

β. avec frange ripicole ceinturant de vastes prairies longtemps exondées (notamment à Panicum repens et à Sporobolus spicatus) sur lesquelles s'installent temporairement des troupeaux et des villages.

- avec ceinture de palmiers doum (Hyphaene) au niveau des plus hautes eaux.

- 8b. zone des îles à relief et à végétation arborescente

Il s'agit en fait des sommets d'un système de dunes parallèles dont la hauteur hors de l'eau oscille entre 1 et 10 à 15 mètres. Peuvent être distinguées :

- des dunes peu élevées avec quelques éléments de végétation sahélienne arborescente jamais inondée (Acacia, Balanites, Calotropis, Leptadenia, etc...) et avec strate herbacée demeurant verte pendant une grande partie de l'année par suite de la faible profondeur de la nappe phréatique.

- des dunes nettement marquées avec une typique végétation sahélienne et un sol sablonneux pratiquement nu en saison sèche, mais très vert en saison des pluies.

9. Mares du KANEM

L'eau des innombrables mares et petits lacs du KANEM peut être d'origine soit météorique, soit phréatique et dans ce cas généralement liée aux variations du plan d'eau du Lac TCHAD, soit encore provenir de ces deux sources.

Trois principaux types de végétation ont été observés :

- a. mares avec îlots de Phragmites dans l'eau entremêlés de quelques lianes, avec une prairie à Panicum repens en bordure et un groupement à Sporobolus spicatus sur le sable sec.

- b. dans l'eau, uniquement des Phragmites assez malingres; sur les bords, un groupement à Cyperus laevigatus souvent accompagné de Panicum repens, puis la végétation à Sporobolus.

- c. mares sans aucune végétation dans l'eau, mais avec une ceinture marginale bien verte de Cyperus laevigatus en avant du groupement à Sporobolus.

Il serait intéressant de comparer ces 9 subdivisions écologiques, caractérisées chacune par une végétation phanérogame propre, avec celles établies d'après d'autres critères, tels l'étude du phyto et du zooplancton, des insectes aquatiques, des poissons ou de la composition physico-chimique des eaux.

III. Les FACTEURS ECOLOGIQUES

Parmi les principaux facteurs écologiques qui conditionnent l'existence des divers types de milieux, sont à mentionner : les variations du plan d'eau, la nature des sédiments, le vent ainsi que la composition physico-chimique des eaux.

1. Les variations du plan d'eau provoquent soit l'apparition ou la disparition de la végétation des mares temporaires, des vases exondées et des sables fluviatiles, soit l'extension ou le rétrécissement des divers types de végétation périodiquement inondée - exondée des îlots-bancs et des îles de l'archipel.

2. La nature des sédiments joue également un rôle important (sable ou vase). Le développement des Pistia par exemple est lié à l'abondance des sédiments vaseux (EL BEID et KOMADOUGOU - YOBE principalement).

3. Le vent, par l'action mécanique incessante des vagues qu'il provoque sur les franges des flots-bancs et des îles de l'archipel, conditionne souvent l'aspect de la végétation des rives au vent (à roselières marginales) ou sous le vent (avec associations marginales à Pistia, à Nymphaea, à Ludwigia ou à prairie aquatique en avant des roselières).

4. La composition physico-chimique des eaux

Il existe enfin un autre facteur dont l'influence se traduit par de nettes modifications dans l'aspect de la végétation. Si l'on se dirige du Sud du lac vers le Nord, du delta du CHARI à NGUIGMI (NIGER) par exemple, on observe la nette évolution suivante :

- a. dominance puis disparition progressive des prairies aquatiques à Vossia.
- b. abondance ensuite puis disparition progressive des papyrus avec une typique zone intermédiaire de papyrus maladifs.
- c. disparition progressive de nombreuses espèces et groupements aquatiques liés aux eaux douces (nymphaies, utriculaires, etc...) entraînant un net appauvrissement en espèces de la flore du lac du Sud vers le Nord.
- d. dominance progressive, par suite de ces disparitions successives, des Typha, puis celle des Phragmites vers le Nord.
- e. apparition sporadique, mais significative, de Cyperus laevigatus, l'espèce exclusive des bords des mares natronées, soit sous forme de petites plages dans les prairies à bétail des îles plates non boisées du Nord de l'archipel, soit sous forme de touffes isolées sur les matelas radiculaires de Phragmites dans l'extrême Nord du lac.
- f. poursuite enfin, dans les lacs et mares du KANEM, de l'appauvrissement progressif de la végétation du lac.

C'est dans ce dernier milieu que, pour le botaniste, se trouve l'explication de l'évolution de la végétation. Les trois types de végétation observés dans et autour des mares du KANEM sont fonction, en effet, de la concentration de plus en plus forte des eaux en sels minéraux. L'appauvrissement extrême de la végétation se trouve représenté dans les mares natronées avec ou sans Phragmites malingres dans l'eau et avec une typique ceinture pure et bien verte de Cyperus laevigatus souvent entremêlés de cristallisations blanchâtres de sels divers. Cette même végétation se retrouve au bord des lacs natronés à travers tout le SAHARA, jusqu'à OUANIANGA KEBIR (TCHAD) et KOUFRA (Sud de la LIBYE).

Le facteur écologique fondamental qui règle les modifications de la végétation du Sud vers le Nord semble donc bien être la concentration progressive des sels minéraux plus on s'écarte vers le Nord, c'est-à-dire plus on s'éloigne du CHARI, le plus important apport d'eau douce du lac.

IV. Les GROUPEMENTS VEGETAUX

Voici, brièvement énumérés, les principaux groupements végétaux liés à l'eau rencontrés dans la région du Lac TCHAD.

A. Végétation aquatique des eaux calmes douces

1. Association à Potamogeton et Vallisneria

Delta du CHARI et eaux du lac - Au niveau de l'eau et surtout dans l'eau - Constitue parfois d'immenses herbiers aquatiques (herbiers à Potamogeton au large de HADJER el HAMIS).

Se compose de Potamogeton, Vallisneria, Najas et souvent de Ceratophyllum.

Divers faciès caractérisés par la dominance parfois exclusive de chacun des constituants.

2. Association à Pistia et Lemna

Sur l'eau des mares ou des anses calmes ainsi que dans les franges de végétation herbacée semi-aquatique dans des endroits calmes, aussi bien dans le lac que dans l'EL BEID et la KOMADOUGOU - YOBE.

Espèces composantes : Pistia stratiotes (salade du NIL), Lemna perpusilla et Spirodela polyrrhiza (lentilles d'eau) ainsi qu'Azolla africana, très souvent accompagnées de Ceratophyllum demersum dans l'eau.

Divers faciès à dominance d'une ou deux espèces.

3. Association à Nymphaea et Utricularia (nymphaie)

Mares, anses calmes, bords des rives sous le vent.

Principales espèces constitutantes : 4 espèces de Nymphaea (nénuphar) et 3 espèces d'Utricularia (utriculaire).

B. Végétation des bords des mares temporaires d'eau douce

Association à Ammannia et Heliotropium

Bord des mares superficielles temporaires, lits de petits cours d'eau périodiquement asséchés - Progression centripète de la végétation en fonction de l'assèchement.

Végétation herbacée, naine, éphémère, très riche en espèces : Ammannia, Heliotropium, divers Cyperus, Marsilea, etc...

C. Végétation des bords des eaux natronées

Association à Cyperus laevigatus

Forme une ceinture marginale très verte en bordure même des mares et des petits lacs à eau natronée du KANEM.

Constituant presque exclusif : Cyperus laevigatus, herbe rhizomateuse.

D. Végétation des sables fluviaux et lacustres périodiquement inondés-exondés

Association à Panicum repens

Groupement herbeux sur les sables fluviaux et lacustres périodiquement inondés-exondés.

Se compose principalement de Panicum repens, espèce rhizomateuse.

E. Végétation nitrophile des vases exondées

Association à Eclipta et Basilicum

Végétation nitrophile fugace des dépôts vaseux périodiquement exondés.

Diverses espèces, dont surtout Eclipta prostrata et Basilicum polystachyon.

F. Végétation herbacée semi-aquatique

a. Végétation étalée des bords des eaux

Association à Ludwigia stolonifera

Bords des eaux, franges des prairies aquatiques et des roselières dans des anses calmes sous le vent, mares - Forme tapis flottant adapté aux fluctuations du plan d'eau - Espèces très sociables, vivaces, envahissantes, longuement étalées sur l'eau.

Principaux constituants : Ludwigia stolonifera, Cyperus mundii, Ipomoea aquatica, Neptunia oleraceae et Scirpus cubensis.

Divers faciès selon la dominance de l'une ou l'autre espèce.

b. Végétation étalée, à extrémités dressées, formant prairies aquatiques

Diverses associations et sous-associations, caractérisées chacune par la dominance presque exclusive d'une espèce, généralement une graminée, et par une écologie assez particulière - Végétation vivace, longuement étalée dans l'eau mais à extrémités dressées, périodiquement plus ou moins longtemps exondée, adaptée à l'exhaussement du substrat.

1. Association à Echinochloa stagnina

Vases, anses calmes à courant faible et à eaux peu profondes - Constitue des prairies aquatiques presque entièrement recouvertes par les hautes eaux - Groupement rare et généralement de faible superficie.

2. Association à Echinochloa pyramidalis

Végétation jamais recouverte entièrement par les hautes eaux, remarquablement adaptée aux fluctuations du plan d'eau - Diverses sous-associations :

- prairie aquatique à Echinochloa pyramidalis

Bancs de sable, berges sablonneuses, franges de végétation ripicole arbustive, mares en voie d'atterrissement - Courant lent - Groupement rare.

- prairie aquatique à Vossia cuspidata

Bancs de sable, franges de roselières - Eau assez profonde et plus ou moins agitée - Groupement dominant dans le delta du CHARI.

- prairie aquatique à Leersia hexandra

Mars en voie d'atterrissement, îles plates du lac, bordure des zones centrales exondées des îles de l'archipel - Substrat généralement vaseux - Eaux peu profondes à courant faible à nul.

- prairie aquatique à Polygonum

Bancs de sable et berges sablonneuses du CHARI.

c. Végétation dressée formant roselières

Végétation de plusieurs mètres de haut, installée en eaux assez profondes au moins durant une partie de l'année, à dominance d'une espèce.

1. Association à Cyperus papyrus (papyraie)

Épais matelas flottant formé de rhizomes entremêlés de papyrus, de tiges mortes et de débris divers, permettant le développement de fougères (Thelypteris totta) et de nombreuses lianes (Ipomoea, Luffa, Oxystelma, Cayratia et Vigna).

2. Association à Phragmites australis subsp. altissimus (phragmitaie)

Épais matelas flottant avec diverses lianes semblables à celles des papyraies.

3. Association à Typha australis (typhaie)

Absence de matelas flottant expliquant la grande pauvreté spécifique de ce groupement - Quelques lianes, dont Oxystelma.

G. Végétation arbustive périodiquement inondée-exondée

1. Association ripicole à Mimosa et Salix

Frange arbustive sur les berges du CHARI.

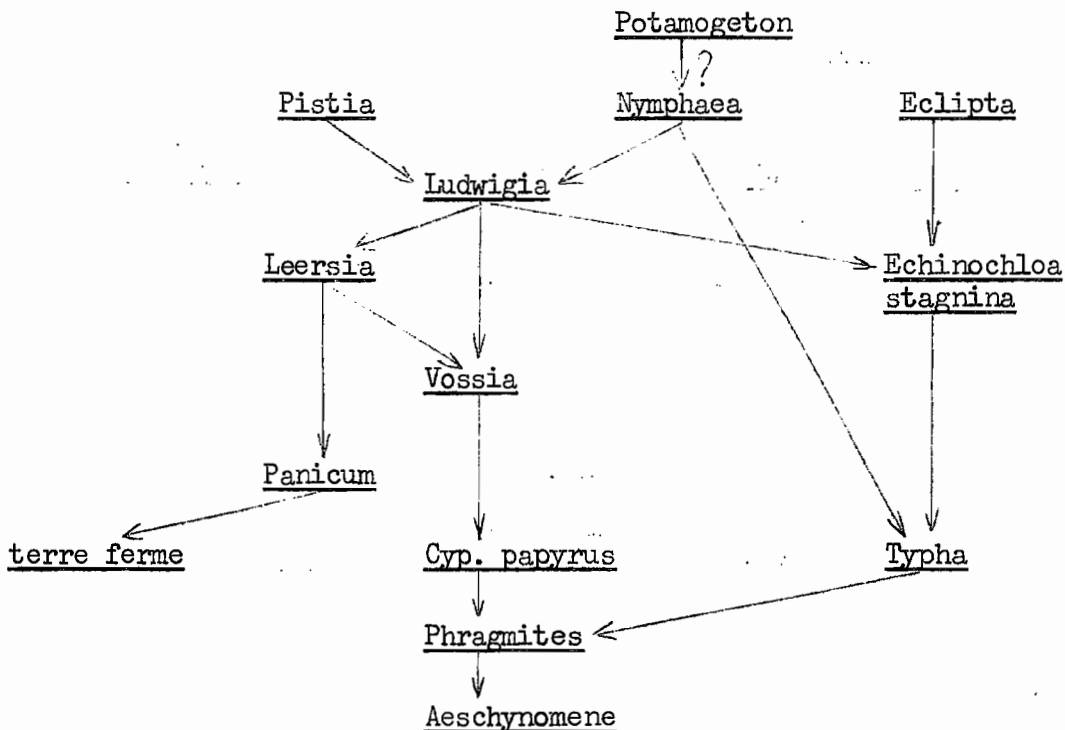
Principales espèces : Mimosa pigra, Salix ledermannii, Phyllanthus, Ficus et Sesbania.

2. Groupement à Aeschynomene elaphroxylon (ambach)

Ilots-bancs et marges des îles - Groupement bien développé en certaines parties du lac il y a quelques dizaines d'années, actuellement pratiquement disparu par suite de fortes crues - Rares lambeaux observés çà et là, mais assez bien de jeunes plants rencontrés en bordure de certaines îles de l'archipel - L'ambach peut atteindre 5-6 m de haut et 15-30 cm de diamètre.

V. DYNAMIQUE de la VEGETATION du LAC

Les grandes lignes de l'évolution actuelle de la végétation aquatique et semi-aquatique du Lac TCHAD peuvent être représentées par le schéma suivant :



Dans l'état actuel du lac (1968), il semble que les espèces qui couvrent les plus grandes superficies soient respectivement les Phragmites, puis les Cyperus papyrus, les Vossia et les Typha et enfin les Potamogeton.

Des baisses des eaux fortes et prolongées se traduiraient par une accélération de l'évolution de la végétation, par une augmentation en nombre et en superficie des îlots-bancs et des îles, par une transformation de nombreux îlots-bancs en îles plates ainsi que par un développement plus important non seulement des Potamogeton dans l'eau, mais surtout du groupement arbustif à Aeschynomene sur les îlots-bancs et autour des îles.

Au contraire, une nette montée des eaux se maintenant durant plusieurs années aurait des conséquences inverses : régression de toute la végétation (sauf de l'association à Pistia), rétrécissement de la surface des îles et des îlots-bancs avec disparition de nombreux de ceux-ci, transformation de la plupart des îles plates en îlots-bancs et régression nette, voire disparition, des Aeschynomene.

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

Service hydrologique

**SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES
CHARGE DE LA COOPERATION**

MONOGRAPHIE HYDROLOGIQUE DU LAC TCHAD

Tome annexe

RECUEIL DE DONNEES NUMERIQUES

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT d'ETAT
aux AFFAIRES ETRANGERES
CHARGE de la COOPERATION

Service Hydrologique

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

d u L A C T C H A D

TOME ANNEXE

RECUEIL de DONNEES NUMERIQUES

RECUEIL de DONNEES NUMERIQUES

	Page
Hauteurs limnimétriques observées aux stations de :	
1 - BOL a) Hauteurs d'eau brutes observées	1
b) Hauteurs d'eau lissées	39
2 - NGUIGMI Hauteurs d'eau brutes observées	59
3 - HADJER EL HAMIS Hauteurs d'eau brutes observées	65
4 - ESTUAIRE CHARI Hauteurs d'eau brutes observées	67
(Bras oriental rive gauche)	
5 - TAGAGA Hauteurs d'eau brutes observées	69
6 - KARE KATIA Hauteurs d'eau brutes observées	71

1 - STATION de BOL

a) Hauteurs d'eau brutes observées

NOTA - Le zéro de l'échelle a varié comme suit :

En 1908	:	281,22 m	(IGN 1956)
De 1912 à 1919	:	"	"
En 1932	:	280,35 m (?)	"
De Juillet 1953 au 24 Janvier 1967	:	280,87 m	"
Depuis le 24 Janvier 1967	:	277,87 m	"

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1908

[illegible]

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1912

[illegible]

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1913

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	34	22	10	-11		-36	-46	(-55)	-53	-48	-43	-38
2	35	22	10	-11		-34	(-46)	-55	(-53)	-49	-43	-40
3	35	23	7	-12		(-35)	-46	-54	-53	-49	-44	-42
4	36	23	5	-13		-35	(-46)	-54	-53	-48	-44	-42
5	36	22	1	-14	-17	-38	-47	-55	-53	-48	-44	-43
6	36	18	0	-17	-17	-39	-47	-54	-53	-48	-44	-43
7	35	17	-5	-18	-18	-41	(-47)	-54	-53	-45	-45	-44
8	35	17	-8	-19	-20	-41	-47	-55	-52	-45	-43	-44
9	35	17	-7	-18	-24	-43	(-47)	-55	-52	-46	-44	
10	35	17	-7	-18	-25	-43	-47	-55	(-50)	-46	-44	
11	35	18	-6	-19	-24	-43	-48	-55	-49	-45	-44	
12	34	18	-6	-19	-24	-43	-48	(-54)	(-50)	-45	-44	
13	(33)	20	-7	-19	(-24)	-42	-49	-54	-50	-41	-44	
14	33	17	-8	-18	-23	-41	-48	-54	-51	-43	-43	
15	33	17	-8	-17	-24	-41	(-49)	-54	-49	-41	-42	
16	32	16	-6	-16	-24	-41	-49	-53	-47	-39	-41	-44
17	32	15	-7	-16	-24	-41	-50	-53	-47	-37	-40	-45
18	31	14	(-6)	(-17)	-27	-41	-50	-54	-46	-38	-40	-46
19	24	13	-6	(-18)	-29	-42	-50	-56	-47	-39	-40	-47
20	23	12	-5	-19	-30	-43	-51	-55	-47	-40	-41	-48
21	23	12	-8	(-20)	-30	-44	-50	-55	-47	-42	-42	-49
22	23	13	-10	-24	-30	-45	-51	(-55)	-46	-42	-43	-50
23	23	13	-8	-25	-30	-45	(-51)	(-54)	-45	-42	-44	-52
24	23	13	-10	-26	-28	-45	-51	-54	-44	-42	-44	-52
25	(23)	12	-11	-25	-28	(-45)	(-51)	-54	-44	-42	-45	-52
26	23	11	-12	-22	(-29)	-46	-52	-54	-44	-42	-45	-52
27	22	10	-12		-29	-46	-53	-54	-44	-43	-44	-52
28	22	10	-12		-31	-46	-53	-53	-43	-43	-43	-50
29	21		-13		-36	(-46)	-54	-49	-44	-43	-41	-48
30	20		-11		-36	-46	-54	-53	-46	-42	-39	-46
31	20		-11		-36		-55			-43		-46

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1914

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-46	-58	-62	-78	-102	-107	-116	-126	-104	-84	-57	-40
2	-46	-59	-64	-80	-102	-106	-117	-126	-103	-84	-56	-40
3	-47	-59	-66	-83		-106	-118	-126	-102	(-84)	-54	-40
4	-47	-59	-68	-86		-106	-119	-124	-100	-84	-52	-40
5	-48	-60	-70	-86		-106	-121	-124	-100	-84	-51	-40
6	-48	-61	-72	-86		-108	-123	-120	(-99)	-84	-51	-40
7	-49	-62	-72	-86		-108	-124	-118	(-98)	-84	-50	-40
8	-50	-63	-74	-86		-108	-125	-118	-98	-83	-48	-40
9	-52	-64	-74	-87		-108	-125	-118	(-98)	-82	-46	-40
10	-54	-64	-76	-88		-106	-125	-116	-98	-82	-45	-40
11	-56	-64	-77	-88		-106	-125	-116	(-97)	-77	-43	-40
12	-55	-64	-77	-88		-106	-125	-116	-96	-77	-42	-40
13	-54	-64	-77	-88		-108	-125	-114	(-96)	-77	-41	-40
14	-53	-65	-74	-88		-108	-126	-113	-96	-77	-39	-40
15	-54	-66	-74	-88		-108	-126	-113	-96	-76	-37	-40
16	-55	-66	-74		-104	-108	-126	-113	-96	-75	-35	-40
17	-55	-67	-74		-104	-108	(-126)	-113	-96	-75	-35	-40
18	-50	-68	-74		-106	-110	-126	-112	-96	-74	-35	-40
19	-50	-68	-74		-106	-110	-128	-111	-96	-74	-35	-40
20	-50	-68	-74		-106	-110	-128	-110	-96	-72	-35	-40
21	-50	-68	-74		-106	-111	(-128)	-110	-95	-72	-35	-40
22	-50	-68	-75		-104	-111	-128	-110	-95	-71	-35	-40
23	-50	-68	-75		-104	-111	-128	-110	(-94)	-71	-35	-40
24	-50	-68	-74		(-105)	-111	-128	-109	-93	-70	-35	-40
25	-50	-68	-74	-98	-105	-112	-129	-107	-93	-68	-35	-38
26	-51	-63	-75	-98	-108	-112	-129	-106	-90	-66	-35	-36
27	-52	-63	-76	-99	-108	-112	-129	-106	(-89)	-64	-35	-36
28	-53	-63	-76	-100	-109	-114	-129	-106	-88	-60	-35	-36
29	-54		-77	-101	-110	-114	-129	-106	-86	-58	-35	-36
30	-56		-77	-102	-110	-116	-128	-104	(-85)	-57	-35	-38
31	-57		-78		-108		-128	-104		-57		-39

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1915

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-39	-45	-63	-80		-100	-116	-100	-80	-54	-34	-23
2	-39	-46	-64	-80		-100	-116	-100	-79	-53	-34	-24
3	-40	-46	-65	-80		-102	-116	-100	-77	-52	-33	-24
4	-40	-48	-66	-80		-102	-116	-100	-76	-50	-33	-24
5	-40	-48	-66	(-80)		-102	-114	-98	(-76)	-49	-33	-24
6	-42	-50	-66	-80		-100	-114	-98	-75	-47	-33	-25
7	-42	-52	-66	-80		-100	-116	-96	(-75)	-47	-33	-25
8	-42	-52	-66	-82		-100	-116	-96	(-74)	-47	-31	-26
9	-43	-54	-68	-82		(-100)	-116	-96	-73	-47	-29	-26
10	-44	-54	-68	-82	-100	-100	-116	-96	-72	-47	-29	-26
11	-45	-56	-68	-83	-102	-100	-114	-96	(-71)	-47	-28	-26
12	-45	-56	-68	-83	-102	-100	-114	-95	-70	-47	-27	-25
13	-44	-56		-83	-102	-102	-114	-95	-69	-47	-26	-25
14	-44	-56	-70	-83	-101	-102	-114	-93	-68	-47	-25	-23
15	-44	-57		-83	-100	-102	-114	-93	(-67)	-47	-24	-22
16	-45	-58		-83	-100	-102	-114	-92	-67	-45	-22	-23
17	-46	-58		-83	-101	-102	-114	-92	(-65)	-45	-22	-24
18	-47	-58		-84	-101	-104	-114	-92	-64	-44	-22	-24
19	-47	-60		-85	-102	(-104)	-114	-91	(-63)	-44	-22	-24
20	-47	-60		-85	-102	-104	-112	-89	(-62)	-44	-21	-24
21	-47	-62		-87	-101	-106	-112	-88	-62	-41	-21	-23
22	-47	-62		-89	-102	-110	-112	-87	-61	-41	-20	-22
23	-47	-62		-91	-102	-106	-112	-86	-60	-41	-20	-21
24	-47	-62		-93	-102	-110	-112	-86	(-60)	-41	-19	-22
25	-47	-62	-81	-95	-102	-112	-110	-84	(-60)	-41	-19	-23
26	-45	-62	-81	-97	-102	-114	-112	-84	(-59)	-40	-19	-24
27	-45	-62	-81	-97	-102	-112	-108	-84	-59	-39	-19	-26
28	-45	-62	-80		-102	-114	-104	-82	-58	-38	-18	-31
29	-45		-80		-100	-114	-100	-82	-56	-36	-19	-31
30	-45		-80		-100	-116	-100	-81	-55	-34	-19	-32
31	-45		-80		-100		-100	-80		-34		-32

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1916

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-32	-35	-56	-64	-83	-88	-94	-89	-53	-13	21	70
2	-32	-35	-56	-62	-84	-90	-94	-86	-52	-11	22	71
3	-33	-36	-54	-62	-84	-92	-94	-86	-52	-11	24	74
4	-33	-34	-52	-62	-82	-92	-94	-85	-51	-12	24	75
5	-34	-36	-52	-62	-82	-92	-95	-85	-50	-12	26	76
6	-35	-37	-52	-63	-82	-92	-96	-85	-48	-12	29	76
7	-36	-38	-52	-63	-82	-92	-96	-84	-47	-12	30	77
8	-36	-40	-52	-64	-82	-92	-97	-83	-47	-10	32	78
9	-36	-41	-53	-66	-83	-93	-98	-82	-44	-10	36	78
10	-36	-42	-54	-66	-84	-93	-98	-81	-43	-9	40	83
11	-32	-42	-54	-67	-85	-93	-98	-80	-42	-9	40	84
12	-30	-42	-56	-67	-85	-93	-98	-80	-41	-7	42	84
13	-30	-42	-56	-67	-85	-93	-98	-78	-39	-6	45	84
14	-30	-43	-57	-70	-85	-93	-98	-76	-38	-3	47	85
15	-31	-44	-59	-73	-85	-93	-98	-74	-38	-1	49	85
16	-32	-45	-59	-74	-85	-93	-98	-74	-38	1	51	85
17	-33	-46	-59	-74	-85	-93	-98	-74	-36	2	52	86
18	-35	-46	-60	-74	-86	-93	-98	-72	-34	3	52	86
19	-35	-47	-62	-75	-83	-93	-98	-68	-32	4	54	85
20	-36	-47	-64	-76	-83	-94	-96	-67	-30	4	54	85
21	-37	-47	-65	-77	-84	-94	-96	-67	-30	7	56	85
22	-40	-48	-66	-79	-84	-94	-94	-66	-30	8	59	83
23	-40	-48	-66	-80	-84	-94	-92	-65	-27	8	60	84
24	-40	-49	-67	-82	-84	-94	-91	-65	-26	9	62	83
25	-40	-52	-68	-82	-84	-94	-91	-62	-24	11	65	83
26	-40	-54	-68	-82	-84	-94	-91	-61	-20	13	68	82
27	-40	-54	-69	-82	-85	-94	-90	-59	-19	16	70	80
28	-39	-54	-68	-82	-86	-94	-90	-59	-19	17	71	80
29	-38	-56	-68	-82	-86	-94	-89	-55	-18	19	71	80
30	-37		-67	-82	-86	-94	-89	-55	-18	20	71	80
31	-37		-66		-86		-89	-55		20		78

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1917

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1						-26	-34	-34	-14	15	46	79
2						-27	-35	-32	-13	16	47	80
3						-27	-35	-32	-12	16	49	80
4						-27	-35	-32	-11	16	53	81
5						-28	-36	-32	-10	16	55	82
6						-28	-36	-31	-8	18	56	81
7						-28	-36	-31	-6	18	58	79
8						-28	-36	-31	-5	19	60	80
9						-28	-36	-30	-3	19	63	81
10						-28	-36	-30	-2	19	64	82
11						-28	-36	-30	-2	20	65	83
12						-28	-37	-30	-1	20	66	84
13						-28	-37	-30	0	20	66	84
14						-28	-37	-29	1	21	67	84
15						-28	-38	-28	2	24	68	85
16						-28	-38	-27	5	26	69	85
17						-28	-38	-25	6	27	70	84
18						-29	-38	-24	6	29	70	84
19						-29	-38	-23	7	32	71	84
20						-29	-38	-23	8	32	72	83
21						-30	-38	-22	10	32	72	83
22						-30	-38	-22	12	33	72	83
23						-32	-38	-21	12	34	72	83
24						-32	-38	-21	12	34	72	83
25						-32	-38	-20	14	36	73	83
26						-33	-38	-19	14	38	73	82
27						-33	-35	-18	14	40	73	81
28						-33	-35	-17	14	40	74	79
29						-34	-35	-16	15	42	76	79
30						-34	-35	-14	15	44	78	79
							-34	-14		46		78

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1918

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	78	58	48	22	7	-10	-20	-19	-2	30	55	65
2	77	57	47	22	7	-10	-20	-18	-2	31	56	65
3	75	57	47	21	7	-10	-20	-18	-1	33	57	64
4	72	56	46	19	7	-10	-22	-17	-1	34	57	64
5	71	56	44	18	7	-10	-22	-17	0	35	57	63
6	70	54	43	17	7	-10	-22	-17	2	36	57	62
7	68	54	41	16	6	-10	-22	-16	2	37	57	62
8	68	54	40	15	6	-11	-22	-16	2	38	58	62
9	67	53	39	15	5	-11	-22	-14	4	39	58	62
10	66	52	38	16	5	-11	-23	-14	6	39	57	62
11	66	52	38	16	5	-12	-24	-14	6	40	56	62
12	65	51	38	17	5	-13	-24	-13	6	41	56	61
13	65	51	37	17	5	-14	-24	-13	6	41	57	61
14	64	51	36	16	5	-15	-24	-13	8	43	58	61
15	64	52	35	15	5	-15	-24	-11	9	(43)	59	60
16	63	52	34	14	3	-15	-24	-10	10	(44)	60	60
17	62	52	34	13	3	-16	-24	-10	12	(45)	61	60
18	62	52	33	12	2	-16	-24	-10	14	(46)	61	60
19	62	52	32	11	1	-17	-24	- 9	15	47	63	60
20	62	51	31	10	0	-18	-25	- 9	16	47	65	60
21	61	51	30	10	-1	-19	-25	- 8	18	49	66	60
22	60	51	28	10	-2	-20	-25	- 8	19	49	66	60
23	60	51	27	9	-2	-20	-25	- 8	20	49	66	60
24	59	50	27	9	-4	-19	-25	- 8	20	49	66	60
25	58	49	26	9	-5	-19	-24	- 7	23	49	66	60
26	58	48	25	8	-6	-20	-23	- 7	25	50	67	60
27	58	48	24	8	-7	-20	-22	- 5	26	50	67	60
28	58	48	23	7	-8	-20	-23	- 5	27	51	67	59
29	58		23	7	-9	-20	-23	- 4	28	52	65	59
30	58		22	7	-9	-20	-22	- 2	30	53	65	58
31	58		21		-10		-21	- 2		53		56

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1919

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	56	44	34	8	-8	-19	-32	-27	-8			
2	56	44	33	7	-8	-20	-32	-27				
3	56	43	33	7	-9	-21	-32	-26				
4	56	43	33	7	-10	-22	-33	-26				
5	56	42	31	6	-10	-22	-33	-25				
6	55	42	30	6	-12	-22	-33	-24				
7	55	41	30	5	-13	-23	-33	-24	-5			
8	54	41	28	5	-13	-23	-33	-23	-5			
9	54	40	27	4	-12	-24	-33	-22	-4			
10	54	39	25	4	-12	-24	-34	-21	-4			
11	54	39	24	4	-13	-24	-34	-19	-4			
12	54	38	22	4	-14	-25	-34	-19	-4			
13	54	38	20	4	-14	-26	-34	-17	-5			
14	53	36	19	3	-14	-26	-34	-16	-5			
15	52	36	18	3	-14	-26	-35	-15	-8			
16	52	36	17	2	-14	-26	-35	-14	0			
17	52	36	16	1	-14	-26	-35	-14	1			
18	51	36	15	0	-14	-27	-35	-14	2			
19	50	36	14	-1	-14	-28	-35	-13	3			
20	50	36	12	-1	-14	-28	-35	-12	4			
21	50	35	12	-2	-14	-28	-34	-12	6			
22	50	34	11	-2	-14	-28	-33	-11	8			
23	50	34	10	-3	-14	-28	-33	-11	10			
24	49	34	10	-4	-15	-28	-32	-10	10			
25	48	34	10	-5	-16	-28	-31	-10	12			
26	48	34	10	-5	-16	-28	-30	-10	12			
27	47	34	9	-6	-16	-29	-30	-9	13			
28	46	34	9	-6	-16	-30	-29	-9	14			
29	46		8	-6	-17	-30	-28	-9	16			
30	45		8	-7	-17	-31	-28	-8	18			
31	44		8		-18		-28					

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1932

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1									72			
2								58				
3						56		60			106	
4												
5												
6										85		
7						53		64				
8									74			
9												
10											114	
11					65			68				
12									75			
13					65							
14							46				117	
15										88		
16					64							124
17						50						
18					64		50	68				
19												
20					61				77			
21							48	68				
22					61					98		
23								68				
24												120
25											122	
26									72			118
27					58		54					
28						47				104		
29									83		124	
30						47						
31					56			72				

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1953

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7										60		
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15								20	45		75	
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29							10		50			
30										70	85	
31								40				80

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1954

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1												
2					47					78		
3								30				
4									64		96	122
5						36	12					
6			46									
7	86				46							
8												
9												
10						20	10				104	127
11								32				
12				48	38					88		
13									65			
14	80							40				
15						18					111	134
16												
17				48						86		
18									68			
19					34					92		
20						18	10	56			109	133
21												
22				48						87		
23												
24					34			58	70			
25						16	12				111	137
26												
27				47		18				90		
28		70						62	75		116	
29					30							
30				36		14					118	130
31	79		58				28			94		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1955

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	130		127		102	87		74	86	107		
2												
3												
4												
5	134	134	126	109	95	80	70	74	89	112	126	160
6												
7												
8												
9												
10	138		125	104	89	80	70	79	91	114	127	162
11												
12												
13												
14												
15	138	130	122	106	94	82	76	80	93	116	127	163
16												
17												
18												
19												
20	137	127	120	102	94	76	69	83	93	113	139	160
21												
22												
23									98	123		
24												
25	140	125	114	102	86	75	67	85	105	128	150	175
26												
27												
28												
29												
30	138		113	102	87	74	68		107		146	179
31								86		126		177

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1956

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	175	175	170	158	148	125	112	115	130	156	165	204
2	178	178	168	141	146	123	114	114	136	159	164	
3	178	180	173	155	142	(124)		(120)	139	163	(168)	
4	176	180	176	154	145	124		125	140	161	172	
5	177	180	174	152	137	126		124	142	162	175	
6	178	179	175	153	133	124		117	143	164	177	
7	178	178	174	154	133	126		115	146	165	179	206
8	180	176	174	158	135	128		113	145	163	177	207
9	178	177	172	157	135	124	108	113	145	167	177	205
10	180	176	170	158	134	124		114	144	168	179	(201)
11	178	172	170	157	134	126		118	142	172	178	197
12	179	177	164	155	134	124		122	146	176	177	195
13	179	175	167	154	134	122		127	150	(170)	176	196
14	179	177	164	153	134	123		123	150	163	179	199
15	172	175	174	152	135	129		122	145	(163)	178	198
16	175	176	167	148	132		108	124	148	163	178	196
17	171	179	171	148	135		115	128	152	(167)	179	198
18	174	177	172	150	(133)		113	124	159	172	188	199
19	170	176	170	152	131		114	126	152	164	196	202
20	174	174	172	146	129		112	128	152	157	190	205
21	172	173	169	145	132		(113)	133	155	162	191	204
22	175	178	166	147	134		115	129	156	(161)	192	205
23	176	174	166	145	135		(114)	128	157	160	193	206
24	177	176	165	146	131		114	128	158	165	193	208
25	180	180	166	148	(132)		113	131	162	168	194	207
26	180	179	168	147	(132)		110	130	156	(168)	193	209
27	(177)	178	166	145	133		114	129	156	169	193	207
28	174	175	163	146	131		118	132	163	165	196	210
29	174	172	164	147	(129)		113	133	164	(165)	199	209
30	174		158	148	126		115	134	160	165	199	208
31	176		158		124			134		172		209

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1957

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	210		203		194	194	178	177		165		166
2	209		203		194	194	178	183		165		153
3	210		(196)		193	194	182	182		165		151
4	208		190		192	194	182	185		168		153
5	209		191	193	193	193	186	186		168		157
6	210		192	193	191	189	181	182		172		161
7	209		194	195	188	190		183		173		161
8	210		195	195	190	195		184		172		151
9	209		194	192	194	195		182		172		148
10	208		192	(192)	194	190		179		172		152
11	207		(195)	(195)	190	193		179		166		150
12	210		(195)	(195)	189	195		181		157		147
13	203		(195)	191	192	194		181		164		145
14	207		192	193	191	189		177		165		150
15	206		193	194	186	189		180		159		153
16	204		194	195	186	190		178		159		151
17	206		194	202	188	192		175		160		150
18	208		194	195	188	190		174		162		154
19	208		194	195	186	188		171		162		152
20	205		193	194	190	193		167		161		147
21	(206)		193	194	189	189		167		166		147
22	207		194	194	185	187		171		160		147
23	(207)		193	193	186	185		172		163		148
24	208		192	194	184	184		175		161		149
25	206		191	193	184	183		174		162		153
26	205		193	192	183	186		172		155		154
27	208		192	191	186	186		169		155		151
28	(206)		193	194	185	186		167		155		145
29	204				185	184		166		161		140
30	205				179	179		165		163		139
31	206				176	176				161		

LAC TCHAD à BOL

Hauteur d'eau brutes observées (cm)

Année 1957 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1		144		147	152	149	159	161	170	172	179	178
2		146		155	148	147	163	163	173	176	177	180
3		145		148	145	147	172	159	175	177	181	181
4		146		148	147	146	166	167	176	176	180	182
5		149		150	147	155	164	166	170	169	175	177
6		148		152	154	151	170	170	167	168	178	179
7		145		154	150	151	169	167	169	176	173	177
8		145		149	152	156	166	166	175	175	179	183
9		146		146	153	152	171	166	175	176	177	174
10		154		145	150	149	169	168	174	174	174	178
11		147		145	152	155	157	165	173	170	174	175
12		145	147	145	153	152	163	164	166	168	176	176
13		144	144	145	154	156	166	166	167	171	177	178
14		144	143	144	159	163	166	165	172	171	180	177
15		146	149	145	167	158	166	168	173	174	181	180
16		146	148	143	158	154	167	163	175	175	184	182
17		148	145	144	156	156	150	165	175	176	183	185
18		146	146	143	157	155	165	164	175	176	181	181
19		141	144	145	159	158	166	166	177	176	181	180
20		144	146	146	156	154	171	169	176	179	180	177
21		145	153	148	155	153	165	165	176	175	177	177
22		146	146	155	156	157	166	166	175	177	179	179
23		147	147	146	163	163	166	171	176	175	177	178
24		147	144	146	162	162	165	166	178	178	176	172
25		147	148	146	162	162	166	172	175	179	173	181
26		147	147	146	156	154	174	176	178	177	176	178
27		145	147	148	159	163	170	173	177	178	174	183
28		152	149	151	162	168	175	177	180	181	176	177
29		147	151	152	165	160	165	166	178	179	176	178
30		144	151	157	159	161	167	169	178	180	181	182
31		149	152	152			165	168			183	182

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1958

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	181	182	172	174	164	168	149	154	137	137	121	118
2	180	181	172	172	161	167	148	155	137	134	115	125
3	177	182	170	173	163	165	148	152	134	138	116	125
4	177	182	172	177	164	160	148	151	132	127	116	120
5	173	177	172	174	162	165	148	148	130	127	123	123
6	171	174	170	168	164	168	144	146	129	139	126	120
7	171	175	166	175	162	167	144	146	130	128	121	115
8	173	176	164	175	159	169	139	139	120	120	118	116
9	173	176	171	174	161	160	146	150	117	127	120	118
10	177	178	169	176	159	163	148	148	120	122	121	118
11	177	179	170	170	159	161	146	147	119	121	111	121
12	178	181	164	165	158	164	144	147	120	123	115	119
13	178	179	163	160	159	164	146	148	121	124	118	114
14	178	179	162	156	158	148	143	150	122	122	114	114
15	176	180	158	155	154	154	148	157	123	126	108	112
16	177	180	158	160	154	157	146	150	123	128	(113)	114
17	176	181	159	164	151	157	153	152	123	123	118	117
18	180	181	162	164	154	159	147	149	123	128	114	112
19	180	181	163	167	154	156	151	140	126	129	109	110
20	178	179	163	160	154	159	138	138	124	129	113	108
21	174	180	164	171	155	159	139	132	122	129	116	110
22	175	182	168	172	154	154	123	126	124	131	113	112
23	177	179	167	168	151	152	126	135	124	128	110	114
24	177	175	163	166	150	149	131	137	122	130	119	115
25	176	178	169	170	148	151	133	139	124	123	109	110
26	174	172	167	173	149	145	134	139	122	120	112	112
27	172	172	166	171	149	152	134	141	119	121	114	108
28	173	176	165	170	148	153	133	142	118	118	105	107
29	174	176			148	152	136	142	117	116	106	108
30	173	176			148	146	144	136	117	123	103	112
31	172	177			147	153			116	116		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1958 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	119	117	121	124	133	134	147	147	153	153	158	162
2	109	105	114	119	130	131	146	145	148	151	158	160
3	103	114	117	114	135	135	143	149	148	144	158	160
4	118	118	113	113	136	132	143	144	143	145	152	156
5	114	111	110	113	135	137	144	143	140	140	160	160
6	108	103	111	118	143	136	143	143	144	150	167	164
7	107	102	113	119	134	137	145	143	149	153	161	164
8	101	105	117	120	(137)	137	148	147	154	153	167	167
9	108	103	118	117	131	136	147	150	152	156	163	167
10	103	108	116	117	133	136	151	150	151	153	164	167
11	108	103	114	119	147	145	148	147	150	152	167	170
12	116	116	117	120	143	142	148	148	157	156	170	168
13	115	113	117	119	140	138	148	145	152	154	161	172
14	114	113	116	120	138	134	141	145	158	160	170	171
15	113	109	112	120	138	137	140	138	159	161	162	169
16	107	107	114	114	137	136	140	138	158	161	163	170
17	104	111	117	119	133	136	149	139	164	160	163	165
18	109	114	117	120	133	135	140	139	154	156	160	167
19	106	109	124	127	137	137	139	138	154	156	162	163
20	113	110	124	125	140	147	141	141	154	158	160	165
21	108	117	120	126	143	142	145	148	158	158	162	165
22	112	112	132	131	142	142	149	148	159	158	163	164
23	112	110	124	122	139	141	149	149	161	162	160	164
24	108	116	121	122	141	141	150	149	158	161	160	164
25	108	107	120	121	138	141	149	149	158	159	161	162
26	105	102	122	130	141	135	144	149	154	160	161	164
27	109	108	132	132	143	143	149	148	158	159	160	164
28	113	107	128	133	142	141	150	148	159	161	161	164
29	104	109	128	128	148	145	144	153	(160)	(162)	160	164
30	109	114	135	134	141	140	150	149	161	163	161	164
31	107	117	131	135			151	150			165	164

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1959

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	165	158	154	160	145	142	134	134	110	111	102	104
2	158	157	152	157	136	134	130	134	112	110	103	102
3	160	158	152	151	134	134	132	134	112	110	100	107
4	162	158	152	152	137	134	135	134	112	110	102	105
5	160	163	152	152	135	131	132	132	111	110	100	100
6	159	166	153	152	135	131	127	123	113	107	100	100
7	162	166	154	155	137	130	113	113	114	114	100	100
8	161	167	153	155	134	130	112	126	111	114	100	93
9	162	163	150	149	133	130	125	121	112	113	92	90
10	164	162	151	152	135	130	127	126	111	114	90	93
11	162	160	152	154	134	130	123	125	112	118	88	88
12	160	160	152	154	137	129	124	125	112	117	100	92
13	161	160	150	154	136	130	122	124	114	118	91	87
14	161	160	148	146	137	130	122	120	112	118	90	88
15	160	160	144	142	130	130	121	117	112	117	93	89
16	160	161	142	131	132	130	120	119	110	112	89	87
17	158	159	134	130	137	131	120	123	111	110	85	84
18	159	157	142	140	133	135	120	117	107	110	85	83
19	159	154	146	140	130	132	118	120	109	107	85	80
20	153	143	147	140	135	132	120	123	114	107	90	90
21	142	142	142	142	136	134	120	123	107	109	90	88
22	145	142	144	140	138	135	120	123	105	108	90	87
23	148	142	143	139	134	138	120	122	105	111	86	87
24	152	142	142	139	138	138	121	120	104	110	86	86
25	153	155	135	137	133	132	118	119	106	115	84	82
26	152	157	140	140	134	132	122	120	108	112	86	84
27	154	158	136	143	130	132	118	118	105	110	80	84
28	156	160	137	146	133	129	118	110	104	107	84	84
29	156	160			130	129	114	114	106	109	84	84
30	163	160			128	128	-	113	105	109	84	84
31	154	160			131	134			-	-		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1959 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	82	82	89	79	99	99	125	123	134	138	143	157
2	82	82	78	78	(99)	99	120	124	135	135	152	158
3	80	80	79	77	99	111	124	124	140	141	153	158
4	85	80	78	78	108	108	122	125	136	139	159	159
5	84	84	77	76	109	107	121	124	135	140	157	159
6	84	80	76	77	110	109	124	123	134	139	158	156
7	84	72	79	78	112	110	120	120	134	138	158	160
8	72	70	81	80	113	113	120	118	133	135	160	160
9	72	65	78	78	100	110	120	118	140	139	154	158
10	81	76	79	79	110	109	118	118	139	138	158	157
11	78	77	79	80	105	110	119	120	143	145	159	159
12	81	76	80	80	110	103	123	125	144	142	157	158
13	76	76	79	85	109	105	125	129	145	142	160	160
14	76	76	92	93	107	108	125	127	147	143	165	161
15	76	76	92	93	110	109	126	121	147	143	163	165
16	75	75	92	91	109	110	120	128	147	143	162	164
17	80	72	95	90	113	112	126	126	147	143	168	166
18	70	72	89	89	114	112	128	119	148	144	168	169
19	71	72	89	89	112	112	129	124	148	145	169	170
20	76	75	89	89	112	112	128	125	149	140	169	171
21	76	76	92	92	108	106	127	127	145	142	166	166
22	76	77	92	90	109	109	127	124	143	145	160	165
23	76	77	89	93	109	109	124	128	142	144	157	161
24	76	76	92	93	108	118	125	127	145	142	167	163
25	76	75	93	93	118	122	127	127	150	153	168	162
26	79	78	95	95	117	120	127	127	156	153	165	159
27	79	78	97	98	122	118	127	127	157	154	160	148
28	78	78	99	99	122	120	125	126	158	149	152	147
29	79	78	99	99	123	124	126	126	146	145	157	152
30	88	88	99	99	120	125	128	128	145	148	160	162
31	89	78	99	99			130	130			169	168

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1960

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	165	158	149	146	137	140	129	139	116	123	102	100
2	158	166	144	142	139	136	131	141	118	120	102	102
3	161	159	154	156	135	136	131	137	117	122	100	97
4	165	163	149	151	140	142	127	128	120	123	98	97
5	165	166	154	152	142	142	129	127	120	121	106	97
6	160	164	148	152	140	143	128	127	122	107	87	94
7	170	165	153	159	141	145	126	128	115	114	96	93
8	167	165	149	148	140	138	124	124	117	112	92	94
9	169	172	158	157	143	142	120	123	118	118	102	94
10	163	174	154	153	144	140	123	118	117	116	97	92
11	165	163	154	159	140	141	120	123	115	112	95	98
12	164	163	154	166	140	141	121	124	117	118	97	97
13	170	168	154	153	140	144	122	132	109	111	96	95
14	167	163	156	154	141	144	127	131	112	112	95	95
15	165	162	154	156	142	138	132	131	109	107	97	96
16	164	165	154	148	139	138	133	131	103	110	95	96
17	163	163	153	148	140	143	124	128	110	110	95	94
18	163	165	147	151	140	142	124	120	107	103	97	98
19	168	166	150	148	141	142	127	123	103	101	97	103
20	159	165	145	153	145	140	120	124	100	98	99	98
21	158	157	148	151	(140)	137	121	123	102	99	96	94
22	160	157	155	149	138	126	122	122	101	100	90	89
23	157	157	147	152	133	136	125	127	100	99	97	94
24	151	159	148	146	126	135	127	122	95	93	94	90
25	158	158	148	139	135	134	125	124	98	90	90	90
26	156	156	145	138	129	134	127	131	97	94	90	89
27	157	155	142	138	135	142	127	124	95	108	96	87
28	155	153	137	137	133	137	125	120	109	112	86	84
29	154	147	139	142	137	135	124	121	110	112	87	91
30	151	146			133	133	125	122	104	100	88	94
31	148	149			131	136			104	104		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1960 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	94	92	78	76	109	108	103	104	119	117	130	138
2	87	87	77	75	98	99	103	102	118	116	135	138
3	85	87	77	91	91	97	102	107	114	112	136	138
4	86	88	79	78	97	96	107	110	113	114	133	139
5	83	97	79	92	95	94	112	104	115	112	135	137
6	96	89	90	91	92	94	108	108	118	120	137	146
7	90	88	89	92	95	93	104	105	118	118	143	148
8	82	84	87	88	103	94	106	108	119	124	141	145
9	82	82	89	87	96	98	104	104	121	123	145	149
10	84	82	84	85	97	96	108	102	120	125	150	148
11	82	91	87	84	96	96	108	112	113	120	144	149
12	88	89	80	84	96	96	110	110	114	119	148	150
13	92	87	83	83	95	88	108	107	116	122	143	152
14	79	80	84	81	91	109	108	106	126	124	150	153
15	84	82	83	80	106	105	104	109	125	127	149	153
16	82	89	81	94	99	96	108	110	123	123	150	155
17	84	82	97	99	100	93	109	113	120	118	153	154
18	80	79	89	94	92	93	110	110	119	117	148	151
19	82	80	87	103	93	97	111	118	114	116	152	155
20	87	85	89	90	99	104	114	113	110	115	156	157
21	85	78	95	91	107	109	112	114	120	123	152	154
22	84	81	86	92	105	103	113	116	121	123	155	158
23	83	80	93	89	99	102	110	108	119	126	154	158
24	85	79	93	95	99	99	107	112	127	134	158	161
25	78	79	94	94	100	99	114	115	131	133	159	160
26	81	79	93	94	99	102	115	115	132	139	159	162
27	79	78	92	94	100	107	114	112	132	133	160	162
28	78	89	92	93	117	109	113	113	130	132	153	167
29	88	84	90	88	109	113	118	113	129	133	165	165
30	87	83	87	86	111	110	116	117	129	132	160	163
31	86	87	86	90			114	119			158	164

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1961

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	161	162	166	159	137	138	127	125	114	113	103	100
2	161	159	163	162	135	133	126	125	124	122	103	101
3	150	158	160	160	140	138	130	124	123	122	102	100
4	157	159	160	163	140	136	138	132	113	122	109	105
5	156	160	163	158	139	140	130	128	123	120	113	99
6	159	161	158	162	141	139	127	131	120	120	113	112
7	161	158	164	164	140	140	130	129	117	119	112	111
8	157	159	164	155	145	142	128	127	117	123	107	108
9	160	158	155	157	140	139	130	128	118	112	107	102
10	162	160	154	154	138	139	132	133	111	112	101	100
11	160	165	156	156	140	140	131	131	110	113	100	96
12	159	158	153	150	140	138	131	130	113	113	95	95
13	160	161	148	154	139	135	130	130	112	113	97	96
14	159	165	153	153	138	136	125	124	110	113	94	95
15	162	162	154	152	138	137	126	124	113	114	91	96
16	163	164	153	150	137	136	124	124	112	110	91	93
17	160	164	149	150	137	136	129	122	110	110	95	93
18	164	166	147	150	138	135	123	122	110	108	95	89
19	162	163	147	148	138	137	123	123	107	106	89	87
20	162	165	146	146	137	136	123	122	106	105	86	86
21	163	164	148	150	136	135	121	120	104	114	89	88
22	162	162	152	149	135	135	121	120	115	113	86	87
23	167	162	140	143	136	135	122	125	114	112	85	82
24	164	164	148	143	136	136	123	120	114	111	84	85
25	164	163	145	142	135	135	122	119	110	112	84	83
26	164	163	139	138	135	134	119	118	113	111	82	85
27	163	164	(138)	138	136	135	117	118	112	112	85	84
28	164	165	135	139	136	135	116	116	110	104	83	81
29	(163)	163			133	135	117	115	115	109	82	81
30	164	166			130	128	116	113	103	104	88	87
31	166	166			127	126			107	100		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées

Année 1961 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	85	83	88	88	135	136	144	146	155	159	180	197
2	81	94	88	88	136	130	143	144	156	160	193	199
3	92	96	89	87	136	127	145	145	156	160	195	196
4	92	95	87	87	125	129	143	144	154	162	194	200
5	97	95	87	87	128	129	140	145	159	164	196	203
6	94	94	88	87	128	128	143	145	163	171	192	204
7	94	89	85	85	129	129	144	145	167	172	196	204
8	87	87	88	88	129	128	145	144	171	172	202	208
9	87	86	90	92	123	125	142	142	168	169	205	210
10	89	87	92	92	125	124	143	145	166	173	207	209
11	88	86	92	93	125	137	143	144	169	172	201	208
12	87	85	93	92	136	137	156	(150)	170	171	198	206
13	85	88	92	94	137	136	152	154	172	174	203	207
14	87	88	94	105	135	135	156	152	171	175	203	210
15	87	89	107	108	137	136	155	154	172	176	206	213
16	87	89	107	109	136	135	154	150	176	181	211	215
17	87	85	109	111	136	136	149	153	175	182	212	216
18	86	87	112	113	133	134	151	151	177	183	213	217
19	87	86	113	113	135	136	151	150	182	186	213	218
20	85	87	113	110	136	138	148	151	182	185	212	218
21	85	86	109	109	143	144	143	140	178	186	216	220
22	87	87	110	110	144	145	148	153	179	186	212	222
23	85	85	110	110	144	146	148	156	180	185	212	222
24	87	85	112	110	146	146	151	158	177	184	213	219
25	85	86	113	113	146	145	153	155	178	187	213	218
26	86	85	112	118	145	144	154	158	185	192	216	217
27	85	86	113	118	144	145	154	160	186	192	212	216
28	86	85	112	120	146	146	158	166	184	190	208	217
29	85	87	134	134	145	147	162	164	183	190	215	217
30	86	88	133	135	148	148	158	159	186	192	213	219
31	84	88	135	135			157	159			200	215

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1962

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	212	(212)	211	216	203	203	192	194	185	174	166	(166)
2	206	(206)	212	215	202	206	191	191	184	186	172	(172)
3	208	(208)	210	(215)	200	205	184	189	186	184	164	(164)
4	213	(213)	209	215	203	207	187	189	182	179	162	166
5	211	219	203	214	201	206	187	192	181	186	169	168
6	214	215	208	220	200	206	187	185	179	180	167	174
7	214	218	209	205	201	205	183	193	178	180	160	154
8	215	217	202	211	198	195	187	188	179	174	163	161
9	214	216	207	211	192	203	184	187	176	186	160	158
10	215	219	206	216	196	202	184	188	173	176	159	157
11	216	218	207	213	197	204	186	187	173	172	165	156
12	215	215	210	214	195	203	189	186	177	170	146	144
13	213	213	206	213	200	199	185	183	171	174	168	159
14	211	213	203	212	198	202	181	186	168	170	157	157
15	210	215	207	213	201	205	184	183	164	166	165	163
16	206	212	209	214	203	204	177	183	168	170	159	164
17	210	(212)	198	208	201	205	178	184	171	170	160	158
18	212	215	192	211	201	200	179	182	171	174	158	158
19	212	216	202	204	198	199	180	180	169	169	160	161
20	209	216	202	203	197	201	181	186	164	165	161	162
21	212	217	198	204	197	202	182	188	169	170	158	159
22	215	219	196	206	196	199	184	188	167	169	160	160
23	217	218	203	206	195	202	183	189	165	163	159	157
24	208	222	202	207	195	204	179	184	168	171	154	152
25	214	221	202	207	196	201	183	185	175	170	153	(153)
26	214	218	202	207	196	196	187	185	168	167		
27	208	213	206	208	180	203	183	186	168	169		
28	209	215	206	208	196	197	184	186	168	166		
29	209	214			203	197	183	185	166	(166)		
30	213	215			202	197	180	178	165	(165)		
31	212	216			192	203			163	(163)		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1962 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1			168	170	164	169	187	184	209	203	227	229
2			161	158	175	177	185	187	209	206	229	228
3		163	159	159	176	174	188	189	207	208	228	228
4	162	155	159	157	174	176	193	190	209	209	230	232
5	153	152	156	155	172	174	194	204	209	211	219	232
6	150	154	157	159	174	179	191	197	211	213	223	235
7	155	153	163	162	173	177	193	187	212	199	232	236
8	153	158	167	158	177	174	192	185	198	211	229	237
9	155	151	158	159	177	169	186	192	200	204	230	235
10	153	152	166	161	174	178	189	195	205	207	231	238
11	152	153	167	163	179	172	185	190	207	208	229	234
12	155	154	158	158	172	178	187	189	206	209	228	239
13	153	158	165	161	185	189	191	190	211	214	233	239
14	154	159	162	155	178	181	188	192	212	214	236	239
15	156	160	160	166	178	174	191	190	213	215	234	240
16	168	163	173	168	175	176	193	194	215	216	236	240
17	165	161	172	169	177	184	194	193	218	219	240	241
18	158	153	162	167	189	185	195	195	219	220	243	246
19	158	152	163	166	184	180	197	199	217	220	239	254
20	153	156	167	161	180	183	196	199	215	219	242	251
21	155	155	169	177	181	182	198	199	219	(219)	239	246
22	153	164	172	172	186	184	203	200	222	224	232	247
23	157	146	175	178	188	185	204	205	223	228	241	247
24	153	152	177	179	184	182	199	207	226	224	239	248
25	150	153	175	181	187	184	208	208	219	222	242	249
26	154	154	177	180	182	176	204	211	215	228	243	250
27	152	152	164	168	181	179	201	208	222	226	244	251
28	151	147	171	165	179	(179)	199	204	225	225	247	252
29	157	157	166	170	183	188	197	196	224	227	243	247
30	156	158	164	168	198	189	195	203	228	229	236	239
31	159	169	160	166			203	204			233	244

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1963

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	233	243	241	247	235	240	220	221	217	215	205	198
2	234	244	241	246	236	245	221	223	219	211	202	199
3	241	248	239	246	237	246	221	219	216	208	203	197
4	244	248	238	250	236	238	220	217	210	209	200	197
5	245		247	250	233	237	220	222	213	212	203	202
6	239	246	245	248	231	239	219	220	209	207	199	200
7	238	246	244	246	226	(226)	223	225	212	205	190	185
8	238	248	240	247	228	(228)	225	226	213	207	192	191
9	237	248	241	247	227	237	224	225	208	206	193	191
10	236	248	242	246	225	229	219	220	209	205	196	190
11	240	249	244	243	223	232	223	222	208	217	195	196
12	239	251	236	244	225	232	221	220	208	207	187	195
13	241	250	237	243	225	234	220	218	205	204	197	198
14	243	252	239	242	228	235	217	218	208	206	195	195
15	242	248	239	241	228	229	215	220	205	206	197	187
16	238	248	236	239	227	230	216	219	204	210	191	187
17	240	247	236	240	223	229	217	219	212	199	186	186
18	238	248	237	241	227	226	217	219	187	185	189	189
19	239	245	239	238	226	227	218	216	204	203	193	185
20	241		237	237	219	226	221	218	203	205	190	189
21	240	247	235	237	222	225	216	215	203	207	195	180
22	239	248	235	238	220	226	212	213	208	205	187	181
23	247	249	235	237	225	225	214	215	212	201	187	188
24	245	247	239	241	224	229	213	217	203	204	186	183
25	244	248	237	238	224	229	212	215	205	207	184	186
26	247	249	240	243	226	228	211	213	208	210	190	188
27	249	248	237	241	228	229	209	207	205	197	192	195
28	242	248	234	242	227	227	208	212	202	196	179	176
29	243	247			226	225	215	211	197	202	183	175
30	243	247			225	226	218	212	198	197	186	177
31	243	246			222	223			207	203		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1963 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	193	182	180	183	188	186	198	200	218		230	
2	196	183	176	166	190	191	(208)	208	219		232	
3	182	179	180	172	193	197	216	215	224		231	
4	175	184	177	185	195	198	213	208	220		(232)	
5	186	180	166	180	194	191	215	209	215		234	
6	192	179	183	184	185	188	212	209	215		231	
7	178	177	171	177	193	193	202	210	219		232	
8	181	176	182	181	193	192	203	209	224		231	
9	186	176	180	183	196	191	207	215	226		233	
10	185	183	185	177	189	206	214	212	226		232	
11	184	180	183	182	197	196	223	216	222		234	
12	181	180	187	189	203	195	223	215	214		231	
13	177	178	188	(188)	201	194	220	216	217		232	
14	182	180	188	186	199	203	218	213	217		232	
15	178	176	187	188	205	207	219	212	222		234	
16	177	175	179	187	206	202	218	210	225		233	
17	169	177	182	193	200	207	218	216	229		234	
18	178	175	183	194	204		213	218	229		233	
19	176	175	184	180	206	208	212	217	230		239	
20	173	177	180	184	208	206	225	216	228		237	
21	169	172	185	187	198	201	216	222	232		236	
22	168	175	187	188	208	210	217	220	230		236	
23	186	187	191	189	213	210	222	217	236		238	
24	192	186	188	190	205	211	218	219	223		233	
25	188	174	187	188	203	213	223	215	232		233	
26	175	173	188	186	206	197	222	216	223		234	
27	178	177	180	186	206	205	220	223	222		236	
28	173	174	181	183	208	206	218	224	223		238	
29	182	174	192	194	210	199	217	221	227		239	
30	180	175	188	196	208	204	218	220	(229)		236	
31	173	176	193	182			220	225			234	

LAC TCHAD à BOL
Hauteurs d'eau brutes observées (cm)
Année 1964

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	237	243	224	244	214	(214)	206	208	194	196	184	179
2	239	245	230	240	214	217	206	208	188	190	173	179
3	234	247	229	236	217	219	208	212	188	190	172	174
4	233	243	220	238	218	223	208	209	188	190	174	172
5	233	245	222	239	217	223	206	208	186	188	173	173
6	233	245	220	235	216	224	205	208	186	188	177	177
7	236	241	223	238	216	224	206	208	188	190	174	178
8	231	240	221	240	218	228	205	206	188	191	176	178
9	230	241	219	237	214	218	206	210	188	191	174	177
10	227	240	219	242	212	218	205	207	188	191	176	184
11	227	240	210	238	214	219	205	207	188	191	168	174
12	227	240	(235)	235	215	224	198	200	188	191	173	174
13	230	234	221	230	215	218	200	203	183	185	173	174
14	227	233	223	232	215	218	200	203	183	185	184	165
15	224	233	222	230	215	215	203	203	183	186	167	160
16	223	235	220	229	217	220	203	203	185	188	167	167
17	223	237	223	230	214	217	198	201	187	188	166	160
18	230	235	220	230	210	214	198	201	187	188	170	174
19	232	236	(227)	227	210	214	196	198	187	188	173	180
20	234	237	218	226	214	217	194	196	187	188	170	160
21	230	236	221	226	209	217	188	189	187	186	171	167
22	229	238	222	227	210	215	188	190	182	184	173	173
23	229	242	216	229	210	214	180	184	178	180	167	170
24	230	234	219	225	210	214	185	189	180	180	167	174
25	229	233	215	223	210	213	186	189	182	183	171	174
26	220	230	216	222	212	208	186	189	182	183	168	166
27	228	230	(222)	222	216	212	190	190	182	183	158	166
28	226	232	218	223	210	217	190	192	182	182	165	165
29	230	233	215	218	208	218	191	192	184	185	165	165
30	233	235			208	214	198	200	181	186	165	165
31	236	239			206	216			184	185		

LAC TCHAD à BOL

Nauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1964 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	165	166	168	170	175	180	195	195	207	215		
2	167	161	165	168	166	182	195	180	206	207		
3	163	163	163	165	166	168	196	194	202	211		
4	159	173	163	165	188	190	193	194	207	200		
5	158	158	164	167	189	189	188	182	206	213		
6	158	169	166	168	184	184	179	181	210	208		
7	162	174	166	169	188	178	173	186	204	211	226	232
8	164	168	161	158	189	178	185	189	209	201	225	232
9	158	164	161	158	181	180	194	195	211	209	218	226
10	156	158	164	160	185	174	193	194	200	213	218	225
11	156	156	162	158	177	160	188	194	215	217	222	229
12	160	162	164	165	182	188	191	190	214	212	227	230
13	158	158	164	164	186	188	194	195	214	215	222	232
14	149	164	164	165	194	194	198	199	213	220	223	232
15	154	164	168	170	188	189	196	199	213	234	228	232
16	168	170	170	174	185	180	196	192	216	225	228	233
17	155	158	170	174	176	185	199	204	216	206	229	233
18	158	155	173	176	188	195	196	196	206	203	233	233
19	169	169	168	172	189	195	195	196	190	209	234	239
20	156	152	168	172	188	199	201	205	209	205	233	235
21	152	148	174	178	189	191	206	211	205	212	227	235
22	148	159	171	176	189	197	203	205	206	205	234	234
23	158	155	171	176	194	184	205	204	207	206	232	236
24	155	155	171	171	190	177	207	200	206	207	233	237
25	155	155	176	178	192	197	208	206	208	217	234	237
26	155	164	173	178	210	205	206	203	212	219	237	237
27	166	168	170	179	204	203	190	205	214	222	237	237
28	166	168	176	177	195	204	190	206	215	218	237	239
29	165	167	176	178	195	205	196	199	217	217	237	237
30	168	170	176	178	198	205	201	203	221	225	237	238
31	168	170	178	178			208	204			238	237

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1965

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	238	239	222	224	217	221	208	210	188	192	183	178
2	237	239	222	224	213	221	210	209	178	182	186	189
3	239	237	221	222	216	223	206	208	184	194	178	180
4	237	233	217	220	220	225	206	209	203	203	183	176
5	238	239	218	222	223	225	204	208	202	203	182	171
6	237	238	223	235	223	225	203	206	186	190	180	179
7	237	237	231	231	224	227	205	204	186	189	180	179
8	237	237	229	233	224	222	204	201	186	189	175	176
9	232	236	227	231	219	226	204	216	165	185	177	172
10	226	229	226	229	219	223	210	213	180	183	175	170
11	227	231	227	229	218	226	203	214	183	180	171	170
12	231	231	227	230	219	218	207	205	181	183	173	168
13	230	234	229	227	218	221	204	210	183	186	172	169
14	234	236	230	234	215	216	204	204	182	187	179	170
15	236	235	230	235	219	235	203	202	184	188	172	172
16	234	234	232	232	219	226	202	203	188	185	170	170
17	235	234	229	235	216	230	211	204	189	181	178	175
18	229	230	227	233	222	230	203	207	183	181	179	172
19	233	236	227	232	221	223	206	208	175	180	167	171
20	235	236	225	229	219	216	204	207	175	177	170	168
21	237	237	228	237	215	220	203	202	176	179	174	172
22	228	229	226	228	203	223	211	204	182	184	171	175
23	233	229	222	226	209	213	207	203	183	178	176	173
24	234	232	223	229	206	214	202	202	184	181	176	169
25	231	224	223	226	208	213	210	198	187	182	170	193
26	230	227	222	226	209	212	204	202	189	184	171	166
27	230	228	221	229	206	212	205	202	186	183	168	166
28	230	229	222	229	209	212	207	206	188	181	169	168
29	228	228			208	217	196	198	182	178	174	171
30	231	230			207	212	196	201	180	185	164	161
31	233	232			207	212			185	179		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1965 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	160	163	160	160	168	178	189	188	175	189	193	198
2	173	170	163	166	159	157	188	189	182	188	194	202
3	170	171	170	157	168	165	188	194	183	187	194	200
4	173	162	163	159	169	170	189	188	183	188	191	194
5	170	169	158	160	184	179	190	189	182	186	185	197
6	169	165	168	163	175	170	187	190	183	186	188	197
7	170	167	166	166	172	170	190	191	183	186	185	193
8	163	157	165	160	174	182	196	192	182	186	185	194
9	159	163	168	162	182	181	193	191	184	190	187	192
10	163	158	162	159	182	183	190	191	190	193	192	195
11	163	162	163	166	179	179	190	188	192	193	196	194
12	167	163	166	163	180	180	188	185	189	195	192	196
13	167	164	165	161	183	181	184	184	191	194	189	201
14	170	158	167	169	181	175	183	184	191	193	188	192
15	161	165	168	167	178	181	185	186	186	193	186	197
16	159	160	167	165	181	184	187	193	185	192	187	194
17	164	164	173	171	195	186	187	189	184	190	186	196
18	167	163	175	172	188	184	191	194	185	185	190	192
19	167	165	175	161	184	184	185	186	191	192	192	192
20	160	158	167	165	183	182	192	187	192	198	188	195
21	162	160	176	172	190	183	176	188	188	179	189	194
22	159	156	168	162	187	191	185	188	188	194	190	195
23	162	160	159	161	186	190	183	185	192	190	192	196
24	171	152	171	165	189	186	190	192	193	193	188	196
25	158	158	161	166	184	189	191	194	192	192	187	195
26	160	160	174	175	186	191	193	190	184	184	188	194
27	160	159	180	177	190	190	184	186	185	186	187	194
28	161	157	160	168	191	191	181	184	193	189	188	193
29	160	160	167	162	190	190	174	185	194	187	190	192
30	158	157	175	170	187	188	175	187	190	199	193	192
31	157	157	171	160			179	186			190	196

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1966

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	187	204	175	177	157	164	150	156	140	143	144	138
2	190	192	175	178	164	169	150	152	137	141	130	140
3	176	189	165	180	165	170	150	154	137	135	125	126
4	177	188	172	180	164	173	153	153	139	139	126	122
5	178	191	172	182	166	171	153	150	139	141	131	132
6	185	192	176	185	165	170	148	152	137	137	135	136
7	186	192	178	178	168	170	152	151	135	132	128	144
8	188	192	175	169	166	169	149	146	135	137	125	120
9	187	192	166	172	161	169	148	152	136	131	124	122
10	183	193	170	180	164	166	148	152	132	128	124	130
11	183	191	176	179	158	169	144	157	131	134	130	138
12	184	189	178	181	162	169	145	149	135	137	135	139
13	179	189	175	178	166	160	147	145	130	134	140	131
14	183	188	175	179	160	163	144	141	131	134	130	126
15	185	187	175	180	162	167	146	144	132	134	126	130
16	186	189	175	180	162	162	144	150	144	145	133	134
17	184	189	173	173	161	165	147	145	148	140	136	137
18	185	190	173	178	154	150	143	145	141	142	132	134
19	185	191	169	173	154	151	149	151	129	125	136	134
20	185	191	167	170	143	152	143	131	126	134	136	116
21	183	192	165	169	152	155	133	139	135	146	116	116
22	183	192	163	171	153	154	138	143	135	147	116	112
23	181	187	168	171	154	153	146	141	148	146	115	112
24	175	185	168	171	156	153	144	142	144	144	116	116
25	179	187	168	168	154	153	150	139	126	126	116	112
26	182	186	164	158	153	156	140	142	123	122	113	112
27	182	186	157	155	156	154	131	142	127	126	122	120
28	181	188	152	157	144	151	150	145	117	114	138	129
29	181	188			148	155	143	146	116	114	135	135
30	183	188			150	154	143	138	130	140	136	134
31	181	184			155	150			122	140		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1966 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	126	126			126	126	127	128	135	139	138	150
2	124	124			126	126	128	126	137	143	143	151
3	124	124			127	127	130	128	139	147	142	152
4	124	132			120	116	127	128	142	144	149	151
5	132	140			120	117	125	132	142	150	150	155
6	141	144			120	120	134	132	142	143	151	154
7					114	120	133	130	140	140	150	151
8					117	115	132	136	131	140	147	151
9					113	114	137	138	129	140	142	153
10					117	114	138	132	130	134	148	154
11					114	112	130	128	126	137	150	156
12					116	112	136	132	134	139	146	158
13					114	120	132	133	138	140	149	155
14					118	121	127	125	139	144	149	153
15					120	120	129	125	140	144	149	156
16					120	120	126	130	136	142	150	154
17					120	113	129	131	141	140	143	151
18					140	126	130	130	144	144	140	152
19					120	120	133	132	142	148	133	142
20					131	126	134	132	142	151	133	142
21					124	124	128	130	143	152	138	149
22					128	126	129	132	142	144	144	153
23					121	138	130	128	138	147	151	153
24					121	122	126	132	143	146	148	153
25					120	118	137	136	143	148	146	146
26			124	124	134	126	139	141	141	146	144	149
27			124	124	124	125	138	134	141	146	146	151
28			125	126	132	130	135	132	138	150	145	153
29			107	106	129	131	127	135	143	152	140	153
30			106	104	130	129	132	136	140	150	140	150
31			104	105			133	128			138	148

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1967

Jours	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	146		436	443	419	420	405	405	408		383	385
2	142	150	439	441	420	415	405	403	403		387	384
3	142	142	431	437	420	419	412	404			384	386
4	138	146	422	431	418	420	409	407			383	392
5	142	150	427	431	417	418	407	405			394	383
6	146	154	431	438	415	420	404	406			374	376
7	148	152	439	442	419	427	410	409			375	377
8	147	154	441	444	424	429	407	410			379	388
9	147	150	450	453	427	429	411	410			384	387
10	142	149	450	454	425	428	410	410			393	384
11	146	152	436	439	426	428	409	410			382	380
12	146	152	436	439	425	427	408	404			388	384
13	150	150	439	442	428	429	407	406			379	381
14	149	151	439	443	433	433	407	405			384	387
15	146	153	442	442	426	427	404	404			392	384
16	146	160	437	450	424	424	405	407			379	375
17	148	148	435	448	419	420	403	403			378	383
18	136	144	428	432	415	418	404	408			380	377
19	137	145	426	430	415	416	407	404	395	395	373	379
20	138	148	425	420	419	419	405	408	398	394	382	378
21	140	146	423	426	415	417	406	404	402	400	386	384
22	140	145	416	414	420	422	409	405	397	399	391	375
23	144	150	419	420	418	419	404	406	390	395	375	374
24	138	442	419	424	418	417	426	432	387	320	374	373
25	431	438	422	430	415	419	410	416	385	385	376	374
26	432	436	425	429	418	418	408	410	380	385	370	365
27	435	438	426	430	419	410	404	404	380	382	368	376
28	436	440	426	422	410	408	405	405	385	387	378	383
29	434	438			410	409	405	405	387	383	380	379
30	432	440			408	407	407	407	386	388	384	(384)
31	434	443			405	407			380	384		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1967 (Suite)

Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir	Matin	Soir
1	370	373	370	371	375	370	392	394	407	411	425	428
2	376	374	366	365	372	376	390	(390)	410	411	426	430
3	374	375	363	362	378	382			408	407	426	428
4	375	376	369	363	384	376			406	410	428	429
5	375	372	364	363	375	373			406	404	428	429
6	376	378	362	364	371	376			411	410	429	429
7	373	375	367	372	378	380			408	411	425	425
8	376	375	376	373	378	388			411	410	428	428
9	373	367	377	364	382	388			406	402	426	429
10	378	365	373	370	374	374			397	392	428	430
11	370	366	372	380	376	372			396	394	433	429
12	367	371	377	378	384	379			398	402	430	430
13	377	369	372	366	379	387	(390)	390	396	413	428	433
14	371	369	364	373	381	383	392	391	414	416	431	434
15	365	368	366	367	379	384	395	400	415	417	432	434
16	369	370	367	363	392	380	397	390	410	410	434	432
17	372	366	368	374	383	382	384	383	408	411	430	431
18	365	364	372	368	378	392	386	388	406	404	419	428
19	365	363	374	372	388	388	389	392	405	411	425	432
20	370	368	372	370	387	391	395	400	411	414	425	434
21	379	384	369	382	388	383	398	400	420	417	432	434
22	383	377	373	377	371	377	397	401	416	417	433	435
23	378	368	378	377	380	378	401	397	416	423	430	424
24	363	365	377	375	387	388	397	399	422	424	414	427
25	365	366	372	378	393	386	400	398	417	420	424	432
26	367	373	384	374	383	386	401	398	415	417	430	431
27	375	364	371	373	384	386	402	404	408	418	432	434
28	367	366	370	371	388	393	406	403	415	421	433	436
29	(365)	362	372	364	390	393	405	410	423	424	434	437
30	370	365	371	369	390	396	403	407	426	428	435	435
31	366	367	383	373			405	409			432	433

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1968

Jours							Janvier						
							Matin	Soir					
1							432	433					
2							438	434					
3							437	438					
4							435	434					
5							433	436					
6							432	437					
7							430	432					
8							430	435					
9							429	422					
10							418	415					
11							418	411					
12							416	412					
13							415	416					
14							422	416					
15							420	413					
16							408	414					
17							412	421					
18							420	427					
19							427	428					
20							429	430					
21							430	427					
22							430	431					
23							427	428					
24							424	430					
25							426	432					
26							428	431					
27							427	432					
28							428	430					
29							429	432					
30							425	430					
31							424	429					

b) Hauteurs d'eau "lissées"

(moyennes mobiles calculées sur 15 jours)

NOTA - Toutes les hauteurs ont été rapportées au zéro de l'échelle posée le 24 Janvier 1967, soit à l'altitude de : 277,87 m (IGN - 56).

Année 1912

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1											371	383
2											372	383
3											373	383
4											373	383
5											374	382
6											375	382
7											376	382
8											377	382
9											377	381
10											378	381
11											378	380
12											379	379
13											380	379
14											381	379
15											381	378
16											382	378
17											382	377
18											383	376
19											383	375
20											383	375
21											384	374
22											384	373
23											384	373
24											384	372
25											<u>384</u>	372
26											384	372
27										367	384	372
28										367	384	371
29										368	384	371
30										369	384	370
31										370		370

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1913

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	370	356	342	322	315	300	289	281	282	289	292	292
2	370	356	340	321	315	299	289	281	282	289	292	292
3	370	355	339	321	315	298	289	281	283	289	291	293
4	370	355	338	321	315	297	288	281	283	289	291	293
5	370	355	337	320	315	296	288	280	283	289	291	293
6	370	355	335	320	315	296	288	280	283	289	291	293
7	370	354	334	319	315	296	288	280	283	289	291	292
8	370	354	333	319	314	295	288	281	283	289	291	292
9	370	354	332	318	314	295	288	281	284	290	291	292
10	369	353	331	318	314	295	287	281	284	291	292	291
11	369	353	330	318	313	294	287	281	285	291	292	291
12	368	352	329	317	312	294	287	281	285	292	292	291
13	367	351	329	317	311	293	287	281	285	292	292	290
14	367	351	328	317	310	293	286	281	286	293	292	290
15	366	351	328	317	310	293	286	281	286	293	293	290
16	365	350	328	316	309	292	286	281	287	293	293	289
17	364	350	328	316	309	292	286	281	287	293	293	288
18	363	350	328	315	308	292	285	281	288	294	292	288
19	363	349	327	315	308	292	285	281	288	294	292	287
20	362	349	327	315	308	292	285	281	288	294	292	287
21	361	348	326	315	307	292	284	281	289	294	292	286
22	360	348	326	314	306	291	284	281	289	294	293	286
23	359	347	326	314	306	291	284	281	290	294	293	286
24	359	347	326	314	305	291	283	281	290	294	293	286
25	358	346	325	314	304	290	283	281	289	293	293	286
26	357	345	325	314	304	290	283	281	289	293	293	286
27	357	344	325	314	303	290	282	282	289	293	293	286
28	357	343	324	314	303	289	282	282	289	292	293	286
29	357		324	314	302	289	282	282	289	292	293	286
30	357		323	315	302	289	282	282	289	292	292	286
31	356		322		301		281	282		292		286

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1914

Jours	J	F.	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	286	278	268	255	234	227	218	209	232	249	278	297
2	286	277	267	254	233	227	217	210	233	249	280	297
3	286	276	267	253	233	227	216	211	233	250	281	297
4	286	275	266	252	233	227	215	212	234	251	283	296
5	286	275	266	251	232	228	214	213	234	252	284	296
6	285	274	265	251	232	228	214	214	235	252	285	296
7	285	273	264	250	232	228	213	215	236	253	286	295
8	284	273	263	249	232	228	212	216	236	254	287	295
9	284	272	262	249	232	228	212	217	237	254	289	295
10	283	272	262	248	232	228	211	217	237	255	290	295
11	283	271	261	247	232	227	210	218	238	256	292	295
12	283	271	261	247	231	227	210	219	238	256	293	295
13	283	270	260	247	231	227	209	220	238	257	294	295
14	282	270	260	246	231	227	209	221	238	258	295	295
15	282	269	260	246	231	227	209	221	239	259	296	295
16	282	269	260	245	231	226	209	222	239	259	297	295
17	283	269	260	245	231	226	208	223	239	260	297	295
18	283	268	260	244	231	226	208	223	240	261	298	295
19	283	268	260	243	230	225	208	224	240	262	299	295
20	283	268	260	242	230	225	208	224	240	263	299	296
21	283	268	260	242	230	225	207	225	241	264	300	296
22	283	269	260	241	229	224	207	225	242	265	300	296
23	283	269	260	240	229	224	207	226	242	266	300	296
24	283	269	260	239	228	223	207	227	243	268	300	296
25	283	269	260	238	228	222	207	227	244	269	299	296
26	282	269	259	237	228	222	207	228	245	270	299	296
27	282	268	259	236	228	221	207	228	246	271	299	296
28	281	268	258	236	228	221	207	229	246	273	298	296
29	280		257	235	228	220	208	230	247	274	298	296
30	280		256	234	228	219	208	231	248	275	298	296
31	279		255		228		209	231		277		296

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1915

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	296	288	271	255		234	221	233	256	281	300	313
2	296	288	271	255		234	220	234	256	282	301	313
3	295	287	270	254		234	220	235	257	283	301	312
4	295	286	270	254		234	220	236	258	284	302	312
5	294	285	270	254		235	220	237	259	285	303	311
6	293	285		254		235	220	237	260	285	303	311
7	293	284		254		235	220	238	261	286	304	311
8	293	283		254		235	220	238	261	286	305	310
9	292	282		253		235	220	239	262	287	306	310
10	292	282		253		234	220	239	263	288	306	310
11	291	281		253		234	220	240	264	288	307	310
12	291	280		253		234	220	240	265	288	308	310
13	290	279		252		234	221	241	266	289	309	310
14	290	278		252		234	221	242	267	289	309	310
15	290	278		251		233	221	242	268	290	310	311
16	289	277		251		233	221	243	269	290	311	311
17	289	276		250	234	232	221	244	270	290	312	311
18	289	276		249	233	231	222	244	270	291	312	311
19	289	276		248	233	230	222	245	271	291	313	312
20	289	275		247	233	229	222	246	272	292	313	312
21	289	275			233	228	223	247	273	292	314	311
22	289	274			234	227	224	247	273	293	314	311
23	289	274			234	226	225	248	274	294	315	310
24	289	273			234	225	226	249	275	295	315	309
25	289	273			234	224	227	250	276	295	315	309
26	289	272			234	224	228	251	277	296	314	308
27	289	272			234	223	229	252	278	297	314	308
28	289	271			234	222	229	253	278	298	314	307
29	289				234	222	230	253	279	298	314	306
30	289				234	221	231	254	280	299	313	305
31	288				234		232	255		299		304

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1916

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	304	297	282	270	253	246	240	247	281	319	356	407
2	303	297	282	270	252	246	240	248	282	320	358	408
3	302	297	281	270	252	245	240	249	284	321	360	409
4	301	297	281	270	252	245	240	249	285	322	362	410
5	302	297	281	270	252	244	239	250	286	323	363	411
6	302	297	281	270	252	244	239	251	287	324	365	412
7	302	296	281	270	252	243	239	252	288	325	367	413
8	302	296	281	270	251	243	238	253	289	326	369	414
9	302	295	280	269	251	242	238	254	290	327	371	415
10	302	294	280	268	251	242	238	254	291	327	373	416
11	302	294	280	267	251	242	238	255	292	328	375	416
12	301	293	279	267	251	242	237	256	294	329	377	417
13	301	292	278	266	251	242	237	258	295	331	378	418
14	301	291	277	265	251	242	237	259	296	332	380	418
15	301	291	276	264	251	242	237	260	297	333	382	419
16	301	290	276	263	250	242	238	261	299	334	384	419
17	300	290	275	261	250	242	238	262	300	336	386	419
18	300	289	274	260	250	241	239	264	301	337	387	419
19	300	288	273	259	250	241	239	265	303	338	389	419
20	299	287	272	258	250	241	240	266	304	340	391	419
21	298	287	271	257	250	241	240	268	305	341	393	419
22	298	286	270	257	250	241	241	269	307	343	394	418
23	297	285	270	256	250	241	241	270	308	344	396	418
24	297	284	269	255	250	241	242	272	310	346	397	418
25	297	284	269	255	250	241	243	273	311	347	398	
26	297	283	269	254	250	241	243	274	313	348	400	
27	297	283	269	254	249	241	244	275	314	349	401	
28	297	283	269	253	249	241	245	276	316	351	403	
29	297	282	269	253	248	241	246	278	317	352	404	
30	297		269	253	247	241	246	279	318	353	405	
31	297		270		247		247	280		355		

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1917

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1							301	301	322	350	382	412
2							300	302	323	351	384	413
3							300	302	324	351	386	413
4							300	303	325	352	387	414
5							300	303	326	352	389	415
6							299	303	327	352	391	416
7							299	304	328	353	392	416
8						307	299	304	329	353	394	417
9						307	299	305	331	354	395	417
10						307	298	305	332	355	397	417
11						307	298	306	333	356	398	417
12						307	298	306	334	357	399	418
13						307	298	307	335	358	401	418
14						307	298	307	337	359	402	418
15						306	298	308	338	360	403	418
16						306	297	309	339	361	403	418
17						306	297	309	340	362	404	418
18						306	297	310	341	363	405	419
19						305	297	311	342	364	405	418
20						305	297	311	343	365	406	418
21						305	297	312	344	367	406	418
22						304	297	313	345	368	407	418
23						304	298	314	346	369	407	417
24						303	298	315	346	371	408	417
25						303	298	316	347	372	409	416
26						303	299	316	348	373	409	416
27						302	299	317	348	374	410	415
28						302	299	318	349	376	411	415
29						301	300	319	349	377	411	414
30						301	300	320	350	379	412	413
31							301	321		380		412

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1918

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	411	392	382	356	342	326	314	315	333	365	389	399
2	410	391	381	355	342	325	314	316	333	366	390	399
3	409	391	380	354	342	325	314	316	334	367	390	399
4	408	391	379	354	341	325	314	317	335	368	390	399
5	407	390	378	353	341	324	313	318	336	369	391	398
6	406	390	378	353	341	324	313	318	336	370	391	398
7	405	389	377	353	341	324	313	319	337	371	391	398
8	404	389	376	352	341	323	312	319	338	372	392	397
9	403	388	375	352	340	323	312	320	339	373	392	397
10	402	388	374	351	340	323	312	321	340	374	392	397
11	401	388	373	351	340	322	312	321	341	375	393	396
12	400	387	372	350	339	322	312	322	342	376	393	396
13	400	387	371	349	339	321	311	322	343	376	394	396
14	399	387	371	349	338	321	311	323	344	377	394	396
15	399	387	370	349	338	320	311	323	345	378	395	396
16	398	386	369	348	337	319	311	324	346	379	395	395
17	398	386	368	348	337	319	311	324	347	380	396	395
18	397	386	367	347	336	318	310	325	348	380	397	395
19	397	386	366	347	335	318	311	325	350	381	397	395
20	396	386	365	346	335	317	311	326	351	381	398	395
21	396	385	364	346	334	317	311	326	352	382	399	395
22	395	385	364	345	333	317	311	327	354	383	399	395
23	395	385	363	344	332	316	311	327	355	383	400	395
24	394	385	362	344	331	316	311	328	356	384	400	394
25	394	384	361	344	330	316	311	329	358	385	400	394
26	394	384	360	343	329	315	312	329	359	385	400	394
27	394	383	360	343	329	315	312	330	360	386	400	393
28	393	382	359	343	328	315	313	330	361	387	400	393
29	393		358	343	327	315	313	331	363	387	400	393
30	392		357	342	327	314	314	331	364	388	400	393
31	392		357		326		314	332		388		392

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1919

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	392	379	367	342	327	316	304	308				
2	391	379	367	342	326	315	303	308				
3	391	378	366	342	326	315	303	309				
4	391	377	366	341	325	314	303	310				
5	390	377	365	341	325	313	302	310				
6	390	376	364	341	324	313	302	311				
7	390	376	363	340	324	312	302	312				
8	389	375	362	340	323	312	302	313				
9	389	375	361	340	323	311	301	314				
10	389	374	360	339	322	311	301	314				
11	389	374	358	339	322	310	301	315				
12	388	373	357	338	322	310	301	316				
13	388	373	356	338	321	310	301	317				
14	387	372	355	337	321	309	301	318	333			
15	387	372	353	337	321	309	301	319	334			
16	387	371	352	336	321	309	301	319	335			
17	386	371	351	336	321	308	301	320	336			
18	386	371	350	335	321	308	301	321	337			
19	386	370	349	334	320	308	301	322	338			
20	385	370	348	334	320	307	301	322	339			
21	385	370	348	333	320	307	302	323	340			
22	384	370	347	332	320	307	302	323	342			
23	384	369	346	332	320	307	303	324	343			
24	383	369	346	331	320	306	303					
25	383	369	345	331	319	306	304					
26	382	369	345	330	319	305	304					
27	382	368	344	329	318	305	305					
28	381	368	344	329	318	305	305					
29	381		343	328	317	304	306					
30	380		343	327	317	304	307					
31	380		343		316		307					

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1956

Jours	J	F	M.	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	477	477	475	458	443	427			436	461	470	
2	477	477	474	457	442	427			437	461	471	
3	478	477	474	457	441	426			438	462	471	
4	478	477	473	456	441	426			439	463	472	
5	478	477	472	455	440	425			440	464	473	
6	479	477	472	455	439	425			441	465	473	
7	479	477	471	454	438	424			442	465	474	
8	478	477	471	454	437	425			443	465	475	
9	478	477	471	453	436				444	465	476	
10	477	477	471	454	435				445	466	477	
11	477	477	471	454	435			421	446	466	478	
12	477	477	471	453	434			421	447	467	480	
13	476	476	470	453	433			421	448	466	481	
14	476	476	470	452	433			422	449	466	481	
15	476	476	469	452	433			423	449	466	482	
16	476	476	469	451	433			424	450	466	483	
17	475	476	468	450	433			425	451	466	484	
18	475	476	468	450	433			426	452	466	485	
19	476	476	468	449	433			427	453	465	486	502
20	475	476	468	448	433			427	454	465	488	503
21	475	476	468	448	433			428	455	464	489	504
22	475	476	468	447	432			428	456	465	490	504
23	475	476	467	447	432		413	429	457	465	492	505
24	475	475	466	447	431			430	457	465	493	506
25	475	475	465	447	430			430	458	465		507
26	475	475	463	447	430			431	458	465		507
27	476	475	462	446	429			432	459	465		508
28	477	475	461	445	429			432	459	466		508
29	477	475	460	445	429			433	460	467		508
30	477		459	444	428			434	460	468		509
31	477		458		427			435		469		509

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1957

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	509	500	493	483	469	458	447	449	450	463	472	478
2	509	499	493	483	469	457	446	449	450	464	472	478
3	509	499	492	482	469	456	446	449	450	464	472	478
4	509	498	492	482	468	456	446	449	451	465	472	478
5	509	497	492	481	467	456	446	448	451	465	471	478
6	509	496	492	481	467	455	445	448	451	465	472	478
7	508	495	492	481	467	454	446	448	452	465	472	478
8	508	495	492	481	467	453	446	448	452	466	472	478
9	508	494	492	481	466	452	446	448	453	466	472	478
10	508	494	491	481	466	452	446	447	453	466	473	478
11	508	494	491	480	466	452	447	447	454	465	473	478
12	508	494	491	479	465	452	446	447	455	465	473	478
13	507	494	490	478	465	451	446	446	455	466	473	479
14	507	494	490	477	465	450	446	446	455	465	474	478
15	507	494	490	476	464	450	446	446	455	465	474	479
16	507	494	490	476	463	449	446	446	456	465	474	479
17	507	494	489	475	462	449	446	446	457	465	474	478
18	507	494	488	475	462	449	445	446	458	465	474	478
19	506	494	488	474	461	450	445	446	458	466	475	479
20	506	494	488	473	461	450	445	446	458	467	475	479
21	506	493	487	473	460	450	446	447	459	467	476	479
22	506	494	487	472	460	449	446	447	459	467	477	479
23	506	494	486	471	460	448	446	448	459	467	477	479
24	506	494	485	470	460	448	446	448	459	468	477	479
25	506	493	484	469	461	448	446	448	460	468	477	479
26	506	493	484	469	460	447	447	449	460	469	478	478
27	505	493	484	468	459	447	447	449	461	470	478	478
28	504	493	483	469	459	447	448	449	461	470	478	478
29	503		483	469	458	447	448	449	462	471	478	478
30	502		483	469	458	447	448	449	463	471	478	478
31	501		483		458		449	449		471		478

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1958

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	478	473	466	448	434	420	410	412	432	443	448	460
2	477	473	465	448	433	419	409	413	433	444	449	460
3	478	472	465	448	432	419	409	414	434	444	449	461
4	477	472	465	448	431	419	408	414	435	445	449	462
5	478	472	464	448	430	419	409	415	435	445	450	462
6	478	471	464	447	429	419	409	416	436	446	450	463
7	478	470	462	447	428	418	410	416	436	446	451	463
8	477	469	462	447	427	418	410	417	437	445	451	464
9	477	468	461	447	426	418	409	416	437	445	452	464
10	477	467	460	447	425	417	409	416	437	445	452	464
11	477	466	460	447	424	417	409	416	437	444	453	465
12	477	466	459	447	424	416	409	417	437	444	454	465
13	477	465	459	446	424	415	409	418	438	444	455	466
14	478	465	458	446	424	415	409	419	438	444	456	465
15	478	465	457	444	424	414	409	420	438	444	456	465
16	478	465	457	444	424	414	410	420	439	445	457	465
17	478	464	456	443	424	414	410	420	439	445	457	465
18	478	464	455	442	424	413	411	420	439	444	457	465
19	478	464	454	441	424	413	410	421	439	444	458	464
20	477	464	454	441	424	413	410	422	439	444	458	464
21	477	465	453	440	424	412	410	423	439	445	458	464
22	477	465	453	440	424	412	409	423	440	445	459	463
23	477	466	452	439	423	411	409	425	440	446	459	463
24	476	466	452	438	423	412	410	426	441	446	459	463
25	476	466	452	437	423	411	411	427	441	447	459	462
26	476	466	451	436	422	411	411	428	442	448	459	462
27	475	466	451	435	422	411	411	428	443	448	459	462
28	475	466	451	434	421	411	412	429	443	448	459	462
29	474		450	434	421	411	411	430	443	448	459	462
30	474		449	435	421	410	412	430	443	448	460	461
31	473		449		420		412	431		448		462

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1959

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	462	455	437	429	414	404	382	379	402	421	432	453
2	462	455	437	429	413	403	381	379	403	421	433	454
3	462	455	436	428	413	402	380	379	404	421	434	455
4	462	454	435	428	413	400	380	380	405	421	435	455
5	462	454	435	427	412	399	380	380	405	422	436	455
6	461	454	435	427	412	398	379	380	406	422	437	456
7	461	453	434	426	412	397	379	380	406	422	438	457
8	461	452	434	425	413	396	378	381	407	422	439	458
9	461	450	433	424	413	395	378	381	408	422	440	459
10	461	449	433	424	413	394	377	382	408	423	441	460
11	461	448	433	423	412	393	377	383	409	422	441	460
12	461	448	432	422	412	391	376	384	409	423	442	461
13	460	447	432	421	412	391	375	385	410	423	442	462
14	458	446	433	421	412	390	375	386	409	423	442	463
15	457	445	433	421	412	389	375	386	409	424	443	463
16	456	445	433	422	411	388	375	387	409	424	444	463
17	455	444	433	421	411	388	376	388	410	424	444	463
18	454	443	433	421	411	388	375	389	410	425	445	464
19	454	442	433	421	410	387	376	390	411	426	445	464
20	454	441	433	420	410	386	376	391	412	426	446	464
21	453	440	433	420	409	386	376	392	413	426	447	463
22	453	440	433	419	409	386	376	393	414	426	447	462
23	453	440	433	419	408	385	377	393	415	426	447	462
24	453	440	433	418	408	385	377	394	416	426	447	463
25	453	440	433	417	407	385	378	394	416	427	448	462
26	453	439	433	417	407	384	378	395	417	428	449	462
27	452	439	433	416	407	384	379	396	418	429	450	461
28	453	438	433	416	406	384	379	397	419	429	450	461
29	453		433	415	406	384	379	398	420	430	451	461
30	454		432	414	405	383	379	399	420	431	452	461
31	455		430		405		379	401		432		461

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1960

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	461	451	441	432	421	400	389	383	394	405	416	435
2	462	451	441	431	420	400	388	384	394	406	416	436
3	462	451	440	430	420	400	388	384	395	406	417	438
4	463	451	440	429	419	400	388	384	395	407	417	438
5	464	452	440	428	418	399	387	384	395	407	417	439
6	465	452	440	428	418	398	388	384	395	407	417	440
7	465	452	440	427	417	397	387	384	396	407	418	442
8	465	453	440	427	416	397	386	384	397	406	419	443
9	465	453	440	427	415	396	386	384	396	407	419	444
10	465	454	441	426	414	396	386	386	396	407	419	446
11	465	453	441	426	413	396	385	386	396	408	419	446
12	465	453	441	426	412	396	385	387	396	408	419	448
13	465	453	441	425	411	396	385	388	397	408	419	449
14	465	453	441	425	410	396	384	388	398	409	420	450
15	464	452	440	424	409	396	383	388	398	409	420	450
16	464	453	440	425	408	396	383	388	398	409	420	451
17	463	452	439	425	406	395	383	388	399	410	420	452
18	462	451	439	425	405	395	383	389	399	410	421	453
19	461	450	438	426	403	395	383	390	399	411	422	454
20	461	449	438	426	402	394	382	390	400	411	423	455
21	460	448	437	425	402	394	382	391	401	411	424	455
22	459	447	437	425	402	393	382	391	402	412	425	456
23	458	446	436	424	402	393	382	392	402	413	425	457
24	457	445	436	424	402	393	382	392	402	413	426	458
25	456	444	436	423	401	392	382	392	403	414	427	458
26	454	443	435	423	401	391	382	393	404	414	428	459
27	454	443	435	423	401	390	382	393	405	414	429	459
28	453	442	434	423	401	390	381	393	405	414	431	459
29	453	442	433	422	401	390	382	393	405	414	432	459
30	452		433	422	400	390	382	394	405	414	434	460
31	452		432		400		383	394		415		460

LAC TCHAD à BOL
Hauteurs d'eau lissées (cm)
Année 1961

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	460	462	440	430	419	407	387	386	427	445	460	492
2	460	462	439	430	418	407	388	387	427	444	461	494
3	460	461	439	430	417	406	388	387	428	444	462	495
4	460	461	439	430	417	405	388	388	429	444	463	497
5	460	460	439	429	417	404	388	388	430	445	464	497
6	459	459	439	429	416	403	389	389	431	445	464	499
7	459	458	438	429	416	403	389	389	431	446	465	500
8	459	457	438	429	416	402	389	391	431	446	466	501
9	460	457	438	428	416	401	389	392	431	447	468	503
10	460	456	439	428	415	401	389	394	431	447	469	504
11	460	455	438	428	414	400	389	395	431	448	471	505
12	461	454	438	427	413	399	388	397	432	448	472	507
13	461	453	438	427	412	398	387	399	432	449	474	508
14	461	452	438	426	412	396	387	400	433	448	475	509
15	462	452	438	426	411	394	387	402	434	449	476	510
16	462	450	437	425	411	393	386	403	435	449	476	511
17	462	450	437	425	411	391	386	405	437	450	477	512
18	462	449	437	424	411	390	386	406	438	451	478	512
19	463	448	436	423	411	389	386	408	439	452	479	513
20	463	447	436	422	411	389	386	409	440	452	481	514
21	463	446	436	422	410	388	386	411	440	452	482	514
22	463	445	436	421	410	387	386	413	441	453	482	515
23	463	444	435	420	410	386	386	415	442	453	483	515
24	464	443	434	420	409	386	386	416	443	454	484	515
25	464	442	434	419	409	385	386	418	443	454	485	515
26	463	441	433	419	408	385	386	420	444	455	486	514
27	463	441	432	419	408	386	386	421	444	455	487	514
28	463	441	432	419	408	387	386	422	445	456	488	513
29	463		432	419	408	387	386	423	445	457	489	513
30	463		431	419	408	387	386	424	445	458	490	513
31	463		431		407		386	426		459		513

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1962

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	513	512	503	492	482	466		458	472	487	505	527
2	513	511	503	492	482	465		458	471	487	505	527
3	513	511	503	491	481	464		459	471	488	505	528
4	513	511	502	491	480	464		460	472	488	505	529
5	513	511	502	490	480	462		460	472	489	505	530
6	513	511	502	489	479	462		461	474	490	506	530
7	513	510	501	488	478	462		461	475	490	507	531
8	513	510	501	487	477	462		461	475	490	508	532
9	513	510	501	486	476	462		461	476	490	509	532
10	513	509	501	485	475	461		462	476	491	509	533
11	514	509	501	485	474	460	456	462	477	491	510	534
12	514	508	500	484	474	460	455	462	478	492	511	535
13	514	508	500	484	472	460	456	463	478	492	511	537
14	514	507	500	484	472	459	456	464	478	492	512	538
15	514	506	500	484	471	459	456	465	479	493	513	538
16	514	506	500	484	470	459	456	465	480	494	514	539
17	514	506	500	483	469	458	456	467	481	495	516	539
18	514	506	500	483	469	458	456	468	481	496	517	540
19	514	505	499	483	469		456	469	481	497	518	541
20	513	505	499	483	469		456	469	482	498	519	542
21	513	505	499	483	468		455	469	481	499	520	543
22	513	504	499	483	468		455	470	482	499	521	544
23	513	504	499	483	468		455	470	483	500	522	544
24	514	503	498	483	468		455	470	483	501	522	544
25	514	503	497	483	467		456	470	484	501	523	543
26	514	504	497	483	467		456	470	484	502	524	543
27	514	504	496	483	467		456	471	485	503	524	543
28	514	504	495	483	467		456	472	486	504	525	543
29	513		495	483	467		456	472	487	504	526	543
30	513		494	483	467		456	472	487	505	526	543
31	513		493		466		457	472		505		543

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1963

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	543	545	536	523	512	500	483	477	489	507	519	528
2	543	545	536	523	511	499	483	477	490	507	520	529
3	543	545	535	523	511	498	483	477	491	507	520	529
4	542	544	535	522	511	497	482	478	491	509	520	530
5	542	544	534	522	511	497	482	479	493	510	520	530
6	542	544	533	521	510	497	482	479	493	510	520	531
7	543	543	533	521	510	496	482	480	493	511	520	531
8	543	543	532	521	509	496	481	481	495	512	520	532
9	544	543	531	520	509	495	481	481	496	513	520	532
10	544	542	531	520	508	494	480	482	497	513	521	532
11	544	542	530	520	506	493	479	483	497	513	521	532
12	543	542	529	520	506	492	479	483	498	514	522	533
13	543	541	528	520	505	492	478	484	499	514	523	533
14	543	540	527	519	505	491	477	484	500	515	524	533
15	543	540	527	519	505	491	477	485	501	515	524	534
16	544	539	527	518	505	490	478	485	502	516	525	534
17	544	539	526	517	505	490	478	486	503	517	525	534
18	544	538	526	517	504	489	478	486	504	517	525	534
19	544	538	526	516	504	489	477	486	504	517	526	534
20	545	538	526	515	504	489	477	486	505	517	526	534
21	545	538	526	515	503	488	477	486	505	518	526	535
22	544	538	526	515	503	487	477	486	505	518	527	535
23	544	538	526	514	502	486	477	486	505	518	527	535
24	545	538	525	514	502	486	477	487	505	519	528	535
25	545	538	525	514	502	486	477	487	505	519	528	536
26	545	538	525	514	503	485	477	487	506	519	528	536
27	545	538	524	513	503	485	477	488	506	520	528	537
28	545	537	524	513	502	484	477	489	507	520	529	537
29	545		524	512	502	484	477	489	507	519	529	537
30	545		523	512	502	484	478	489	507	519	529	537
31	545		523		500		477	489		519		537

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1964

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	537	531	519	509	490	479	465	465	479	493	504	521
2	537	531	519	509	490	478	464	465	479	493	505	522
3	537	531	518	509	490	478	463	465	479	493	505	522
4	537	531	518	508	490	478	463	465	479	492	506	523
5	537	531	518	507	490	477	463	465	479	491	507	524
6	536	531	518	506	490	476	462	464	480	491	508	524
7	536	530	518	506	489	476	462	464	481	491	509	525
8	536	529	517	505	488	474	461	464	482	491	510	526
9	535	529	518	505	487	473	461	464	482	490	511	526
10	534	528	518	505	487	472	461	465	482	491	511	526
11	534	528	517	504	487	472	461	465	484	491	511	527
12	533	528	517	503	487	473	461	466	484	492	511	528
13	533	527	516	502	487	472	460	466	485	493	511	528
14	533	527	516	501	487	472	460	467	485	495	511	529
15	532	526	516	500	487	471	459	467	486	496	510	529
16	532	526	515	498	486	471	458	468	486	497	511	529
17	532	525	515	497	485	470	458	469	486	498	510	530
18	532	525	514	496	485	470	457	470	487	499	511	531
19	531	524	514	494	485	470	458	471	490	500	511	532
20	531	523	513	494	484	469	458	472	491	500	511	533
21	531	523	513	493	484	468	459	472	492	501	511	533
22	531	522	513	492	484	468	459	473	492	501	511	534
23	531	522	513	492	484	468	460	474	493	501	511	534
24	532	521	512	492	484	468	460	474	494	502	511	535
25	532	520	512	491	483	468	461	474	494	502	512	535
26	532	520	511	490	483	467	461	474	495	503	514	536
27	532	520	511	490	482	466	461	474	495	504	515	536
28	532	520	511	489	481	466	462	476	494	504	517	536
29	532	519	510	489	480	466	463	476	494	504	518	536
30	531		510	489	479	465	464	477	493	504	519	537
31	531		510		479		464	478		504		537

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1965

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	537	527	523	508	496	481	468	461	470	489	484	491
2	537	527	523	508	494	480	468	461	471	489	484	491
3	536	527	523	508	493	480	466	461	472	490	484	491
4	536	526	522	508	491	479	466	461	472	490	484	492
5	535	526	522	508	490	478	466	462	473	489	485	493
6	535	526	522	507	488	477	465	462	474	489	486	493
7	535	527	521	507	487	477	465	463	474	488	487	493
8	535	527	521	506	487	476	465	463	475	488	487	493
9	534	527	521	506	486	475	465	464	476	488	488	492
10	534	528	522	506	487	474	464	464	478	488	488	492
11	533	528	522	506	486	474	464	465	479	488	488	491
12	533	529	522	506	484	473	464	465	480	488	488	491
13	533	529	522	506	483	473	463	466	480	488	489	491
14	533	530	521	505	482	473	463	466	481	488	489	491
15	533	529	520	506	482	472	462	466	482	488	489	492
16	532	529	520	506	481	472	462	466	483	487	490	492
17	532	529	519	505	482	472	462	466	483	487	490	492
18	532	529	518	505	482	473	462	467	484	487	490	492
19	532	528	517	504	482	472	462	467	484	487	489	492
20	532	528	517	504	482	472	461	468	485	487	489	491
21	532	528	516	504	482	472	461	468	486	487	489	491
22	531	527	516	504	482	472	461	468	486	487	489	491
23	531	526	515	503	482	471	460	468	487	486	489	491
24	531	525	514	503	482	471	460	468	487	486	490	491
25	530	525	513	501	481	470	460	468	487	485	490	492
26	530	524	512	500	482	470	460	467	488	485	491	492
27	529	524	511	499	482	470	460	467	488	485	491	491
28	528	524	510	499	482	470	460	467	488	485	491	490
29	527		509	498	482	470	460	468	488	485	492	490
30	527		509	497	482	469	460	468	489	485	491	490
31	527		508		482		460	469		485		489

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1966

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	489	479	465	451	440	428				428	438	447
2	489	478	465	451	439	428			417	429	437	447
3	489	478	465	451	438	428			417	430	437	447
4	489	477	464	451	437	428			416	430	437	448
5	488	477	464	451	437	430			415	431	437	448
6	488	477	464	450	436	431			416	431	437	449
7	487	476	465	450	436	431			417	430	438	449
8	487	476	465	449	435	431			418	430	439	450
9	486	476	465	449	435	430			417	430	439	450
10	486	476	465	448	436	430			417	430	439	450
11	486	476	464	448	436	431			417	431	439	450
12	487	475	463	448	435	431			418	431	439	449
13	487	475	462	447	435	431			419	431	439	448
14	487	474	461	446	435	430			419	431	439	448
15	487	473	460	445	435	428			419	431	439	448
16	487	473	459	445	436	428			420	430	440	448
17	486	473	458	444	437	427			421	430	441	448
18	486	473	457	444	436	426			421	430	442	448
19	485	472	457	443	436	425			422	431	442	447
20	485	470	456	442	435	424			423	431	443	447
21	485	468	455	443	434	424			424	431	443	447
22	485	467	454	443	433	424			425	431	444	447
23	485	467	453	442	433	425			425	432	444	446
24	485	466	453	442	432	424			426	432	444	445
25	484	466	452	442	432	423			426	432	444	446
26	483	465	452	441	431	423			426	433	445	446
27	482	465	452	440	431	422			427	434	445	446
28	482	465	452	441	431	423			427	434	445	446
29	481		452	441	430	425			427	436	446	446
30	480		452	440	430				428	436	446	446
31	480		452		429					437		446

LAC TCHAD à BOL

Hauteurs d'eau lissées (cm)

Année 1967

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	446	436	421	409		384	375	367	375		406	424
2	446	437	422	409		384	375	367	376		407	424
3	446	438	423	408		384	375	367	376		406	425
4	446	438	423	408		384	375	368	376		406	426
5	446	438	423	408		384	375	369	376		406	427
6	447	439	423	407		384	374	369	377		405	428
7	447	439	424	407		384	373	369	378		406	429
8	448	439	424	407		384	372	369	378		407	429
9	448	439	424	407		383	372	369	379		407	429
10	448	440	424	407		383	372	369	380		407	430
11	448	439	424	407		383	371	369	380		406	429
12	448	439	424	407		382	370	370	381		406	429
13	448	439	424	407		381	370	370	382		407	429
14	448	438	424	407		382	370	371	383		407	430
15	448	437	424	407		383	371	372	382		408	430
16	448	435	423	406		382	371	372	382		409	430
17	448	433	422	408		381	370	372	382		410	430
18	447	431	422	408		380	370	372	383		411	430
19	447	431	421	408		379	370	373	384		413	430
20	446	430	420	408		378	370	372	384	395	414	430
21	446	429	419	408		378	369	372	385	396	415	430
22	445	427	417	408		378	369	372	385	397	415	430
23	444	426	416	408		378	369	373	386	398	416	430
24	443	424	415	408		377	369	373	386	399	417	430
25	443	423	414	408		377	369	374	387	400	418	430
26	442	422	413		389	377	369	374		402	420	431
27	441	421	413		388	377	369	374		403	421	432
28	440	421	412		387	376	369	375		404	422	432
29	438		411		387	376	368	375		404	423	432
30	437		410		385	375	366	375		405	423	432
31	437		410		384		366	375		406		432

max. 433
(1 et 2.1.68)

2 - STATION de NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées

LAC TCHAD à NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1957

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1						167	158					
2												
3				200								
4												
5								140	144	146		149
6						163	150					
7												
8				190								
9												
10								140	143	147	148	149
11						163	155					
12												
13				188								
14												
15								142			149	
16						163	150		145			149
17												
18				180								
19												
20								142	145			
21						162	149					
22					168							
23												
24												
25									145	148	148	149
26						160	148					
27					167			142				
28												
29									146			
30				185						148	148	149
31							140	144				

LAC TCHAD à NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1962

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1					186			167				
2				298	194		163					
3					193	186			189	203	225	253
4					206			172				
5		598	494		183		164					
6					194	180			190	208	227	251
7					195			170				
8					191		159					
9				256	192	178			198	206	231	253
10					192			173				
11					191		154					
12		567	476		195	174			196	207	235	257
13					192			198				259
14					191		152					
15					191	173			189	210	237	
16				239	186			184				259
17							152					
18						174			192	212	240	
19		545	395		189			185				257
20							153					
21						172			193	216	243	256
22					187			186				262
23				241			151					
24						170			195	220	245	
25					186			188				264
26		548	349				173					
27						172			198	219	247	264
28					181			191				
29	616						164					
30				221		169			201	224	252	264
31					180			193				

LAC TCHAD à NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1963

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1						222	199		207	219		
2	264	262		242	227						240	250
3			248					196				
4						219	198		210	221		
5	266	263		240	224						238	259
6			252					196				
7						220	197		215	224		
8	265	261		239	224						241	253
9			232									
10						220	187	198	229	227		
11	265	262		239	222						245	254
12			246					198		232		
13						218	183		208			
14	264	261		238							249	253
15			245					197		235		
16		261				216	175		213	260		
17	263			227	224						251	257
18			242			207		198		250		
19		261					193		212			
20	263			228	222	200					253	255
21			244					208		232		
22		260					192		211			
23	265			231	222	204					253	250
24			242					202		240		
25		260					198		219			
26	263			227	220	202					256	253
27			239					209		235		
28		248					197		225			
29	262			230	221	198					251	251
30			237					202		243		
31	262						196	205				

LAC TCHAD à NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1966

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D.
1	206	200	185	174	162	150	139	130	140	167		
2												
3												
4	207	199	182	172	161	149	137	131	143	168		
5												
6												
7	207	200	180	170	162	148	136	133	148	168		
8												
9												
10	208	198	178	170	162	148	134	133	153	169		
11												
12												
13	208	197	177	171	160	146	133	132	155	170		
14												
15												
16	207	197	177	170	158	145	134	134	161			
17												
18												
19	209	195	176	169	156	143	132	133	163			
20												
21												
22	206	193	175	167	154	141	132	136	165			
23												
24												
25	204	191	174	165	152	141	129	136	165			
26												
27												
28	202	188	173	164	152	140	131	135	167			
29												
30				162		140			166			
31	200		173		152		130	134				

LAC TCHAD à NGUIGMI

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)
de Janvier 1967 à Janvier 1968

Jours	Janv	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov.	Janv
1	149	142	173	160	138	125	124	131	136	141	140	
2												
3			173									
4	156	142		156	135	124	123	132	135	143		
5												
6												
7	159	150	170	153	132	124	123	134	135	145		
8												
9												
10	160	156	166	152	130	124	125	135	137	145		
11												153
12												
13	162	158	162	150	130	123	126	137	140	145		
14												148
15												
16	160	167	161	150	130	123	126	138	141	144		
17												146
18												
19	158	168	159	149	130	124	129	139	143	141		
20												149
21												
22	155	175	157	145	127	124	130	139	145	140		
23												150
24												
25	151	174	155	143	126	125	130	138	144	138		
26												150
27												
28	146	173	158	140	125	124	131	138	142	139		
29												149
30				138		124			141			
31	143		160				131	136		140		149

3 - STATION HADJER EL HAMIS

Hauteurs d'eau brutes observées

LAC TCHAD à HADJER EL HAMIS

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1954

[illegible]

Année 1955

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	180	190	154		125	110	95	85				
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

4 - STATION ESTUAIRE CHARI
(Bras oriental, rive gauche)

Hauteurs d'eau brutes observées

LAC TCHAD à Estuaire CHARI

(Bras oriental, rive gauche)

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1953

Année 1954

[illegible]

5 - Echelle de TAGACA sur le BAHR EL GAHZAL

Hauteurs d'eau brutes observées

BAHR EL GAZAL à TAGACA

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1962

Année 1963

Jours	Décembre	Janv	Mars	Avril	Mai	Juin	Août	Nov
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								205
9								
10								
11								
12	70							
13								
14								
15								
16							165	
17					207			
18								
19								
20								
21								
22			223					
23								212
24								
25				216				
26								
27								
28								
29								
30						180		
31		241						

6 - LIMNIGRAPHE de KARE KATIA

Hauteurs d'eau brutes observées

LAC TCHAD à KARE KATIA

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1967

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		456	444	431	423	397	386	376	387	398	418	439
2		457	444	432	422	397	385	378	390	398	419	441
3		456	444	432	422	396	384	377	390	399	419	442
4		454	446	432	418	395	383	377	390	399	419	442
5		453	444	429	416	394	382	377	390	399	418	443
6		453	443	428	415	395	382	377	390	399	419	445
7		456	442	428	414	395	382	377	390	400	421	444
8		456	442	429	414	394	381	376	390	400	421	444
9		458	443	429	414	394	381	375	391	401	419	444
10		457	442	429	413	395	380	376	391	401	418	446
11		456	442	429	412	395	380	376	390	400	418	447
12		456	441	429	410	395	379	376	391	400	418	448
13		456	441	428	409	394	379	377	392	400	422	447
14		455	440	428	409	394	379	377	393	403	423	448
15		455	439	427	408	392	379	377	393	406	423	447
16		455	439	425	408	391	379	377	393	407	422	447
17		452	438	425	408	390	379	377	393	405	422	446
18		450	437	424	408	391	379	379	393	404	422	445
19		448	437	424	408	390	379	379	394	404	422	444
20		448	437	423	407	390	379	380	395	406	425	444
21		448	438	423	407	390	379	380	395	407	428	444
22		445	439	424	408	390	378	384	395	408	428	446
23		445	438	424	408	389	378	384	396	408	430	447
24		445	437	426	406	389	378	384	396	409	433	442
25		445	433	426	406	388	378	384	396	411	432	442
26		445	432	426	404	388	378	384	397	413	431	444
27	451	446	432	423	403	387	377	384	398	414	431	447
28	452	445	432	423	402	386	377	384	398	414	431	448
29	453		431	423	401	386	377	384	399	416	433	448
30	455		432	422	400	386	376	386	398	417	437	448
31	456		432		398		376	387		418		448

LAC TCHAD à KARE KATIA

Hauteurs d'eau brutes observées (cm)

Année 1968

Jours						Janv	Févr					
1						448	437					
2						448	436					
3						449	437					
4						449	438					
5						448	439					
6						446	439					
7						442	439					
8						444	440					
9						444	437					
10						444	437					
11						444	434					
12						445	434					
13						444						
14						440						
15						438						
16						434						
17						435						
18						436						
19						438						
20						441						
21						443						
22						445						
23						445						
24						443						
25						440						
26						440						
27						441						
28						440						
29						439						
30						438						
31						438						

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

▼
Service hydrologique

**SECRETARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES
CHARGÉ DE LA COOPÉRATION**



Complément à la monographie du LAC TCHAD



NOTE HYDROLOGIQUE
sur l'EL BEID et la KOMADOUGOU-YOBÉ

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

SECRETARIAT d'ETAT aux AFFAIRES ETRANGERES
CHARGE de la COOPERATION

Service Hydrologique

COMPLEMENT à la MONOGRAPHIE du LAC TCHAD

NOTE HYDROLOGIQUE sur les TRIBUTAIRES SECONDAIRES :

L'EL - BEID

et

la KOMADOUGOU-YOBE

par

P. TOUCHEBEUF de LUSSIGNY

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	1
 <u>PREMIERE PARTIE - L'EL BEID</u>	
CHAPITRE 1 - <u>DONNEES GEOGRAPHIQUES et PLUVIOMETRIQUES</u>	3
1.1 Situation et description du bassin versant	3
1.2 Réseau hydrographique	4
1.3 Sol et végétation	5
1.4 Pluviométrie	5
CHAPITRE 2 - <u>EQUIPEMENT et MESURES HYDROMETRIQUES</u>	11
2.1 Station de FOTOKOL - GAMBAROU	11
2.2 Station de SOUERAM	13
2.3 Station de TILDE	14
CHAPITRE 3 - <u>REGIME HYDROLOGIQUE</u>	15
3.1 Débits observés	15
3.2 Caractères généraux du régime	18
3.3 Basses eaux	18
3.4 Crues	19
3.5 Modules	21
3.6 Débits moyens mensuels	23

DEUXIEME PARTIE - La KOMADOUGOU-YOBE

	Pages
CHAPITRE 1 - <u>DONNEES GEOGRAPHIQUES ET PLUVIOMETRIQUES</u>	29
1.1 Situation et description du bassin versant	29
1.2 Réseau hydrographique	30
1.3 Sol et végétation	31
1.4 Pluviométrie	31
1.5 Température et humidité	34
CHAPITRE 2 - <u>EQUIPEMENT et MESURES HYDROMETRIQUES</u>	37
2.1 Station de BAGARA	37
2.2 Station de GUESKEROU	38
2.3 Autres stations du cours inférieur	40
CHAPITRE 3 - <u>REGIME HYDROLOGIQUE du COURS INFERIEUR</u>	43
3.1 Débits observés	43
3.2 Caractères généraux du régime	48
3.3 Basses eaux	48
3.4 Crues	49
3.5 Modules	52
3.6 Débits moyens mensuels	55

A N N E X E S

1. DEBITS MOYENS JOURNALIERS

- EL-BEÏD à FOTOKOL-GAMBAROU
- KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA
- KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

2. HAUTEURS LIMNIMETRIQUES

- EL-BEÏD à SOUERAM
- KOMADOUGOU-YOBE à TAM
- KOMADOUGOU-YOBE à NGOURTOUWA
- KOMADOUGOU-YOBE à DAMASSAK
- KOMADOUGOU-YOBE à YAU
- KOMADOUGOU-YOBE à BOSO

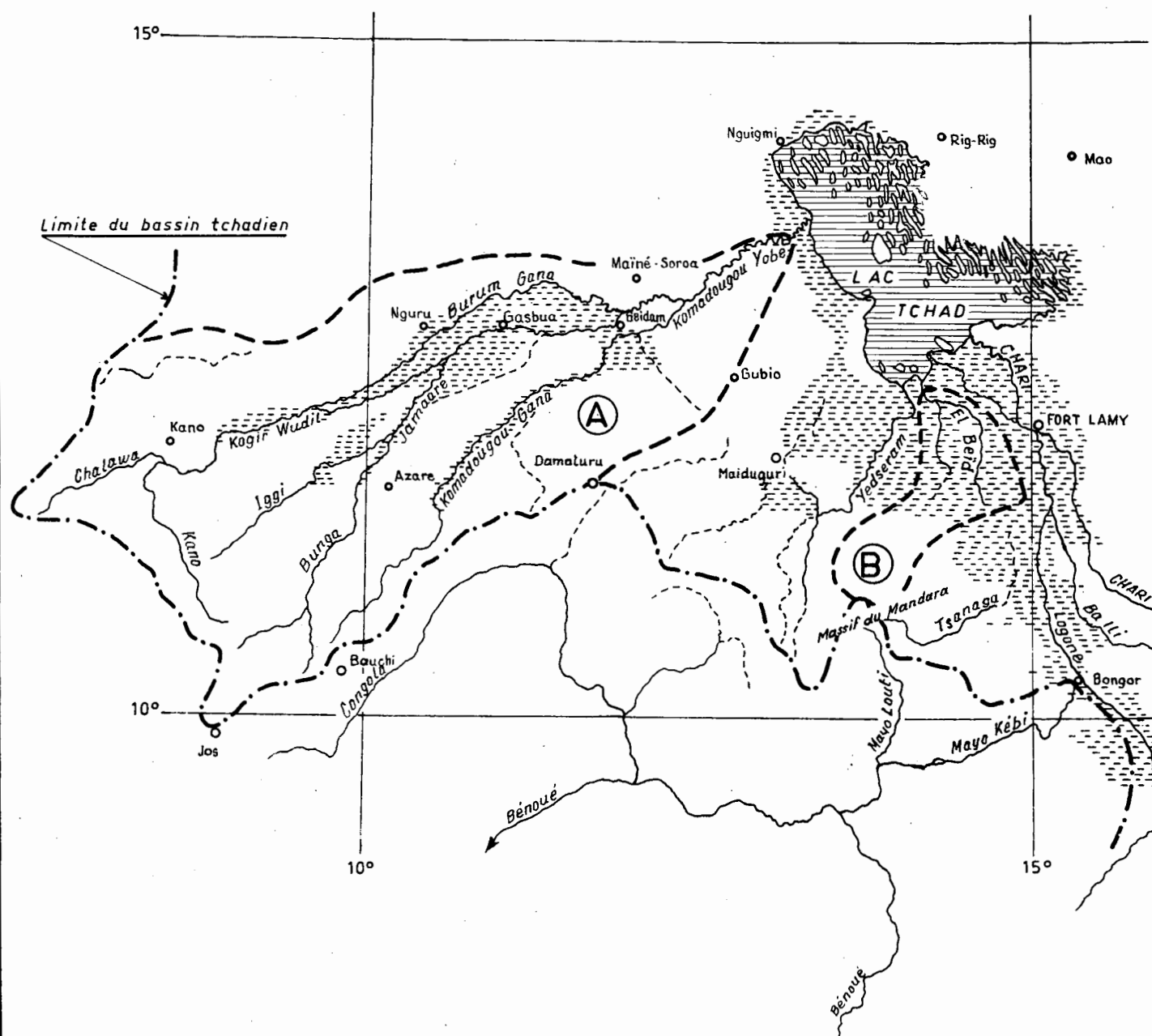
Indépendamment du CHARI qui fournit au lac TCHAD près de 95 % de son alimentation annuelle et qui a déjà fait l'objet d'une Monographie détaillée, le lac reçoit les apports de quelques tributaires secondaires : l'EL-BEÏD, le YEDSERAM et la KOMADOUGOU-YOBE.

La présente note fait la synthèse des données hydrologiques encore assez maigres qui ont pu être recueillies par l'ORSTOM sur l'EL-BEÏD et sur le cours inférieur de la KOMADOUGOU-YOBE. Nous ne parlerons pas du YEDSERAM dont le bassin versant, d'ailleurs mal défini, est entièrement situé sur le territoire du NIGERIA et pour lequel nous ne disposons d'aucune donnée hydrologique.

Carte des bassins versants

A - de la KOMADOUGOU

B - de l'EL BEID



D'APRÈS CARTE UNESCO 1/5 000 000

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

L'EL-^{..}BEID

CHAPITRE 1

DONNEES GEOGRAPHIQUES et PLUVIOMETRIQUES

1.1 SITUATION et DESCRIPTION du BASSIN VERSANT

L'EL-BEID et ses deux principaux affluents, la KALIA et la FORUNDUMA drainent des régions très plates qui sont périodiquement inondées à l'Est par les débordements du LOGONE et du CHARI, au Sud par les apports de rivières torrentielles qui descendent du versant septentrional du massif du MANDARA. Vers l'Ouest des zones d'inondation, qui s'étendent sans discontinuité jusque vers MAIDUGURI, reçoivent les apports d'autres rivières issues du versant Nord-Ouest du massif du MANDARA et sont drainées par le YEDSERAM (appelé aussi MBULI dans son cours inférieur).

Le bassin versant de l'EL-BEID est donc très mal défini, puisqu'il est bordé de toutes parts, sauf à son extrémité Sud-Ouest, par d'immenses plaines d'inondation où aucun relief ne permet de discerner une limite nette avec les bassins voisins du LOGONE, du CHARI et du YEDSERAM. Des limites tracées sur la carte d'une façon assez arbitraire permettent tout au plus de fixer un ordre de grandeur de la superficie du bassin versant de l'EL-BEID. Cet ordre de grandeur est de 12 500 km². Encore ne doit-on pas lui attacher une trop grande importance, étant donné que l'on ignore la contribution exacte du LOGONE et du CHARI à l'alimentation de l'EL-BEID, contribution qui est peut-être non négligeable, voire même prédominante, par rapport à celle des précipitations qui tombent sur le "bassin versant" de 12 500 km².

Ce "bassin versant" est encadré par :

les méridiens 13°35' et 15°00' E
et les parallèles 10°45' et 12°30' N

Il est à cheval sur les territoires du CAMEROUN et du NIGERIA, la KALIA puis le cours inférieur de l'EL-BEID constituant la frontière entre ces deux Etats. La partie camerounaise est couverte par une carte au 1/200 000^e de l'IGN (feuilles de MAROUA, MORA et GOULFEY). Pour la partie nigériane nous avons disposé d'une carte au 1/1 750 000^e du Survey Department et de quelques feuilles (N° GALA, SIGEL et JILBE), d'une carte au 1/50 000^e du Directorate of Overseas Surveys couvrant la partie méridionale du bassin.

1.2 RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'écoulement sur la majeure partie du "bassin" de l'EL-BEID s'effectue à la fin de la saison des pluies et au début de la saison sèche, sous la forme d'une nappe liquide continue qui peut atteindre un mètre d'épaisseur. L'écoulement dans les plaines marécageuses ("YAERE") est donc très diffus et le réseau hydrographique mal organisé. On observe de nombreux petits bras sinueux mal calibrés et enchevêtrés, qui canalisent plus ou moins l'écoulement et s'estompent souvent avant d'avoir rejoint un affluent plus important.

Le cours proprement dit de l'EL-BEID ne prend naissance qu'à la latitude 12°05'N, à environ vingt-cinq kilomètres à l'Ouest de FORT-LAMY. Les apports dérivés du CHARI par un petit bras défluent, le BAHR MARAKO, ont sans doute contribué au creusement du lit de l'EL-BEID dans cette région. Après un parcours d'une quinzaine de kilomètres, l'EL-BEID reçoit en rive gauche son principal affluent, la KALIA, qui a un lit nettement plus étroit mais dont le cours est beaucoup plus long. Les deux branches de la KALIA, la KOULOUM DOUMA (ou DIAOUA) et la KOUTELAHA DOURMA prennent, en effet, naissance à la limite Nord du Parc National de WAZA, vers la latitude 11°30'N.

Après le confluent de la KALIA, l'EL-BEID a un cours sinueux en direction du Nord-Ouest sur une cinquantaine de kilomètres, puis en direction de l'Ouest sur environ quarante-cinq kilomètres. Il passe alors entre les deux villages de GAMBAROU et de FOTOKOL, où il est franchi par la route MAIDUGURI-FORT-LAMY. A quelques kilomètres en amont de GAMBAROU il reçoit en rive gauche son second affluent important, la FORUNDUMA, qui coule entièrement sur le territoire du NIGERIA. En aval de GAMBAROU le cours de l'EL-BEID se dirige vers le Nord pendant vingt-cinq kilomètres environ, puis débouche dans le lac TCHAD à son extrémité Sud-Ouest.

En contraste avec le réseau hydrographique de la majeure partie du bassin de l'EL-BEID, les petites rivières ("mayo") qui descendent du versant Nord du massif du MANDARA ont une pente très forte, du moins pendant les dix ou vingt premiers kilomètres de leur cours. Ensuite leurs lits se dégradent progressivement, puis se perdent dans le grand "YAERE". Parmi les "mayo" qui participent le plus directement à l'alimentation de l'EL-BEID, les deux principaux sont le KERAWA et la NGASSAWE.

Dans le "YAERE" on ne peut pas distinguer nettement les lignes de partage des eaux. Rappelons seulement qu'il est alimenté plus au Sud par d'autres mayo, notamment le MOTOROLO et la TSANAGA, et qu'il reçoit des apports du LOGONE par l'intermédiaire principalement de deux effluents, la LOGOMATIA et le GUERLEOU. Par contre, en aval de LOGONE-GANA le YAERE est partiellement drainé par le LOGONE (Voir Monographie du LOGONE).

1.3 SOL et VEGETATION

Le "bassin versant" de l'EL-BEID est en grande partie recouvert de formations fluvio-lacustres quaternaires qui ont donné lieu à des sols argileux hydromorphes caractérisés souvent par des nodules calcaires.

Le socle cristallin apparaît à l'extrémité Sud-Ouest du bassin, sur les versants du massif du MANDARA.

La végétation est essentiellement constituée de hautes graminées sur la majeure partie du bassin périodiquement inondée. Dans les zones assez rares qui échappent plus ou moins complètement à l'inondation on voit apparaître la savane arbustive et des cultures vivrières (mil).

1.4 PLUVIOMETRIE

Il n'existe aucune station pluviométrique à l'intérieur du "bassin versant" de l'EL-BEID, à l'exception de MORA qui est située tout près de la limite du bassin dans sa partie méridionale et qui ne suffit pas à caractériser le régime pluviométrique. Nous considérerons donc d'autres stations périphériques qui sont indiquées ci-dessous dans le tableau I. Elles ne sont malheureusement pas très bien réparties autour du bassin.

TABLEAU I

Caractéristiques des stations pluviométriques

Stations	Latitude Nord	Longitude Est	Altitude (m)	Période d'observation (années)	Moyenne sur la période (mm/an)
<u>TCHAD</u>					
FORT-LAMY	12°08'	15°02'	295	33	638
<u>CAMEROUN</u>					
FORT-FOUREAU	12°05'	15°00'	305	35	542
MAROUA St.	10°36'	14°19'	428	23	798
MOKOLO	10°45'	13°48'	795	27	979
MORA	11°03'	14°08'	438	25	802
<u>NIGERIA</u>					
MAIDUGURI	11°51'	13°08'	300	-	645

La carte n° 2 montre l'allure générale des isohyètes interannuelles sur le bassin versant. Ces isohyètes ont été tracées en tenant compte des résultats de l' "Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique de l'Ouest" de Y. BRUNET-MORET. Elles sont dans l'ensemble orientées schématiquement suivant des parallèles, avec décroissance des précipitations du Sud vers le Nord, comme il est de règle dans les régions tropicales et sahéliennes. Vers le Sud du bassin cependant le relief du massif du MANDARA tend à accroître les précipitations et provoque une déformation locale du schéma général des isohyètes. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 900 mm à la limite méridionale du bassin et tombent à 550 mm à l'embouchure de l'EL-BEID dans le lac TCHAD. Sur l'ensemble du bassin la moyenne interannuelle des précipitations est d'environ 700 mm.

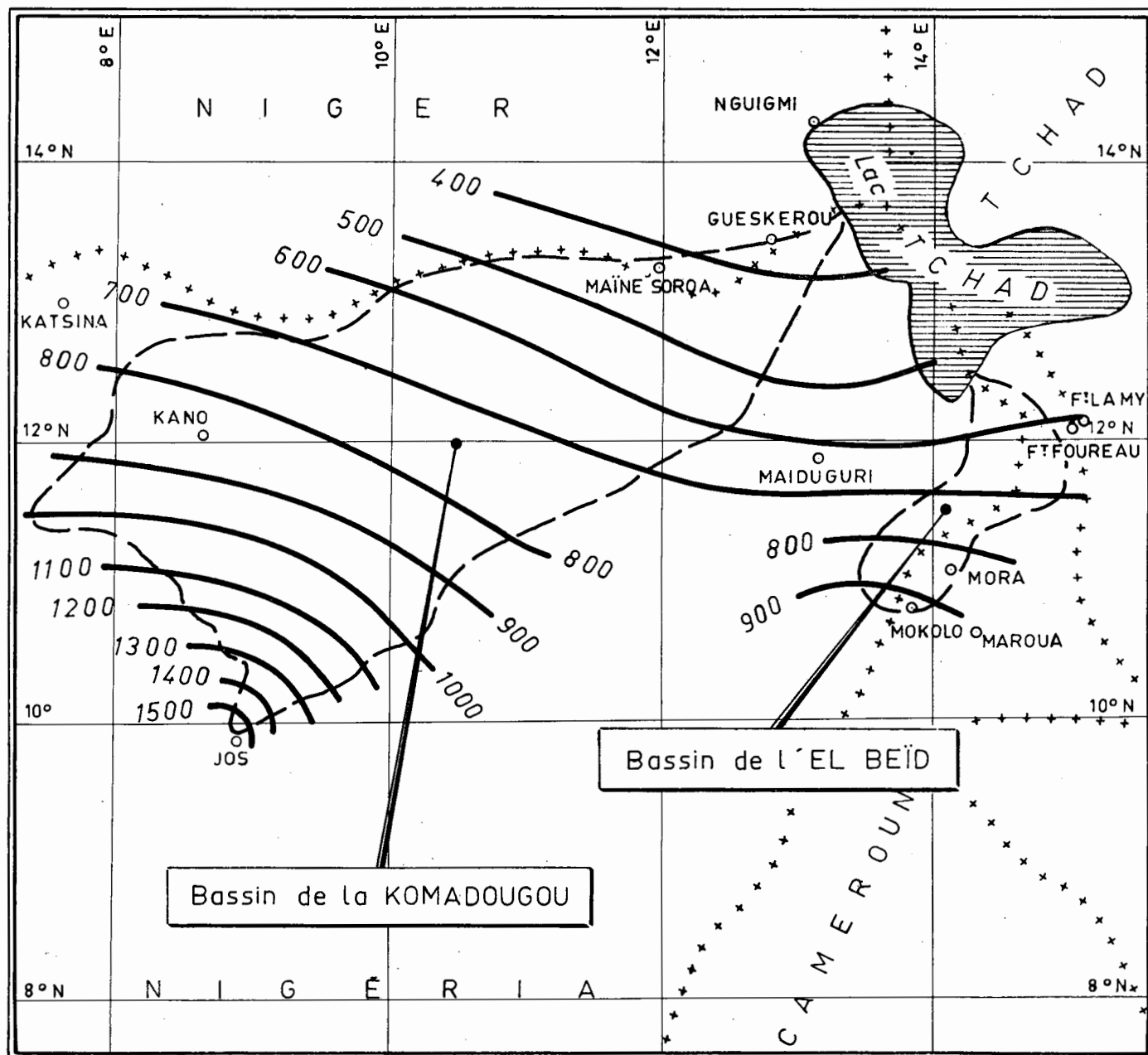
Les pluviométries annuelles relevées de 1940 à 1963 aux cinq stations périphériques situées au TCHAD et au CAMEROUN (tableau II) donnent un aperçu de l'irrégularité interannuelle des précipitations. Pour les trois stations de FORT-LAMY, MAROUA et MOKOLO nous avons étudié la distribution statistique des pluies annuelles qui est du type gaussique et conduit aux résultats du tableau III.

Sur l'ensemble du bassin la pluviométrie moyenne doit être d'environ 550 mm en année décennale sèche et de 850 mm en année décennale humide.

La répartition saisonnière des précipitations est celle d'un climat tropical à tendance sahélienne, comme le montrent les données du tableau IV. La sécheresse est quasi absolue de Novembre à Mars. Plus de 80 % des pluies annuelles tombent de Juin à Septembre, Août étant généralement le mois le plus arrosé. La saison des pluies tend à se raccourcir légèrement du Sud au Nord, ce qui se traduit par une diminution des précipitations pendant les mois de transition Avril-Mai et Octobre.

Pluviométrie

Bassins de l'EL BEÏD et de la KOMADOUGOU



Echelle : 1 / 5 000 000

TABLEAU II

Pluviométries annuelles

Stations	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951
FORT-LAMY	625	564	753	654	506	588	877	457	355	435	953	550
FORT-FOUREAU	507	550	592	563	441	535	959	271	333	384	(690)	540
MAROUA St.	636	(620)	599	599	548	934	1 016	665	754	644	825	1 017
MOKOLO	1 017	723	1 117	1 426	894	989	(950)	884	854	995	956	(1 200)
MORA	658	560	944	788	585	(790)	660	700	670	795	784	1 224

Stations	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
FORT-LAMY	760	643	779	735	606	739	538	990	534	781	491	498
FORT-FOUREAU	702	550	655	576	622	524	405	598	437	569	677	(450)
MAROUA St.	826	779	747	800	825	(720)	(960)	(710)	(780)	(890)	(980)	(860)
MOKOLO	948	1 017	1 042	1 088	805	888	837	1 030	1 157	959	1 072	(1 020)
MORA	618	681	1 009	1 048	864	617	723	573	796	717	(1 051)	820

NOTA - Les valeurs données entre parenthèses n'ont pas été directement observées
mais reconstituées par corrélation -

TABLEAU III

Etude statistique des pluies annuelles

Stations	Moyenne annuelle mm/an	Médiane mm/an	Hauteur maximale mm/an	Hauteur minimale mm/an	Ecart- type mm/an	Coefficient de variation
FORT-LAMY (33 ans)	638	625	990	355	160	0,26
MAROUA (23 ans)	798	773	1 073	548	150	0,19
MOKOLO (27 ans)	979	968	1 426	703	153	0,16

Stations	Pluie annuelle correspondant à la fréquence de dépassement F					
	F = 5 %	F = 10 %	F = 20 %	F = 80 %	F = 90 %	F = 95 %
FORT-LAMY	902	843	773	503	433	374
MAROUA	1 044	990	924	672	606	552
MOKOLO	1 230	1 174	1 107	851	784	764

TABLEAU IV

Pluviométries moyennes mensuelles (mm)

Mois	FORT-LAMY	FORT-FOUREAU	MAROUA	MOKOLO	MORA	MAIDUGURI
Janvier	0	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0	0
Mars	0	0	1	3	0	0
Avril	6	3	11	26	9	7
Mai	33	29	68	100	59	41
Juin	65	57	109	159	102	70
Juillet	155	141	171	220	195	180
Août	254	219	254	267	285	221
Septembre	104	78	157	170	133	106
Octobre	21	18	27	34	21	20
Novembre	0	0	0	0	0	0
Décembre	0	0	0	0	0	0
Total	638	542	798	979	802	645

CHAPITRE 2

EQUIPEMENT et MESURES HYDROMETRIQUES

2.1 STATION de FOTOKOL - GAMBAROU

La station est située au pont de la route FORT-LAMY - MAIDUGURI, entre le village camerounais de FOTOKOL et le village nigérian de GAMBAROU. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

- longitude : 14°13' E
- latitude : 12°22' N

L'échelle limnimétrique a été installée le 8 Juin 1953 par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD. L'altitude de son zéro a pu être rattachée à un repère de nivellement IGN tout proche ⁽¹⁾. Dans le système de cotes de 1953 cette altitude était de 282,25 m en 1953. Par suite d'un léger affaissement elle est en 1969 de 282,21 m.

Au droit de l'échelle, les berges et le fond du lit sont argileux mais peuvent être considérés comme assez stables.

Sept jaugeages ont été effectués à cette station dont la liste est donnée ci-dessous :

Date	Hauteurs (cm)	Débits (m ³ /s)
1-10-1953	138	5,5
14-11-1953	289	44
1- 9-1954	416	135
20-11-1954	445	180
1-11-1955	342	74
8-12-1955	556	350
26- 9-1960	142	6 env.

(1) - Borne de nivellement Matricule 11-1, dite du poste de douane : Altitude repère = 287,967 - Altitude rivet = 287,624 (IGN 1953). La borne est maintenant renversée, mais le rivet paraît encore en place.

Ces jaugeages ont permis d'établir une courbe d'étalonnage provisoire qui est dans l'ensemble assez satisfaisante, sauf pour les basses eaux dont l'écoulement très lent (freiné par des barrages de pêche) se prête mal aux mesures. Les hautes eaux sont assez bien étalonnées grâce à un jaugeage effectué au maximum de la forte crue de 1955. Un barème d'étalonnage a été établi dont nous donnons un extrait ci-après :

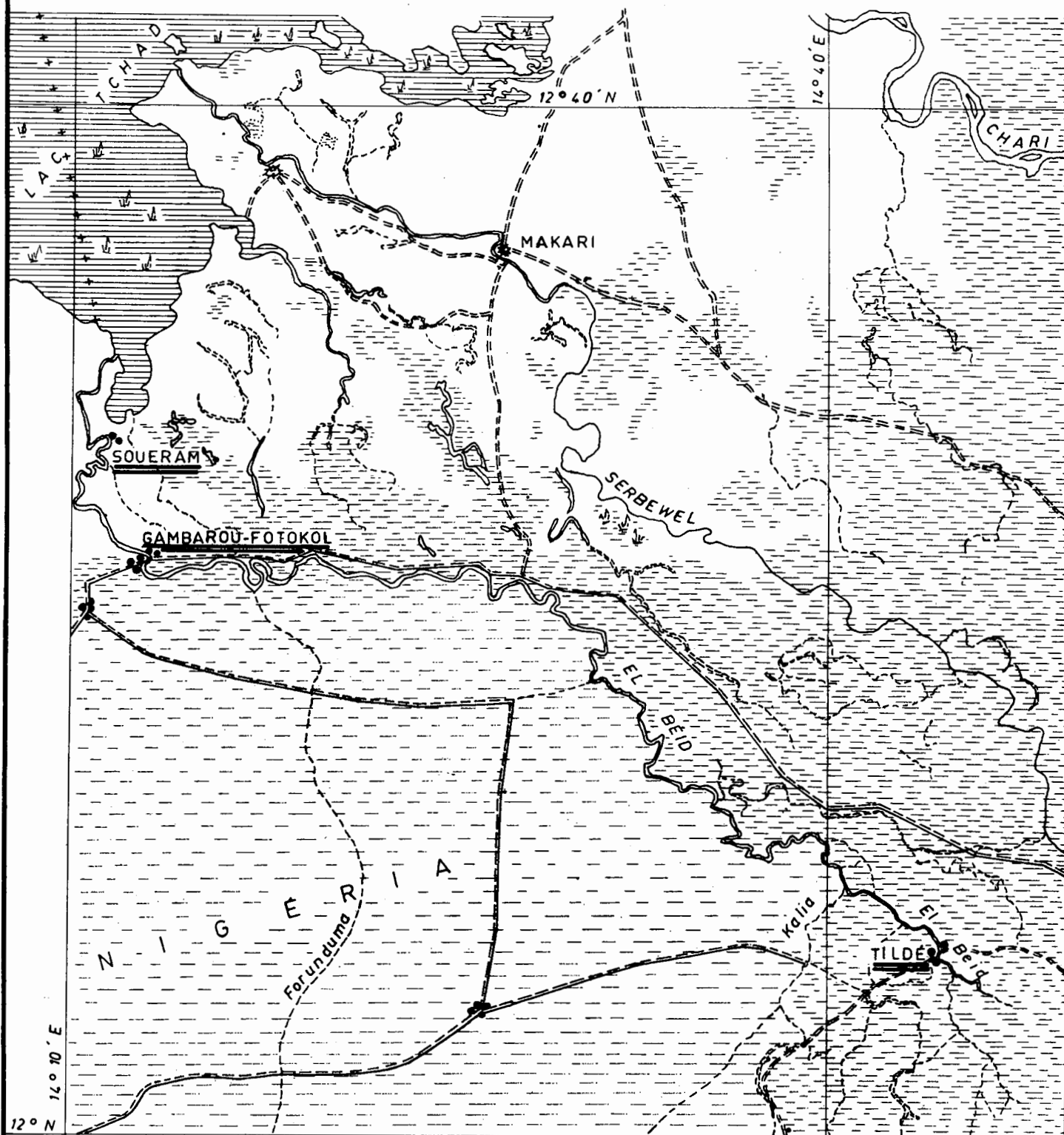
:	Hauteur	:	Débit	:	:	Hauteur	:	Débit	:
:	(cm)	:	(m ³ /s)	:	:	(cm)	:	(m ³ /s)	:
:	0	:	0	:	:	300	:	49	:
:	50	:	1,2	:	:	400	:	121	:
:	100	:	3,0	:	:	500	:	259	:
:	200	:	15	:	:	600	:	430	:
:		:		:	:		:		:

La station de FOTOKOL étant située à 25 km seulement de l'embouchure de l'EL-BEÏD dans le lac TCHAD, la question se pose de savoir si le remous du lac peut s'y faire sentir, ce qui rendrait la courbe d'étalonnage non univoque. L'altitude du zéro de l'échelle de FOTOKOL correspond à la cote 438 cm de l'échelle de BOL sur le lac. Le niveau du lac ayant fréquemment dépassé cette cote depuis 1956 (notamment pendant toute la période comprise entre Octobre 1961 et Juin 1966) on pourrait penser que les relevés de FOTOKOL sont difficilement exploitables. En fait, on peut admettre que l'influence du remous du lac est négligeable tant que la hauteur de submersion fictive de l'échelle de FOTOKOL est inférieure à la moitié de la hauteur d'eau réelle observée à cette même échelle. La comparaison des relevés de BOL et de FOTOKOL montre alors que le remous du lac n'a guère été sensible que de Mars à Octobre 1963. (Il a dû se faire sentir pendant d'autres périodes d'étiage de l'EL-BEÏD, mais on n'en possède pas les relevés).

Les observations limnimétriques ont été effectuées de façon sérieuse, mais avec de nombreuses lacunes, de Juin 1953 à Décembre 1956. Devant les difficultés rencontrées pour obtenir des lectures continues la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD a abandonné momentanément cette station au profit de celle de SOUERAM. Des observations plus ou moins sporadiques ont néanmoins été recueillies par les soins des Travaux Publics (Subdivision de FORT-FOUREAU) jusqu'en 1966, on les possède sous forme de graphiques, les relevés originaux étant perdus. A partir de cette même année l'ORSTOM a remis en service de façon continue la station de FOTOKOL.

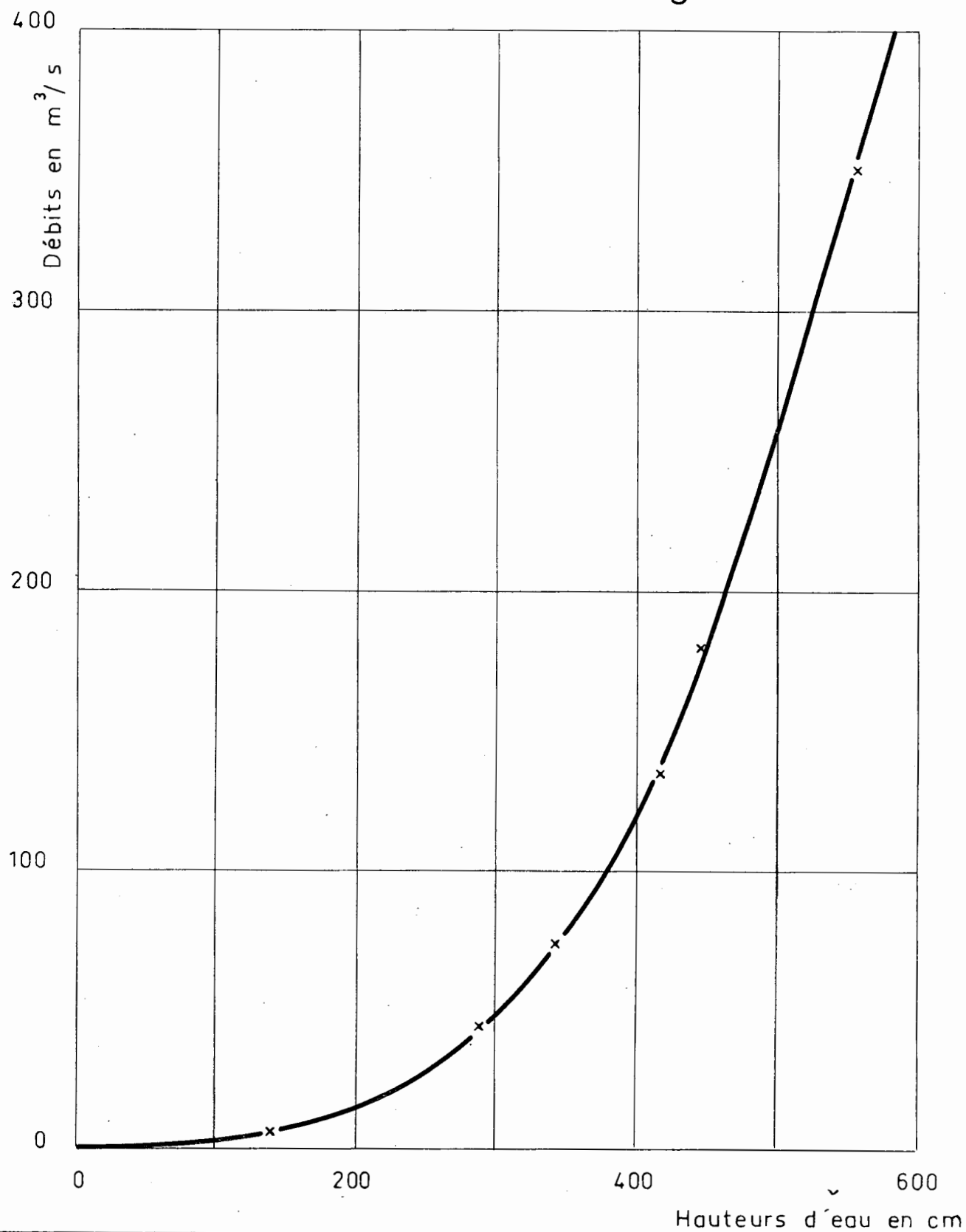
Stations hydrométriques

L'EL BEID



Echelle : 1 / 400 000

Courbe d'étalonnage



Signalons l'existence d'une échelle limnimétrique nigériane graduée en pieds et dixièmes de pied, peinte sur une pile du pont de GAMBAROU. Elle date de 1960 environ. Nous n'en possédons pas les relevés. Son zéro est à l'altitude 282,38 (IGN 1953).

2.2 STATION de SOUERAM

Cette station est située à une quinzaine de kilomètres en aval de FOTOKOL, près du village de NDEGA porté sur la carte au 1/200 000^e (feuille de GOULFEY). Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

- longitude : 14°11' E
- latitude : 12°27' N

La superficie du bassin versant intermédiaire drainé entre les stations de FOTOKOL et de SOUERAM est de l'ordre de 50 km². Elle est pratiquement négligeable par rapport à la surface totale drainée qui est de l'ordre de 12 500 km².

Le zéro de l'échelle n'a pas encore été rattaché au nivellement IGN. Il a été décalé de 1,00 m vers le bas le 24 Avril 1969.

Aucun jaugeage n'a été effectué à cette station. Un étalonnage grossier a pu néanmoins être établi, en se basant sur la corrélation qui existe entre les relevés limnimétriques de SOUERAM et ceux de FOTOKOL et en admettant que les débits aux deux stations sont identiques à un instant donné, ce qui n'est pas rigoureusement exact, surtout lorsque les variations de débits sont rapides.

La corrélation entre les hauteurs limnimétriques de SOUERAM (H_S) et de FOTOKOL (H_F) est à peu près linéaire, sauf en basses eaux. Elle peut s'exprimer par la relation :

$$H_S = 0,65 H_F - 90$$

qui est valable pour $H_S > 40$ cm, ou $H_F > 200$ cm.

Pour les valeurs de H_F inférieures à 200 cm la corrélation devient plus lâche à cause du remous du lac.

Un barème d'étalonnage assez grossièrement approximatif a été établi pour cette station à partir de FOTOKOL. Nous en donnons ci-après un extrait :

:	Hauteur	:	Débit	:
:	(cm)	:	(m ³ /s)	:
:	-----	:	-----	:
:	40	:	15	:
:	105	:	49	:
:	170	:	121	:
:	235	:	259	:
:	300	:	430	:

Nous avons utilisé ce barème uniquement pour vérifier les relevés de débits de FOTOKOL.

Pour les hauteurs inférieures à 40 cm le barème devient très douteux. La station de SOUERAM n'est située qu'à dix kilomètres de l'embouchure de l'EL-BEID dans le lac. Il n'est donc pas surprenant que le remous du lac s'y fasse sentir en basses eaux. Nous ne connaissons malheureusement pas l'altitude exacte du zéro de l'échelle et nous ne pouvons donc pas évaluer avec précision cette influence. Nous savons toutefois qu'en Avril 1969, alors que le niveau du lac n'était pas particulièrement élevé (H = 375 cm environ à BOL) le remous du lac remontait l'EL-BEID sur une vingtaine de kilomètres, donc bien au-delà de SOUERAM.

La station de SOUERAM a été mise en service le 1er Janvier 1955. Les observations y ont été effectuées, avec d'importantes lacunes, pendant toute l'année 1955. Elles ont été complètement interrompues en 1956 et 1957. Elles ont été reprises en 1958 et ont été poursuivies jusqu'à cette année, avec des lacunes très importantes spécialement pendant les mois de basses eaux.

2.3 STATION de TILDE

Une nouvelle station a été installée le 22 Novembre 1968 à TILDE à environ 8 km en amont du confluent de la KALIA et à environ 4 km en aval du point où l'EL-BEID commence à avoir un lit bien marqué. Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

- longitude : 14°44' E
- latitude : 12°09' N

Le zéro de l'échelle a été repéré par rapport à une borne spécialement implantée à cet effet sur la rive. La dénivelée entre la borne et le zéro est de 10,032 m.

Aucun jaugeage n'a été effectué à cette station dont les relevés limnimétriques ne portent encore que sur quelques mois.

CHAPITRE 3

REGIME HYDROLOGIQUE

3.1 DEBITS OBSERVES

Les débits observés à la station de FOTOKOL figurent en annexe dans le "Recueil de données numériques". Les relevés de hauteurs d'eau de SOUERAM y ont également été reproduits, mais non les relevés de débits car l'étalonnage de cette station n'est pas déterminé avec une précision suffisante.

Les éléments essentiels du régime de l'EL-BEID à FOTOKOL sont présentés ici sous la forme de deux tableaux. Le premier donne les débits moyens mensuels et annuels, ainsi que leur moyenne interannuelle calculée sur la période d'observation.

Le second tableau indique les valeurs des crues maximales, des étiages absolus et des débits caractéristiques (DCC, DC 3, DC 6, DC 9 et DCE) de chaque année, ainsi que leur valeur médiane.

Ces tableaux comportent malheureusement de nombreuses lacunes dues au manque de continuité des observations particulièrement pendant les mois de basses eaux. Certaines lacunes ont pu être comblées assez aisément par des interpolations de faible importance et sont signalées par des parenthèses simples. Des évaluations plus grossièrement approximatives ont été figurées entre parenthèses doubles.

En ce qui concerne les débits moyens annuels, les lacunes ont été comblées par l'utilisation de corrélations entre le module annuel et la somme des débits moyens connus pour les mois de hautes eaux (voir graphiques 5 à 7). Les débits moyens annuels ainsi obtenus ont été signalés également par des doubles parenthèses.

L'année hydrologique adoptée s'étend du 1er Juin au 31 Mai.

TABLEAU V
L'EL-BEID à FOTOKOL
Débits moyens mensuels (m³/s)

Année hydrologique	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Moyenne annuelle
1953-1954	(1,3)	6,45	89,8	21,1	5,7	45,7	75,1	34,2	4,97	1,60	(0,57)	(0,1)	(24,1)
1954-1955	((1))	(4,3)	70,1	113	146	175	(263)	183	75,9	(14,4)	(2)	(0)	(87,5)
1955-1956	((1))	((6))	(23,1)	40,1	(48,6)	155	(335)	269	84,3	(15)	((2))	(0)	(82,0)
1956-1957	-	-	68,5	78,2	83,9	151	(244)	-	-	-	-	-	((75))
1957-1958	-	-	-	-	-	-	(76,4)	-	-	-	-	-	((19))
1958-1959	((1))	((5))	(11,5)	(13,6)	(5,65)	(26,6)	(87,6)	(65,1)	(11,5)	(3,28)	((1,5))	(0)	(19,5)
1959-1960	-	-	(70)	(51,6)	(20,9)	(60,6)	(171)	-	-	-	-	-	((45))
1960-1961	-	-	-	-	-	(85,1)	(265)	(165)	(51,7)	(4)	-	-	((61))
1961-1962	-	-	-	(98,0)	(93,1)	(260)	(222)	(100)	(20)	-	-	-	((72))
1962-1963	((0))	((1))	15,1	(14,5)	(5,53)	(43,6)	(251)	(135)	(23,9)	(9,8)	(4,22)	(1)	(42,5)
1963-1964	-	-	-	(3,19)	(20,5)	(175)	(215)	-	-	-	-	-	((53,5))
1964-1965	-	-	-	22,2	22,9	64,6	147	98,1	26,7	-	-	-	((34,5))
1965-1966	((1))	((3))	((8))	28,0	33,8	50,6	71,2	26,9	5,85	2,35	1,14	(0,9)	(19,5)
1966-1967	1,53	1,70	3,40	6,05	3,52	24,5	127	92,8	15,7	2,08	1,02	(0,59)	23,5
1967-1968	1,47	4,14	40,8	86,5	63,2	79,5	150	107	23,4	4,87	1,50	(0,61)	47,1
1968-1969	(0,96)	4,85	4,44	6,25	2,01	41,0	108	60,4	6,11	1,03	(0,)	(0)	19,7
Moyennes	1	4	36,8	41,6	39,6	95,8	176	111	29,2	5,8	1,5	0,3	45,3

TABLEAU VI

L'EL-BEID à FOTOKOL

Débits caractéristiques

Année hydrologique	Débit maximal	DCC	DC 3	DC 6	DC 9	DCE	Débit minimal
1953-1954	127	112	42,0	5,38	1,38	-	0
1954-1955	(278)	(270)	156	54,5	-	-	-
1955-1956	(354)	(345)	95,4	(30,1)	-	-	-
1956-1957	(264)	(251)	-	-	-	-	-
1957-1958	(87,5)	(80)	-	-	-	-	-
1958-1959	(104)	(100)	(17)	(6)	-	-	-
1959-1960	(207)	(186)	-	-	-	-	-
1960-1961	(291)	(288)	(60)	-	-	-	-
1961-1962	(299)	(299)	(98,6)	-	-	-	-
1962-1963	(299)	(279)	(30,8)	(9,3)	(3)	-	-
1963-1964	(262)	(257)	-	-	-	-	-
1964-1965	(166)	(158)	(45,5)	(17,2)	-	-	-
1965-1966	(79,5)	(75,3)	(32,9)	-	-	-	-
1966-1967	154	149	14,4	3,0	1,38	((0,53))	((0,45))
1967-1968	171	163	79,5	16,1	1,51	((0,50))	((0,34))
1968-1969	120	115	12,9	3,1	(0,97)	0	0
Médiane							

3.2 CARACTERES GENERAUX du REGIME

Les petits affluents qui descendent du versant Nord du massif du MANDARA ont un régime tropical pur, caractérisé par un écoulement rigoureusement nul de Novembre à Mai et une succession de crues plus ou moins brusques de Juin à Octobre, avec paroxysme en Août.

En abordant les immenses plaines marécageuses qui forment la majeure partie du bassin apparent de l'EL-BEID, ces "mayo" torrentiels subissent une dégradation hydrographique rapide qui amortit considérablement leurs crues. A la fin de Mai ou dans le courant de Juin, celles-ci provoquent néanmoins une remontée des débits qui reste faible jusqu'à la fin Juillet, mais qui généralement s'accroît franchement en Août et Septembre. Le mois d'Octobre est assez souvent marqué par une baisse passagère des débits due à l'arrêt des précipitations et du ruissellement direct sur le bassin versant apparent de l'EL-BEID.

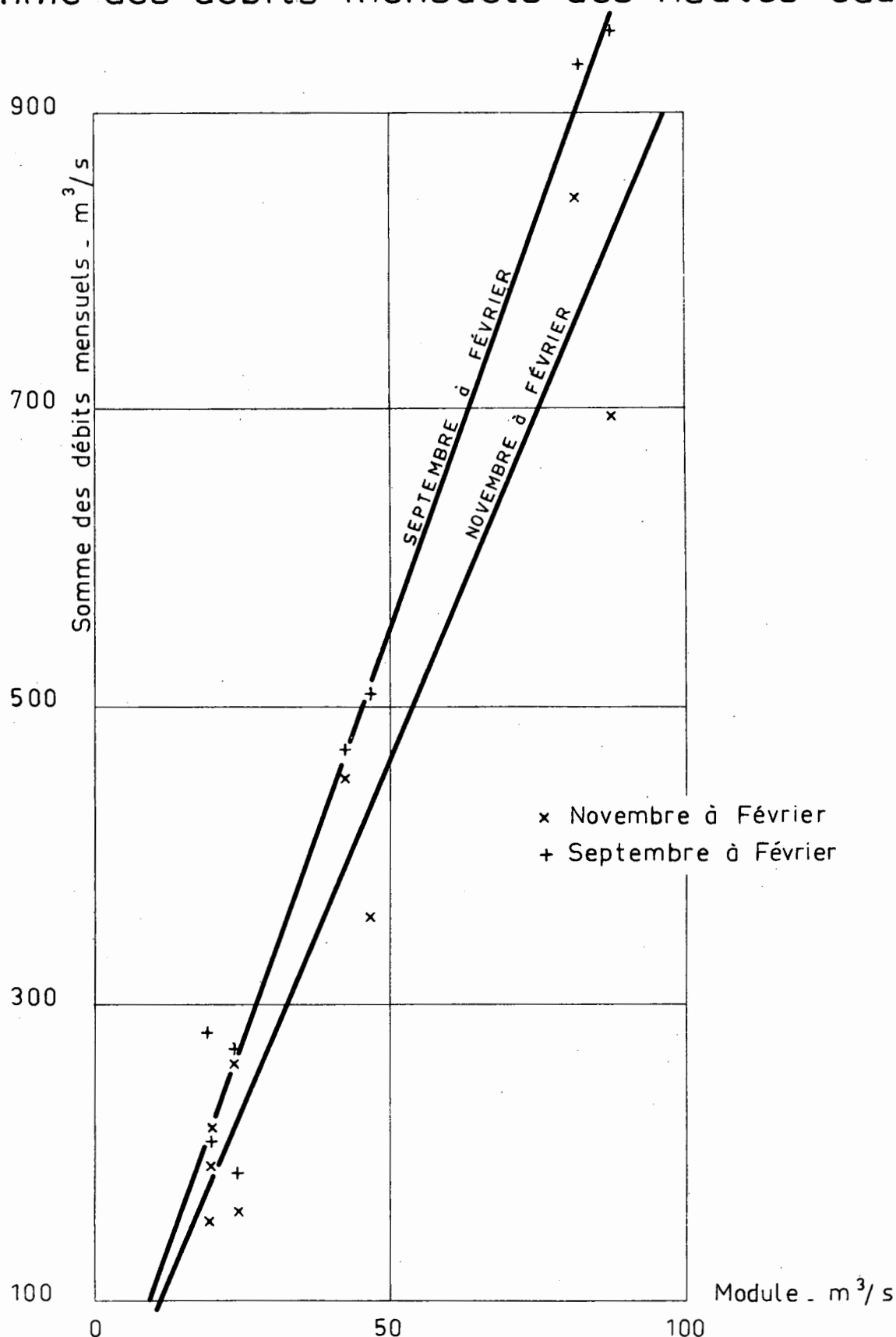
Les apports du LOGONE et du CHARI qui se propagent lentement à travers les plaines d'inondation provoquent dans le courant d'Octobre ou de Novembre une importante recrudescence des débits qui atteint presque toujours son maximum vers la mi-Décembre. Ce maximum est en général nettement plus élevé que celui d'Août ou Septembre et a une valeur de l'ordre de 100 à 200 m³/s. Une décrue progressive s'amorce en Janvier et s'achève en Avril ou Mai avec un écoulement nul ou tout au moins insignifiant.

A partir des données d'observations hydrométriques on va chercher dans les pages qui suivent à préciser les éléments importants du régime hydrologique : étiages, débits maximaux annuels, modules, débits moyens mensuels.

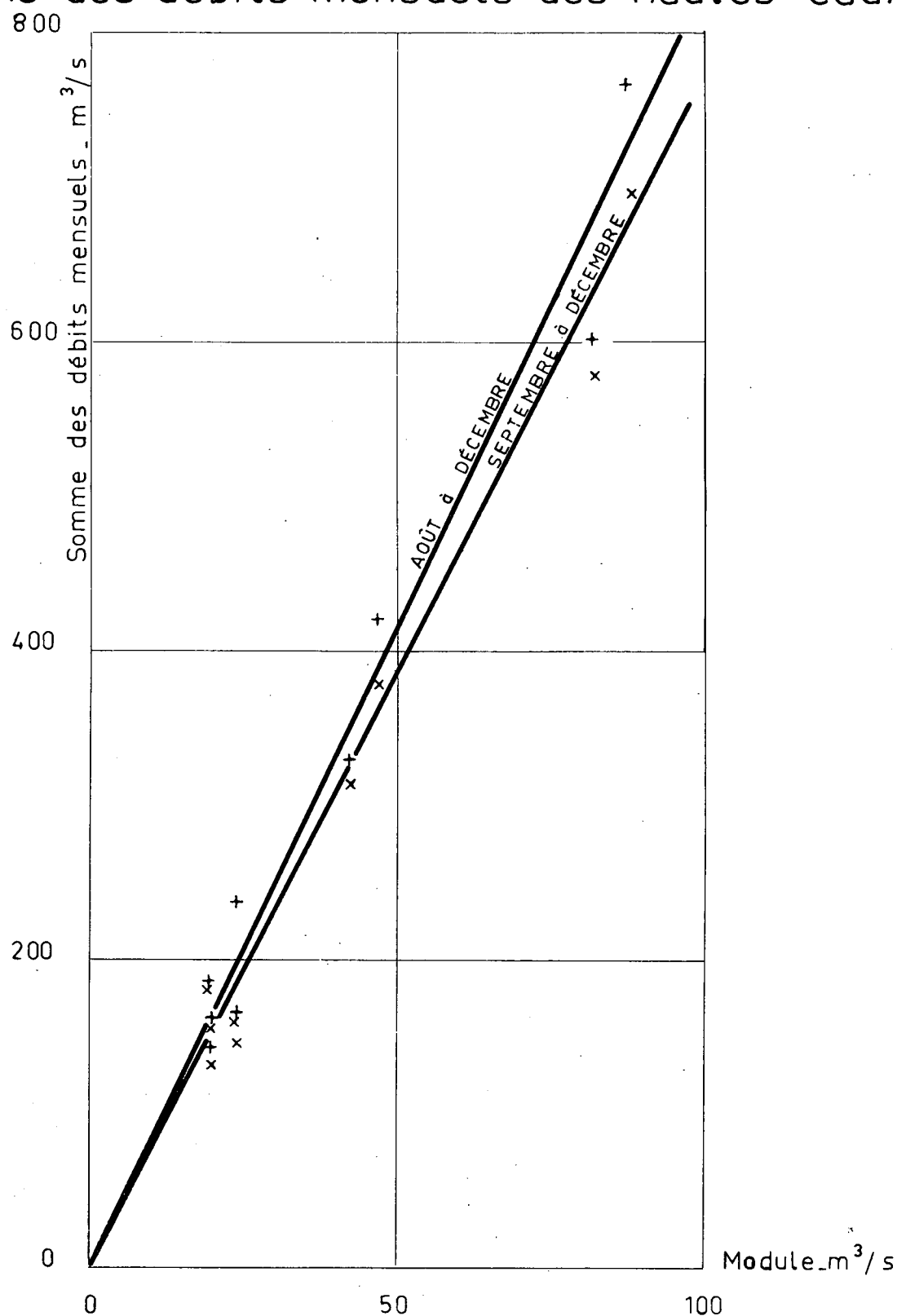
3.3 BASSES EAUX

L'étude des basses eaux de l'EL-BEID est malaisée pour deux raisons. D'une part, les observations limnimétriques ont très souvent été interrompues pendant les mois d'étiage. D'autre part, les faibles débits n'ont pas été mesurés et se prêtent mal à des mesures précises par suite de la lenteur de l'écoulement. La présence de nombreux barrages à poissons construits tous les ans par les riverains en saison sèche est également un facteur d'imprécision. L'extrapolation de la courbe d'étalonnage de FOTOKOL vers les faibles débits est donc assez douteuse surtout au-dessous de 1 m³/s.

Corrélation du module et de la somme des débits mensuels des hautes-eaux

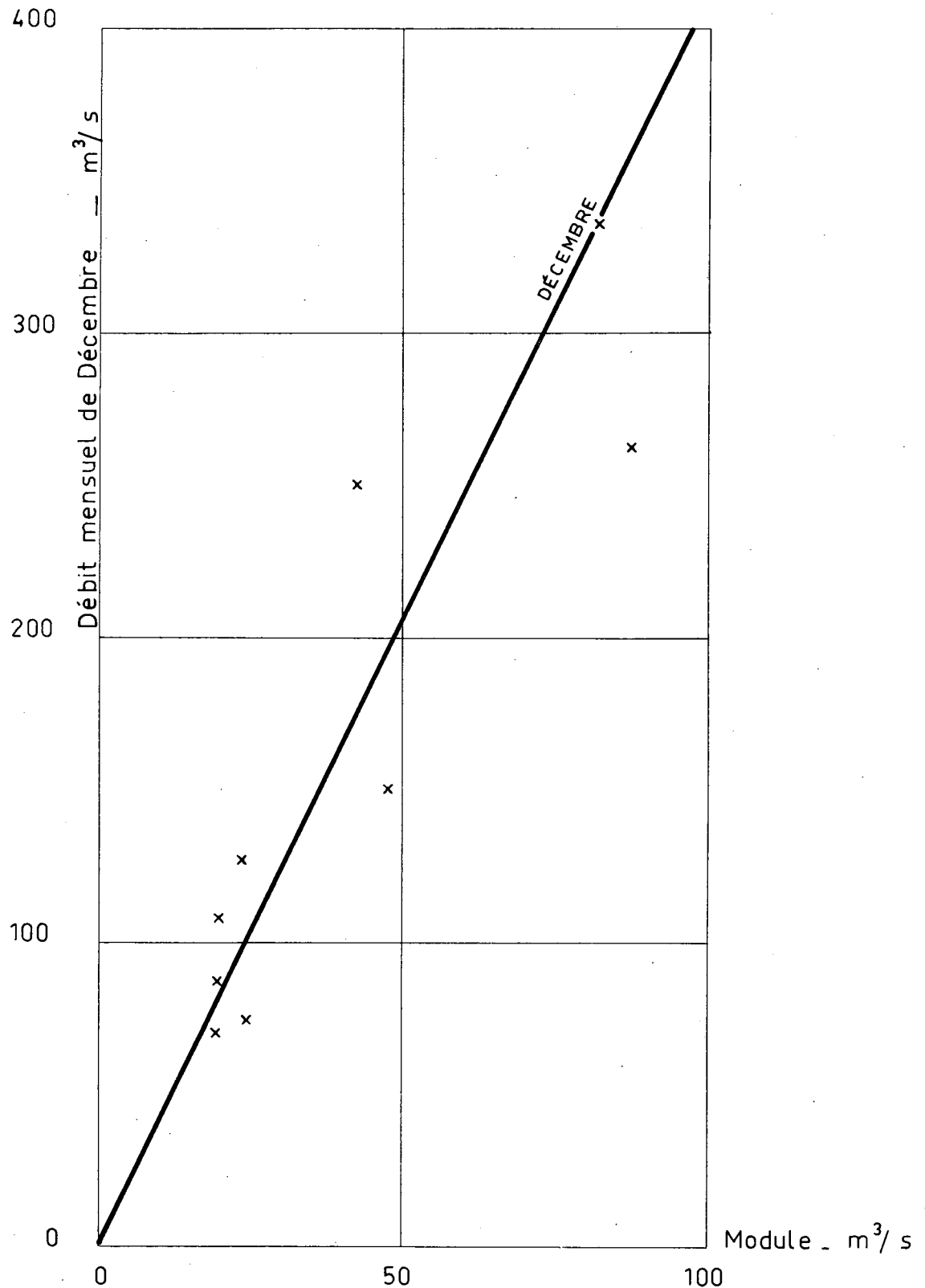


Corrélation du module et
de la somme des débits mensuels des hautes-eaux



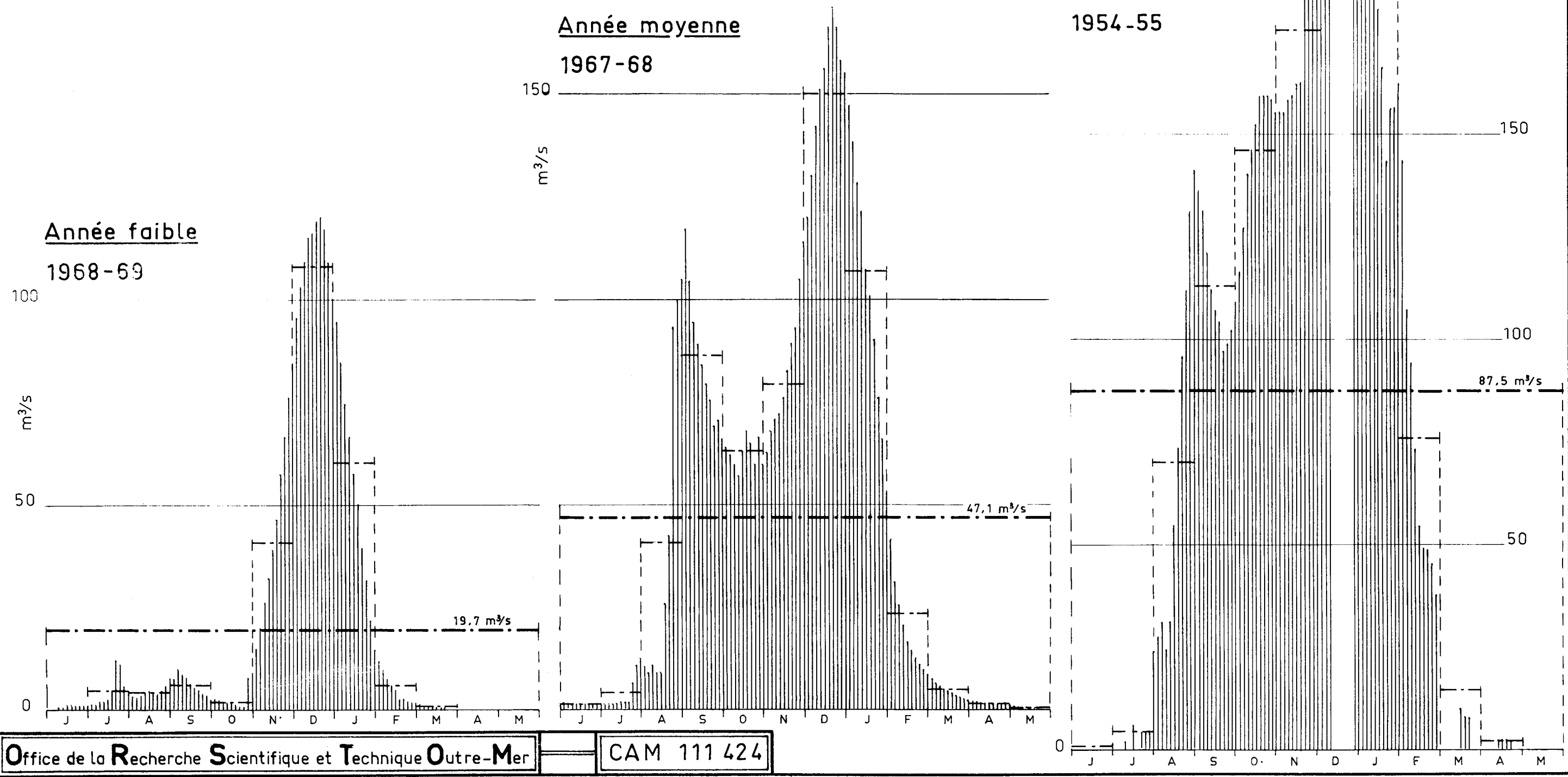
+ Août à Décembre — x Septembre à Décembre

Corrélation du module et
du débit mensuel de décembre (hautes-eaux)



L'EL BEID à FOTOKOL - GAMBAROU

Débits moyens journaliers



Il serait illusoire d'étudier dans le détail la courbe de décroissance des débits de basses eaux et de chercher à déterminer un coefficient de tarissement. Disons seulement qu'après le maximum annuel qui se produit généralement en Décembre, la décrue en Janvier est d'autant plus rapide que la crue a été moins forte. Le débit tombe à moins de 5 m³/s entre le 10 Février et le 31 Mars.

Il semble bien que deux mois plus tard, c'est-à-dire en Avril ou Mai, le débit devienne rigoureusement nul presque tous les ans. On sait au moins de façon certaine qu'à la fin d'Avril 1969 et en Mars 1965 il n'y avait aucun écoulement et qu'il subsistait seulement des mares d'eau stagnante dans le lit de l'EL-BEID. Il est assez probable qu'il en a été de même à certains étiages, comme ceux de Mai 1967 et Mai 1968, bien que les relevés de débits de ces mois-là accusent un léger écoulement. Il s'agit vraisemblablement d'une imprécision de l'étalonnage.

On peut admettre, sous réserve de vérification ultérieure, qu'en année moyenne le débit d'étiage absolu et le débit caractéristique d'étiage sont nuls. Il faut vraisemblablement la conjonction d'une crue précédente forte et d'une saison des pluies précoce pour que l'écoulement ne s'annule pas complètement en Mai.

3.4 CRUES

Les débits maximaux annuels sont connus de façon plus ou moins approximative sur une période de 16 ans à la station de FOTOKOL.

Le classement de ces débits de crue et l'utilisation de la formule :

$$F \% = \frac{100 r}{N + 1}$$

permettent de déterminer leur fréquence de dépassement, comme indiqué dans le tableau ci-après :

: Rang :	Année :	Débit de crue :	Fréquence et :
: r :	:hydrologique:	(m ³ /s)	dépassement F (%) :
: 1 :	1955-1956 :	354 :	5,9 :
: 2 :	1961-1962 :	299 :	11,8 :
: 3 :	1962-1963 :	299 :	17,6 :
: 4 :	1960-1961 :	291 :	23,5 :
: 5 :	1954-1955 :	278 :	29,4 :
: 6 :	1956-1957 :	264 :	35,3 :
: 7 :	1963-1964 :	262 :	41,2 :
: 8 :	1959-1960 :	207 :	47,1 :
: 9 :	1967-1968 :	171 :	52,9 :
: 10 :	1964-1965 :	166 :	58,8 :
: 11 :	1966-1967 :	154 :	64,7 :
: 12 :	1953-1954 :	127 :	70,6 :
: 13 :	1968-1969 :	120 :	76,5 :
: 14 :	1958-1959 :	104 :	82,4 :
: 15 :	1957-1958 :	87,5 :	87,2 :
: 16 :	1965-1966 :	79,5 :	94,1 :

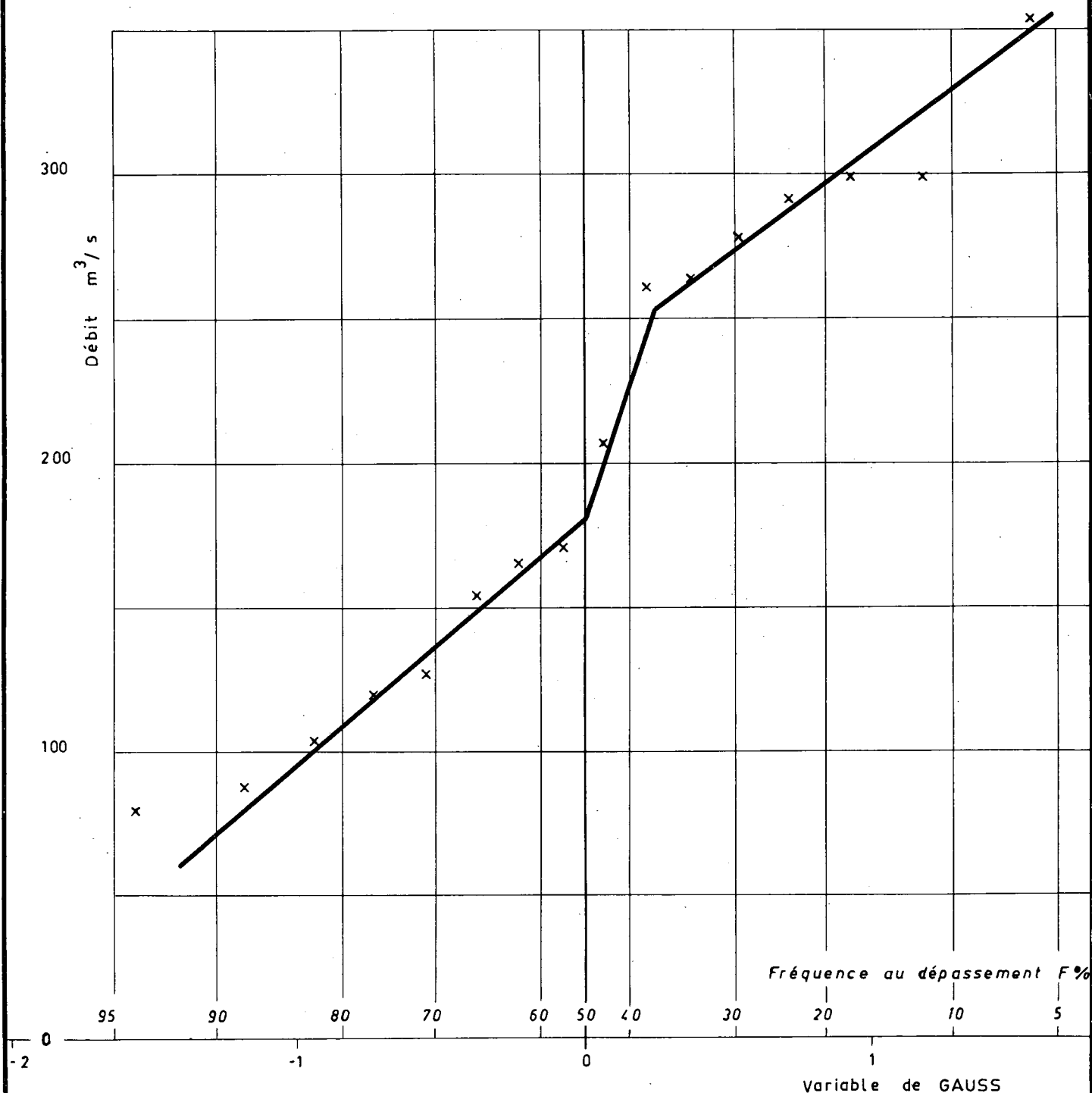
Le report des débits de crue en fonction de leur fréquence sur un graphique gaussien-linéaire (graphique 9) montre que les faibles crues et les fortes crues ne semblent pas obéir à la même loi de fréquence. Il n'est pas possible, en effet, d'ajuster graphiquement aux points obtenus une droite unique ou une courbe de forme simple. Ce fait doit être attribué à la genèse complexe des crues de l'EL-BEÏD qui sont formées essentiellement par les débordements du LOGONE et ceux du CHARI inférieur.

L'échantillon des crues observées est trop restreint pour qu'on puisse étudier avec précision leurs lois de fréquence. Nous avons adopté deux droites d'ajustement approximatives, l'une valable pour les fréquences de dépassement inférieures à 40 %, l'autre pour les fréquences supérieures à 50 %. Elles conduisent aux valeurs suivantes :

- crue médiane = 180 m³/s
- crue décennale = 330 m³/s
- crue vicennale = 355 m³/s environ

L'EL .BEID à FOTOKOL - GAMBAROU

Distribution statistique des crues



Le débit spécifique de la crue médiane serait de $14,5 \text{ l/s.km}^2$, si l'on pouvait tenir pour significative la notion de bassin versant dans le cas de l'EL-BEID. Malgré les apports complémentaires du LOGONE et du CHARI, ce débit spécifique est faible pour un régime de type tropical. L'absence de relief de la plus grande partie du bassin et la lenteur d'écoulement dans les plaines inondées provoquent un amortissement très sensible de la crue annuelle.

Le maximum se produit presque toujours dans le courant de Décembre et dans 60 % des cas entre le 10 et le 20 de ce mois. Le maximum est quelquefois plus précoce et peut apparaître dès le 15 Novembre. Les maximums les plus tardifs ne se sont pas produits après le 25 Décembre. Le maximum de l'année hydrologique 1953-1954 est très particulier : il a eu lieu exceptionnellement entre le 18 et le 22 Août. Il a été dû non pas aux apports du LOGONE et du CHARI, comme c'est le cas habituel, mais à un ruissellement propre du bassin versant probablement sur le versant Nord du massif du MANDARA.

3.5 MODULES

L'absence de continuité des observations limnimétriques à FOTOKOL fait que les modules de cette station ne sont bien connus que pour neuf années. Pour les sept autres années de la période d'observations nous avons été réduits à estimer les modules à partir de corrélations entre les modules et les débits moyens des mois de hautes eaux, comme nous l'avons déjà indiqué. Ces estimations ont une précision de l'ordre de 10 à 15 %, sauf celle de 1957-1958 qui est basée sur le seul mois de Décembre et n'est de ce fait valable qu'à 30 % près environ.

Le classement des modules ainsi obtenus et le calcul de leur fréquence de dépassement donnent les résultats qui sont consignés dans le tableau ci-après.

Des données de ce tableau on peut déduire le module moyen interannuel $\bar{Q}$, l'écart-type σ et le coefficient de variation C_v :

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= 45,3 \text{ m}^3/\text{s} \\ \sigma &= 24,2 \text{ m}^3/\text{s} \\ C_v &= \frac{\sigma}{\bar{Q}} = 0,53\end{aligned}$$

: Rang :	Année :	Module :	Fréquence de :
: r :	hydrologique:	(m ³ /s)	dépassement F (%) :
: 1 :	1954-1955 :	87,5	5,9
: 2 :	1955-1956 :	82	11,8
: 3 :	1956-1957 :	75	17,6
: 4 :	1961-1962 :	72	23,5
: 5 :	1960-1961 :	61	29,4
: 6 :	1963-1964 :	53,5	35,3
: 7 :	1967-1968 :	47,1	41,2
: 8 :	1959-1960 :	45	47,1
: 9 :	1962-1963 :	42,5	52,9
: 10 :	1964-1965 :	34,5	58,8
: 11 :	1953-1954 :	24,1	64,7
: 12 :	1966-1967 :	23,5	70,6
: 13 :	1968-1969 :	19,7	76,5
: 14 :	1958-1959 :	19,5	82,4
: 15 :	1965-1966 :	19,5	87,2
: 16 :	1958-1959 :	19	94,1

Le report des modules en fonction de leur fréquence sur un graphique gaussien-linéaire (graphique 10) montre que la distribution statistique des modules suit assez bien une loi normale de GAUSS, sauf pour les modules de faible valeur. Il est, en effet, possible d'ajuster convenablement une droite à tous les points du graphique qui correspondent à une fréquence de dépassement inférieure à 70 %. Au-delà de cette fréquence on est conduit à tracer une droite d'ajustement quasi horizontale, qui tend à indiquer que les modules ne pourraient pratiquement guère descendre au-dessous de 19 m³/s.

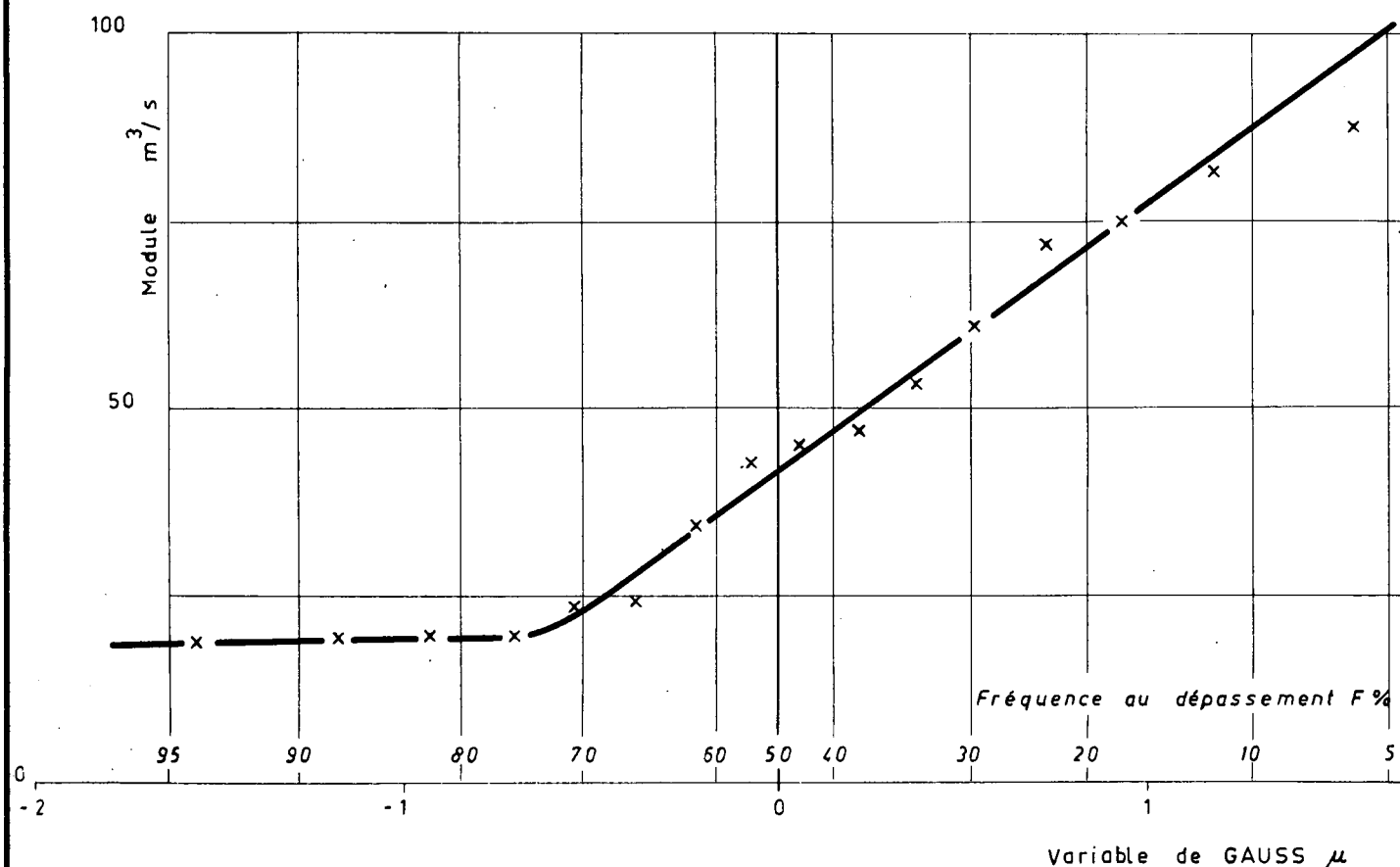
De l'ajustement graphique on déduit les valeurs suivantes :

- module médian : 42 m³/s
- module décennal sec : 19 m³/s
- module décennal humide : 87 m³/s
- irrégularité interannuelle : $K_3 = \frac{87}{19} = 4,57$

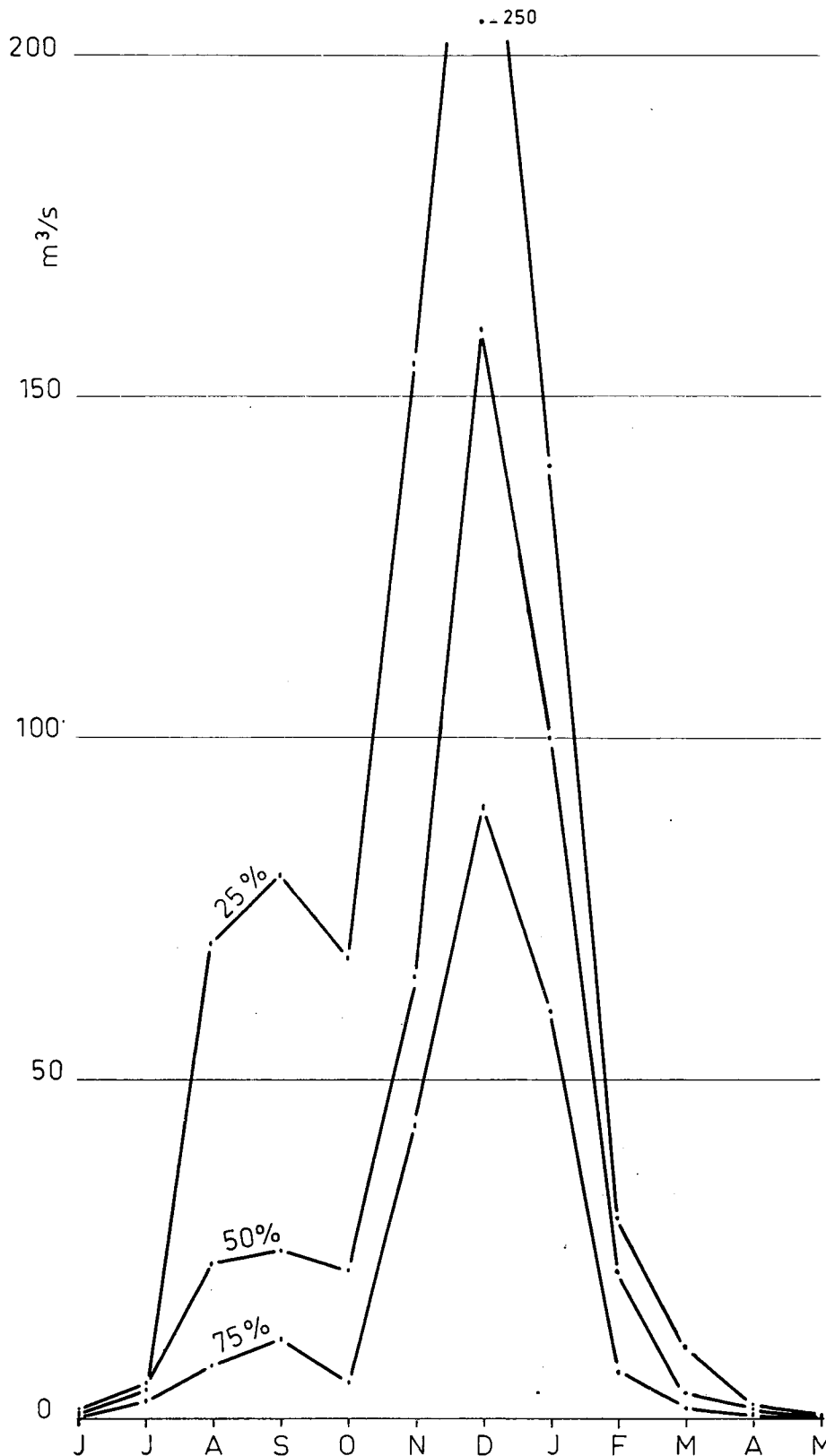
Le module médian est un peu inférieur au module moyen, du fait que la distribution n'obéit pas à une loi normale complète.

L'EL BEID à FOTOKOL - GAMBAROU

Distribution statistique des modules annuels



Débits mensuels correspondant
aux fréquences de dépassement 25,50 et 75%



Compte tenu de la superficie d'environ $12\,500\text{ km}^2$ du bassin versant apparent de l'EL-BEID, le module spécifique médian serait voisin de $3,4\text{ l/s.km}^2$. Cette valeur est forte pour un bassin très plat, mal drainé et soumis à un climat tropical à tendance sahélienne. Il semble bien qu'au moins la moitié, sinon les trois quarts du volume annuel écoulé à FOTOKOL proviennent des déversements du LOGONE et du CHARI.

La lame d'eau apparente écoulee en année médiane est de 105 mm. Rapportée à la pluviométrie moyenne du bassin qui a été évaluée à 700 mm, elle conduit à un déficit d'écoulement de 595 mm et à un coefficient d'écoulement de 15 %. Si l'EL-BEID n'était pas alimenté par le LOGONE et le CHARI, son coefficient d'écoulement ne dépasserait vraisemblablement pas 5 %.

Traduits en volumes les apports de l'EL-BEID en année médiane sont de $1,33 \times 10^9\text{ m}^3$ à la station de FOTOKOL. On peut admettre qu'à l'embouchure les apports annuels sont très sensiblement équivalents. La participation de l'EL-BEID à l'alimentation du lac TCHAD apparaît donc modeste et ne représente que 3,3 % de celle du CHARI ($40,4 \times 10^9\text{ m}^3/\text{an}$).

Avec un coefficient K_3 de 4,5 l'irrégularité annuelle des modules est relativement faible pour un régime tropical à tendance sahélienne. Les apports du LOGONE et du CHARI ont une influence plutôt régulatrice sur le régime de l'EL-BEID.

3.6 DEBITS MOYENS MENSUELS

Les débits mensuels observés ou reconstitués de la station de FOTOKOL ont été classés de façon à déterminer pour les douze mois de l'année les débits correspondant aux fréquences de dépassement 25, 50 et 75 %. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau VII a) et sont représentés par le graphique 11.

En valeur relative l'irrégularité interannuelle est maximale pour les mois d'Août et Septembre, pendant lesquels se produit la première crue qui est due au ruissellement propre du bassin versant apparent. Parfois cette crue est à peine marquée, tandis que certaines années elle prend une amplitude notable. Il peut même arriver exceptionnellement, comme ce fut le cas en 1953, que le débit mensuel d'Août dépasse celui de Décembre.

TABLEAU VII

EL-BEID à FOTOKOLa) Débits mensuels de diverses fréquences (m^3/s)

Fréquence :	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	
de dépassement (%) :													
25	1,4	5,5	70	80	68	155	250	140	30	11	2	0,7	(1)
50	1	4,3	23	25	22	65	160	100	22	3,7	1,5	0,1	(1)
75	0,9	2,4	8	12	5,5	43	90	60	7	2	0,7	0	

(1) = probablement surestimés

b) Coefficients mensuels interannuels

J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
0,2	0,75	6,8	7,65	7,3	17,7	32,4	20,45	5,4	1,05	0,25	0,05

En valeur absolue l'irrégularité interannuelle est maximale en Décembre, mois pendant lequel culmine la deuxième crue annuelle engendrée par les débordements du LOGONE et du CHARI. Cette crue est toujours bien marquée, mais pendant les seize années d'observations le débit moyen de Décembre a varié entre 75 et 335 m³/s.

Nous avons cherché à savoir lequel des deux cours d'eau, LOGONE et CHARI inférieur, avait le plus d'influence sur la deuxième crue de l'EL-BEÏD. Pour cela nous avons étudié la corrélation des débits moyens de Décembre à FOTOKOL avec les modules du LOGONE à BONGOR d'une part, et les modules du CHARI à FORT-LAMY, d'autre part (voir tableau VIII et graphiques 12 et 13). On aboutit à un coefficient de corrélation assez élevé et identique dans les deux cas ($r = 0,88$), ce qui tend à indiquer que les deux cours d'eau ont une influence assez nette et d'importance sensiblement équivalente en moyenne.

L'allure générale des variations saisonnières des débits de l'EL-BEÏD est bien mise en évidence par les coefficients mensuels interannuels, calculés par l'expression :

$$c = \frac{100 q_i}{12 Q}$$

q_i étant le débit moyen d'un mois considéré et Q le module interannuel.

Ces coefficients, qui sont figurés sur le tableau VII b) et le graphique 14, représentent le pourcentage moyen des apports annuels écoulé pendant le mois considéré. On voit ainsi que 70 % de l'écoulement annuel se produisent en trois mois (Novembre à Janvier) et 97,7 % en sept mois (Août à Février).

TABLEAU VIII

EL-BEID à FOTOKOL

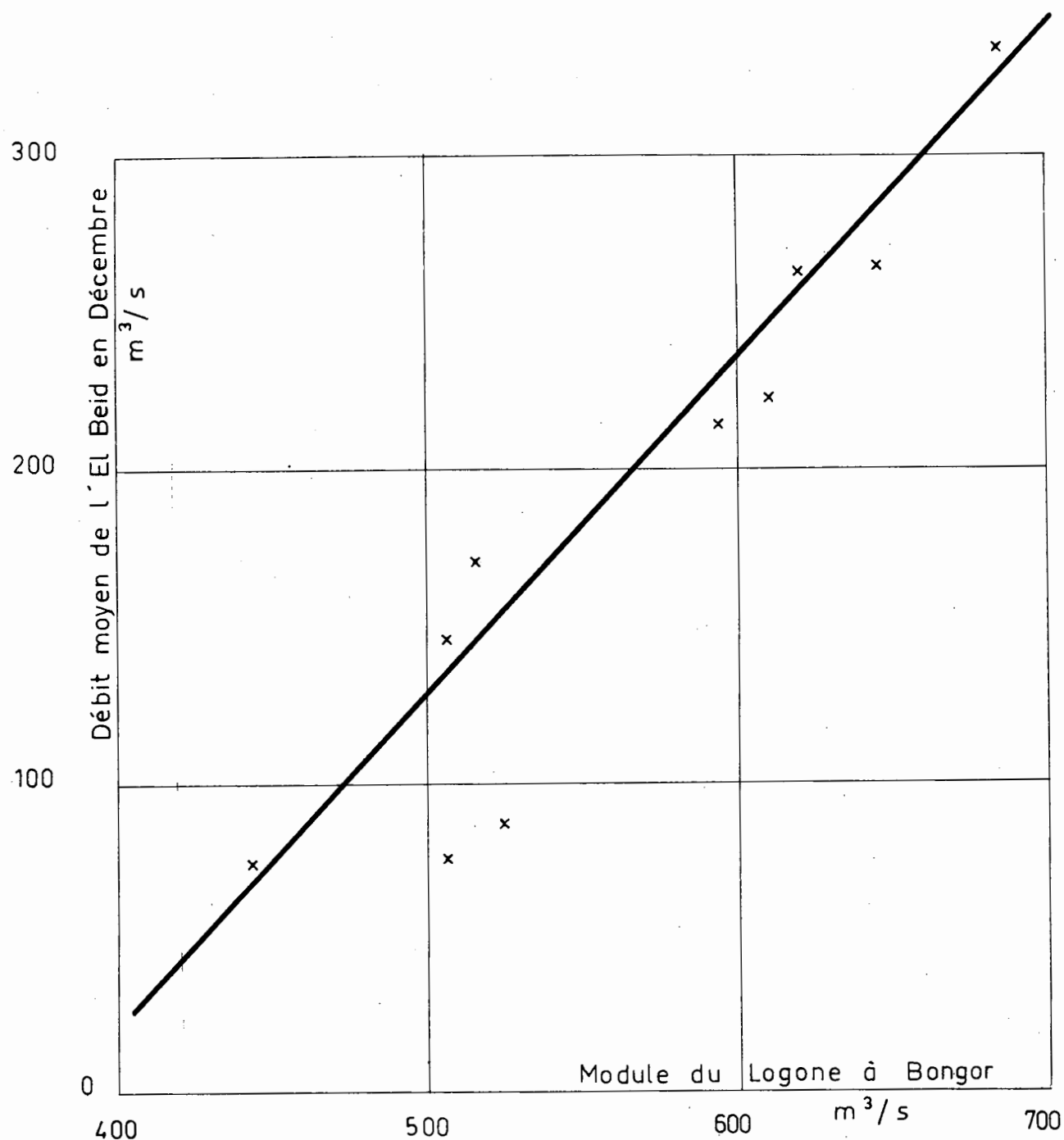
Corrélation des débits moyens de Décembre
avec les modules du CHARI à FORT-LAMY
et les modules du LOGONE à BONGOR

: Année :	: Débits Décembre : EL-BEID à FOTOKOL :	: Modules : CHARI à FORT-LAMY :	: Modules : LOGONE à BONGOR :
: hydrologique :	: y :	: x :	: x ² :
: 1953-1954 :	: 75,1 :	: 1 210 :	: 443 :
: 1954-1955 :	: 263 :	: 1 560 :	: 621 :
: 1955-1956 :	: 335 :	: 1 720 :	: 685 :
: 1956-1957 :	: 244 :	: 1 530 :	: 565 :
: 1957-1958 :	: 76,4 :	: 1 110 :	: 507 :
: 1958-1959 :	: 87,6 :	: 1 090 :	: 525 :
: 1959-1960 :	: 171 :	: 1 270 :	: 516 :
: 1960-1961 :	: 265 :	: 1 410 :	: 646 :
: 1961-1962 :	: 222 :	: 1 700 :	: 611 :
: 1962-1963 :	: 251 :	: 1 640 :	: 548 :
: 1963-1964 :	: 215 :	: 1 343 :	: 595 :
: 1964-1965 :	: 147 :	: 1 407 :	: 507 :
: 1965-1966 :	: 71,2 :	: 916 :	: - :
: 1966-1967 :	: 127 :	: 1 080 :	: - :

$$\begin{array}{lcl}
 \bar{x} & = & 1\ 356 \\
 \bar{y} & = & 182 \\
 k_{xy} & = & 0,298 \\
 r_{xy} & = & 0,88
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{lcl}
 \bar{x}^2 & = & 564 \\
 \bar{y} & = & 196 \\
 k_{x^2y} & = & 1,074 \\
 r_{x^2y} & = & 0,88
 \end{array}$$

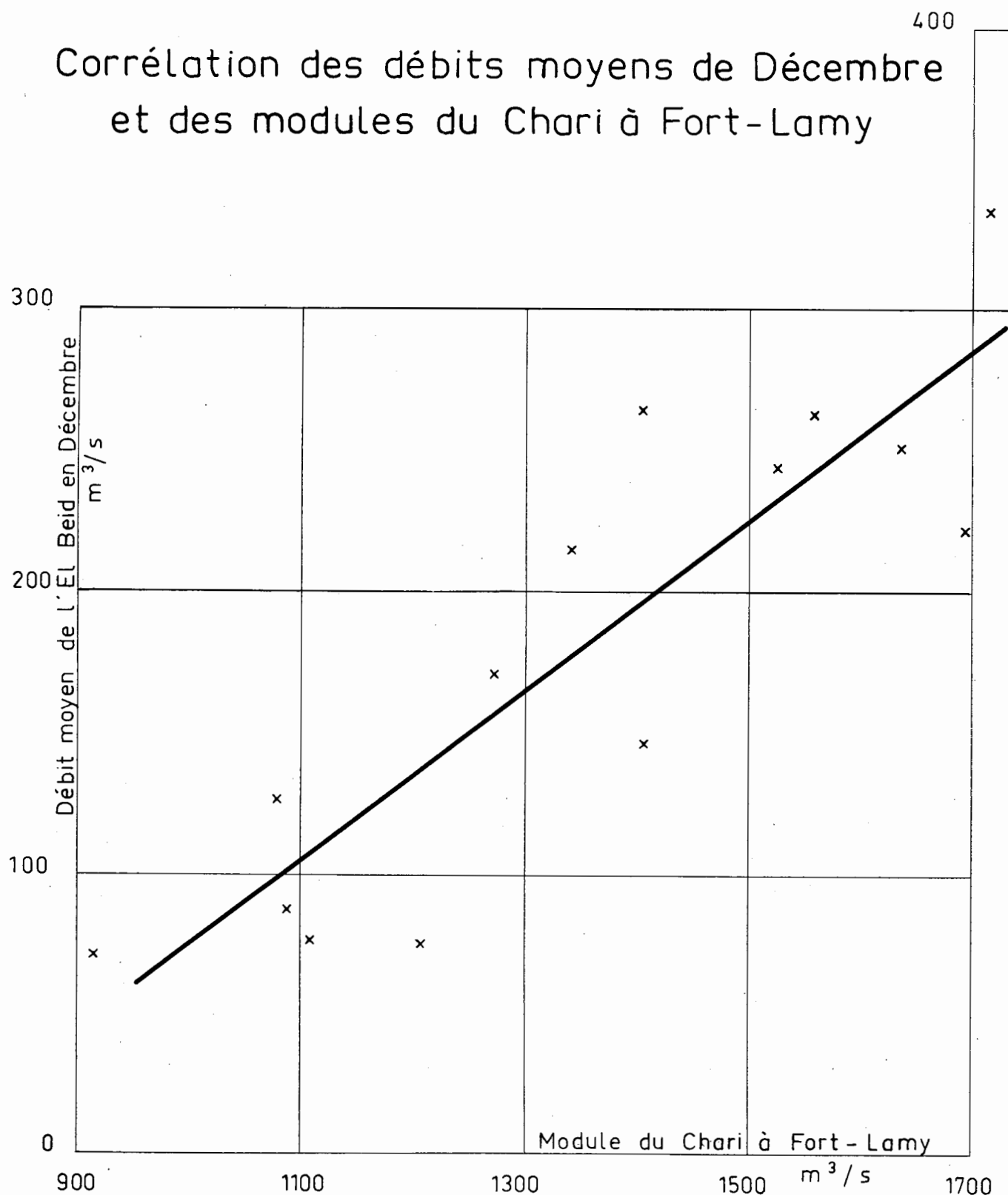
L'EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Corrélation des débits moyens de Décembre
et des modules du Logone à Bongor



L'EL BEID à FOTOKOL - GAMBAROU

Corrélation des débits moyens de Décembre
et des modules du Chari à Fort-Lamy



L'EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Coefficients mensuels interannuels



RECAPITULATION des PRINCIPALES DONNEES HYDROLOGIQUES

- EL-BEID à FOTOKOL
- Superficie du bassin versant apparent : 12 500 km² environ
(liaisons mal connues avec bassins du LOGONE et du CHARI)
- Pluviométrie moyenne : 700 mm/an

MODULE

- Valeur médiane : 42 m³/s
- Valeur décennale sèche : 19 m³/s
- Valeur décennale humide : 87 m³/s

CRUE

- Valeur médiane : 180 m³/s
- Valeur décennale : 330 m³/s
- Valeur vicennale : 355 m³/s environ

ETIAGE

- Débit nul ou presque nul

DEBITS MOYENS MENSEULS (m³/s)

J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1	4	36,8	41,6	39,6	95,8	176	111	29,2	5,8	1,5	0,3

D E U X I E M E P A R T I E

La KOMADOU-GOU-YOBE

CHAPITRE 1

DONNEES GEOGRAPHIQUES et PLUVIOMETRIQUES

1.1 SITUATION et DESCRIPTION du BASSIN VERSANT

La KOMADOUGOU-YOBE et ses affluents coulent entièrement sur le territoire du NIGERIA. Ce n'est que sur les cent cinquante derniers kilomètres de son cours que la KOMADOUGOU-YOBE touche le territoire de la République du NIGER dont elle constitue l'une des frontières. Les observations et mesures hydrologiques dont nous disposons concernent exclusivement cette partie inférieure du cours. Nous donnerons néanmoins une description rapide de l'ensemble du bassin versant d'après les documents cartographiques que nous possédons, à savoir :

- Carte du NIGERIA au 1/1 750 000^e du Survey Department -
- Carte du bassin tchadien au 1/5 000 000^e établie par le Projet REG 71 PNUD-UNESCO, carte qui nous a été aimablement communiquée avant la publication du rapport général du Projet -
- Carte de la République du NIGER au 1/200 000^e de l'IGN (feuilles de MAINE-SOROA et de BOSO) -

Au Nord et à l'Est le bassin versant de la KOMADOUGOU-YOBE est bordé par des régions aréïques ou localement endoréïques, sans relief notable, où il n'est pas possible de déterminer nettement une ligne de partage des eaux.

Au Sud et à l'Ouest, par contre, un relief assez marqué permet aisément de délimiter le bassin versant de la KOMADOUGOU-YOBE. Les bassins limitrophes sont : au Sud celui de la GONGOLA, affluent de la BENOUE, au Sud-Ouest celui de la KADUNA, affluent du NIGER et à l'Ouest celui de la SOKOTO, également affluent du NIGER.

La superficie totale du bassin de la KOMADOUGOU-YOBE n'est pas bien définie pour les raisons déjà indiquées. Si l'on admet cependant une limite quelque peu arbitraire qui au Nord suit le tracé de la frontière entre le NIGERIA et le NIGER et à l'Est passe au voisinage de DAMATURU et GUBIO, on obtient une surface totale d'environ 120 000 km².

Ce bassin versant qui a une forme allongée suivant un axe Sud-Ouest - Nord-Est, est encadré par :

les méridiens	7°25'	et	13°25' E
et les parallèles	9°55'	et	13°45' N

Dans l'ensemble le relief est très plat, sauf dans l'Ouest et surtout le Sud-Ouest du bassin. L'altitude atteint 600 m sur la bordure occidentale et elle culmine à environ 1 500 m sur le plateau de JOS à l'extrémité Sud-Ouest du bassin.

1.2 RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La partie centrale du bassin versant est occupée par une zone marécageuse allongée qui couvre quelque 10 000 km² et qui, traversée par de nombreux bras entrelacés, constitue une sorte de delta intérieur.

Ce delta est alimenté par deux branches principales : le KOGIN WUDIL, formé de la CHALAWA et de la KANO, qui vient de l'Ouest du bassin et le JAMAARE, formé de l'IGGI et de la BUNGA, qui est issu du Sud-Ouest du bassin.

A la sortie de la zone deltaïque dont le BURUM GANA est l'un des principaux bras, la KOMADOUGOU-YOBE très affaiblie se dirige vers le Nord-Est et commence peu après à constituer la frontière du NIGER. Elle reçoit ensuite sur sa rive droite la KOMADOUGOU-GANA qui vient de la région de BAUCHI et subit elle aussi des pertes importantes dans des zones marécageuses qui communiquent plus ou moins avec le delta intérieur dans la région de GEIDAM. "KOMADOUGOU-GANA" signifie d'ailleurs "la rivière vide" en KANOURI.

Depuis sa sortie du delta intérieur jusqu'à son embouchure dans le lac TCHAD, la KOMADOUGOU-YOBE décrit de nombreux méandres au milieu d'une plaine d'inondation qui atteint souvent une largeur de 10 km. Cependant sur les cinquante derniers kilomètres de son cours, le lit de la KOMADOUGOU-YOBE tend nettement à s'amenuiser tout en restant très sinueux. A BOSO, qui est à 6 km du lac, la largeur du lit apparent n'est plus que de 5 à 10 mètres, tandis que celle du lit majeur encombré d'herbes varie de 50 à 100 mètres. Le lit apparent est sableux et se présente à la fin de la saison sèche sous la forme d'une succession de mares sans écoulement. Les berges du lit apparent sont franches et hautes de 2 mètres par rapport au lit majeur; elles atteignent 3 à 5 mètres lorsqu'elles bordent des terres non inondables.

1.3 SOL et VEGETATION

Le socle cristallin d'âge précambrien affleure dans la partie Ouest et Sud-Ouest du bassin qui est drainée par les rivières CHALANA, KANO, IGGI, BUNGA et le cours supérieur de la KOMADOU-GOU-GANA. Le socle cristallin correspond aux régions où le relief est notable.

Le reste du bassin versant, très plat, est couvert de formations alluviales à prédominance sableuse ou argileuse qui sont d'origine fluviale ou lagunaire.

Il est à noter que le bassin versant de la KOMADOU-GOU est traversé, suivant un axe approximatif reliant MAINE-SOROA à MAIDUGURI, par le cordon dunaire qui bordait l'ancienne mer intérieure tchadienne dont le niveau était à 320 m d'altitude entre 5 000 et 6 000 ans B.P.

La couverture végétale est constituée sur les trois-quarts du bassin versant par une savane à épineux de plus en plus clairsemée et rabougrie à mesure que l'on progresse vers le Nord.

Le quart Sud-Ouest du bassin, limité approximativement par une ligne passant à 50 km du Nord-Est de BAUCHI et à 50 km au Sud-Ouest de KANO, est couvert d'une savane boisée.

Enfin, à l'extrême pointe Sud-Ouest du bassin, sur une surface de l'ordre de 1 000 km² on rencontre la prairie du plateau de JOS.

Les cultures (arachides et mil) sont assez développées dans la moitié Ouest du bassin dont la densité de population est fréquemment supérieure à 50 habitants/km² et atteint même 120 habitants/km² dans la région de KANO.

1.4 PLUVIOMETRIE

Les données pluviométriques que nous avons pu recueillir sur le bassin de la KOMADOU-GOU-YOBE sont assez maigres. Elles se réduisent à une carte pluviométrique sommaire du NIGERIA donnant l'allure des isohyètes en année moyenne et à des relevés moyens mensuels de quatre stations nigérianes, dont deux sont situées à l'intérieur du bassin et deux dans son voisinage. Nous y avons joint trois stations situées au NIGER et nous sommes inspirés de la carte pluviométrique de Y. BRUNET-MORET établie pour les Etats francophones de l'Afrique de l'Ouest. En résumé, les stations utilisées sont les suivantes :

Stations	Latitude Nord	Longitude Est	Altitude (m)	Pluviométrie moyenne mm/an
<u>NIGERIA</u>				
JOS	9°52'	8°53'	1 290	1 490
KANO	12°02'	8°30'	470	855
KATSINA	13°00'	7°37'	540	720
MAIDUGURI	11°51'	13°10'	300	645
<u>NIGER</u>				
MAÏNE-SOROA	13°14'	11°59'	340	418 (19 ans)
GUESKEROU	13°25'	12°48'	290	300 (8 ans)
NGUIGMI	14°15'	13°07'	290	225 (41 ans)

La carte n° 2 montre l'allure des isohyètes interannuelles sur le bassin de la KOMADOUGOU. On voit que la pluviométrie en année moyenne décroît régulièrement du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Elle est d'environ 1 500 mm dans la région de JOS et tombe à quelque 350 mm à l'embouchure de la KOMADOUGOU-YOBE. Sur l'ensemble du bassin versant la pluviométrie moyenne interannuelle est voisine de 800 mm. Nous manquons d'éléments sur l'irrégularité interannuelle des pluies annuelles.

La répartition saisonnière des précipitations est celle du climat tropical classique, modifié au Sud-Ouest du bassin par le relief du plateau de JOS et marqué au contraire vers le Nord-Est par une nette tendance sahé-lienne. La saison des pluies tend ainsi à se raccourcir du Sud au Nord du bassin. A JOS elle s'étend de Mars à Octobre, tandis qu'à NGUIGMI elle ne couvre plus que les mois de Juillet à Septembre. A toutes les stations c'est le mois d'Août qui reçoit en moyenne le plus de précipitations, sauf à JOS où c'est Juillet qui l'emporte.

TABLEAU IX

Pluviométrie moyenne mensuelle

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
JOS	3	3	26	89	246	232	<u>329</u>	299	213	43	3	2	1 488
KANO	0	0	2	9	68	115	203	<u>314</u>	130	13	0	0	854
KATSINA	0	0	1	7	62	92	153	<u>278</u>	117	11	0	0	721
MAIDUGURI	0	0	0	7	41	70	180	<u>221</u>	106	19	0	0	644
MAINE-SOROA	0	0	1	2	20	30	106	<u>182</u>	68	9	0	0	418
GUESKEROU	0	0	0	0	6	19	74	<u>144</u>	47	11			301
NGUIGMI	0	0	0	0	7	6	60	<u>131</u>	19	1	0	0	224

1.5 TEMPERATURE et HUMIDITE

Le tableau n° X montre que les températures moyennes mensuelles passent par un maximum en Mai à la plupart des stations et en Avril à JOS qui, du fait de l'altitude et de sa situation plus méridionale, a un régime de température un peu particulier. La valeur des maximums est comprise entre 25°2 et 33°1. Les températures moyennes minimales (entre 20°3 et 22°9) s'observent en Décembre ou Janvier, sauf à JOS où les plus faibles températures moyennes se produisent en Août, au coeur de la saison des pluies.

Les moyennes mensuelles des maximums diurnes atteignent leurs plus fortes valeurs (de 35°0 à 43°9) entre Mars et Juin suivant les stations. Les plus faibles valeurs (de 28°3 à 35°0) se situent soit en Décembre-Janvier, soit en Août.

Enfin les moyennes mensuelles des minimums nocturnes passent par un maximum (de 15°5 à 25°0) en Avril-Mai ou en Juillet-Août et par un minimum (de 5°6 à 13°7) en Décembre-Janvier.

Dans l'ensemble les températures tendent à croître du Sud-Ouest vers le Nord-Est. C'est respectivement à MAINE-SOROA et à JOS que l'on observe presque toujours les plus faibles et les plus fortes températures moyennes. Cependant, c'est à MAIDUGURI qu'on enregistre les maximums diurnes les plus élevés, tandis que le minimum minimorum est mesuré à KATSINA en Décembre. Les températures de NGUIGMI sont assez voisines de celles de MAINE-SOROA, mais les variations journalières et saisonnières sont légèrement atténuées par la proximité du lac.

En ce qui concerne l'humidité relative nous ne disposons que des moyennes mensuelles pour les stations de KANO, MAINE-SOROA et NGUIGMI (tableau n° XI).

L'humidité est maximale de Juillet à Septembre, époque où elle est en moyenne comprise entre 62 et 75 %. Elle est au contraire minimale de Novembre à Avril où elle ne dépasse pas 30 %, sauf à NGUIGMI à cause de l'influence du lac.

Nous ne possédons aucune mesure d'évaporation sur bac Colorado. Par analogie avec les évaluations faites sur le lac TCHAD, on peut estimer que les pertes par évaporation dans le delta intérieur de la KOMADOUGOU-YOBE sont voisines de 2 mètres par an.

TABLEAU X

Températures mensuelles (en degrés centigrades)

Stations		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
JOS	Moy	20,9	22,5	24,3	25,2	24,0	22,3	20,9	20,3	21,3	22,3	22,2	21,0
	Max	31,1	33,7	35,0	34,4	33,9	32,2	28,9	28,3	28,9	30,6	31,1	31,7
	Min	8,9	9,4	12,8	15,5	13,9	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	10,6	9,5
KANO	Moy	21,6	23,7	27,1	30,3	30,6	29,0	26,2	25,2	25,9	27,1	25,1	22,0
	Max	36,1	38,9	40,0	40,5	41,1	42,8	36,1	33,3	35,0	37,2	37,2	35,5
	Min	8,3	9,5	11,7	17,8	18,9	17,8	18,3	18,3	18,3	15,0	12,8	7,8
KATSINA	Moy	22,1	23,9	27,3	26,5	30,3	26,3	26,2	24,8	25,9	27,0	25,7	21,5
	Max	36,7	36,7	40,0	40,5	41,1	37,8	33,9	32,8	32,8	37,2	37,2	32,8
	Min	7,8	10,6	12,2	10,0	16,1	10,0	17,8	17,8	11,7	12,8	15,0	5,6
MAIDUGURI	Moy	22,4	24,6	29,3	31,2	32,8	29,3	27,1	26,0	27,7	28,8	26,4	23,5
	Max	40,0	39,5	42,2	43,9	43,9	40,5	35,5	35,0	37,2	40,5	40,0	36,1
	Min	7,2	9,4	12,2	16,7	21,1	18,3	18,3	18,3	18,9	17,3	13,9	8,9
MAINE-SOROA	Moy	23,0	24,7	28,5	31,9	33,1	31,9	29,1	27,0	28,8	29,6	26,3	22,9
	Max	33,0	34,5	38,3	41,3	41,2	39,4	34,8	32,0	35,5	38,5	35,8	32,5
	Min	13,1	14,8	18,6	22,6	25,0	24,4	23,3	22,1	22,1	20,7	16,9	13,3
NGUIGMI	Moy	21,4	23,2	27,4	29,9	31,6	31,4	30,5	28,5	29,4	28,4	25,7	22,4
	Max	29,1	31,1	34,9	37,2	38,6	38,4	36,2	33,6	35,3	36,1	33,2	30,3
	Min	13,7	15,2	20,0	22,5	24,6	24,5	24,7	23,5	23,5	20,7	18,1	14,5

TABLEAU XI

Moyennes mensuelles de l'humidité relative (%)

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
KANO	23	16	16	31	47	63	74	72	72	54	26	17	43
MAINE-SOROA	25	22	23	23	43	52	64	75	68	47	28	28	41
NGUIGMI	30	30	28	32	48	54	63	71	62	44	36	36	45

CHAPITRE 2

EQUIPEMENT et MESURES HYDROMETRIQUES

Nous nous limiterons au cours inférieur de la KOMADOU-GOU-YOBE, faute de documentation précise sur le cours moyen et les branches supérieures.

2.1 STATION DE BAGARA

Cette station, accessible par la route ZINDER - NGUIGMI, est située sur le cours inférieur de la KOMADOU-GOU, à environ 95 km à vol d'oiseau de son embouchure dans le lac. Les coordonnées géographiques de la station sont les suivantes :

- latitude : 13°17' N
- longitude : 12°36' E

La superficie du bassin versant est d'environ 100 000 km².

L'échelle a été installée en 1957 par le Service de l'Hydraulique et a été observée de façon intermittente de Juin à Octobre 1957, de Janvier à Décembre 1958 et en Septembre 1959. A partir de Juillet 1962 les observations ont été reprises par l'ORSTOM et assurées convenablement sans graves lacunes jusqu'à ce jour.

Vingt-et-un jaugeages ont été effectués à cette station entre 1962 et 1968. La liste en est donnée ci-dessous :

Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)	Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
12-12-1962	368	76,5	23- 2-1966	58	2,35
6- 2-1963	162	14,0	17-11-1966	290	44,5
7- 2-1963	154	13,5	21- 2-1967	64	2,41
21- 9-1963	260	38,7	6- 1-1968	135	11,7
8- 1-1964	140	12,1	8- 1-1968	125	10,7
11- 3-1964	31	1,05	10- 1-1968	119	9,39
20- 9-1964	287	44,8	13- 1-1968	109	8,45
12-12-1964	368	78,8	12- 2-1968	52	2,56
18-12-1964	391	89,5	18-12-1968	90	6,00
25- 3-1965	60	2,75	18-12-1968	90	6,07
21-12-1965	324	50,8			

La plupart de ces jaugeages ont été effectués à quelques kilomètres en aval de la station, à l'endroit où la piste qui relie DIFFA au NIGERIA franchit par un gué la KOMADOUGOU. Ces jaugeages ont permis de tracer une courbe d'étalonnage qui peut être considérée comme définitive pour les débits inférieurs à 20 m³/s et qui est déjà satisfaisante pour les débits plus importants. Un extrait du barème d'étalonnage est donné ci-dessous :

: Hauteur	: Débit	: Hauteur	: Débit
: (cm)	: (m ³ /s)	: (cm)	: (m ³ /s)
: 0	: 0	: 250	: 34,5
: 50	: 2,3	: 300	: 47
: 100	: 7,2	: 350	: 66
: 150	: 13	: 400	: 96
: 200	: 22		

2.2 STATION de GUESKEROU

Cette station est située à vol d'oiseau à une trentaine de kilomètres en aval de BAGARA et à 65 km environ en amont de l'embouchure de la KOMADOUGOU. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

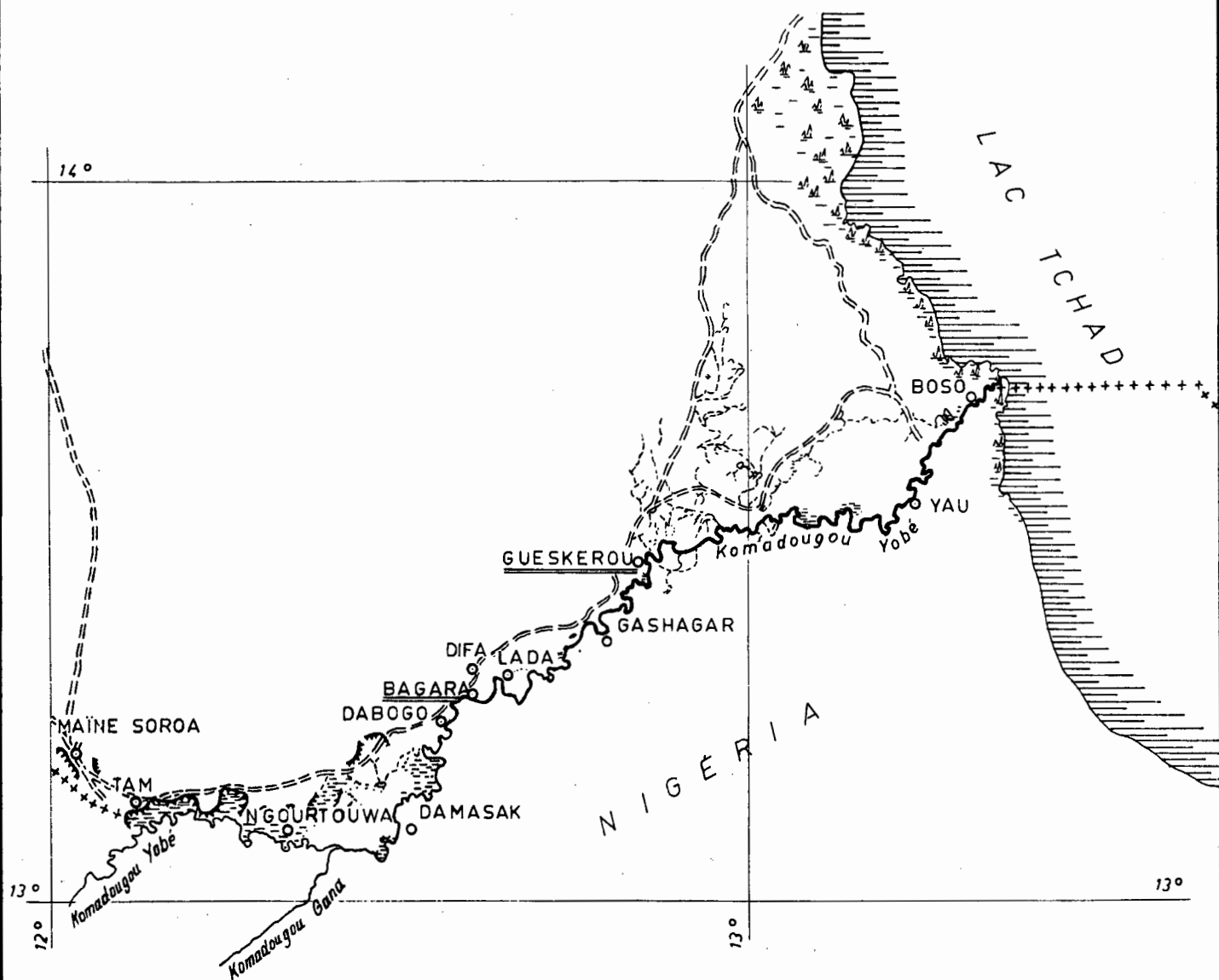
- latitude : 13°29' N
- longitude : 12°51' E

L'échelle a été installée par le Service de l'Hydraulique en Juin 1957 et a été observée régulièrement jusqu'en Décembre 1958. Elle a également été lue pendant quelques mois en 1960. A partir d'Août 1961 les observations ont été reprises par l'ORSTOM et ont été assurées sans discontinuité.

Vingt-sept jaugeages ont été effectués à cette station entre 1957 et 1968, dont la liste est donnée ci-après :

Stations hydrométriques

Cours inférieur de la KOMADOUGOU - YOBÉ

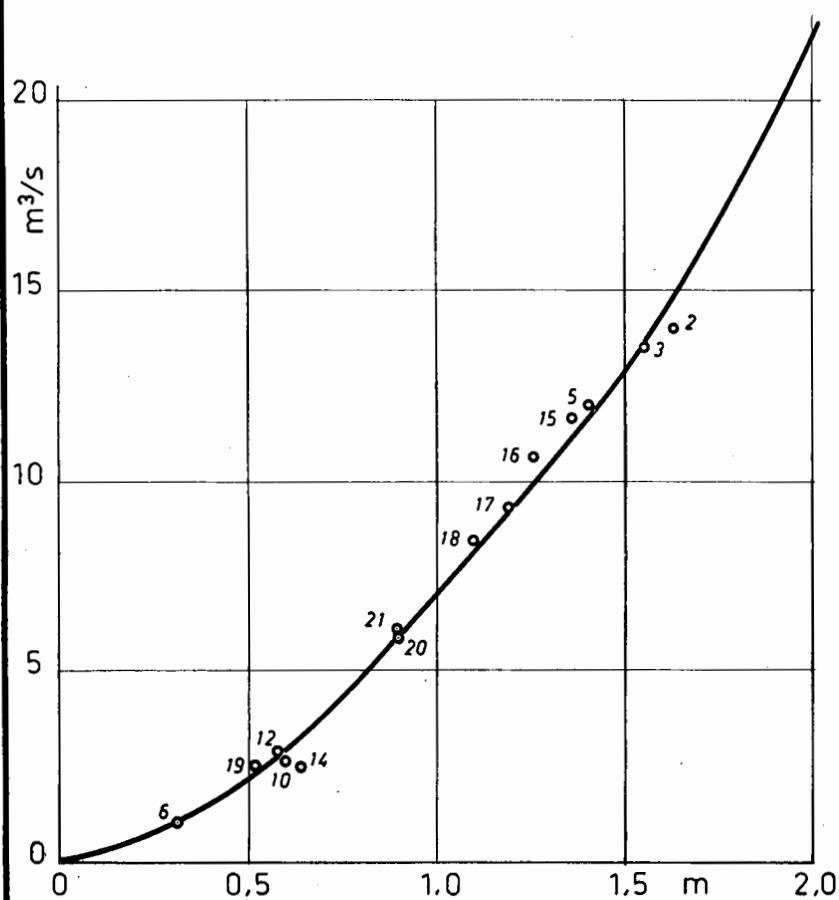


Échelle : 1 / 1 000 000

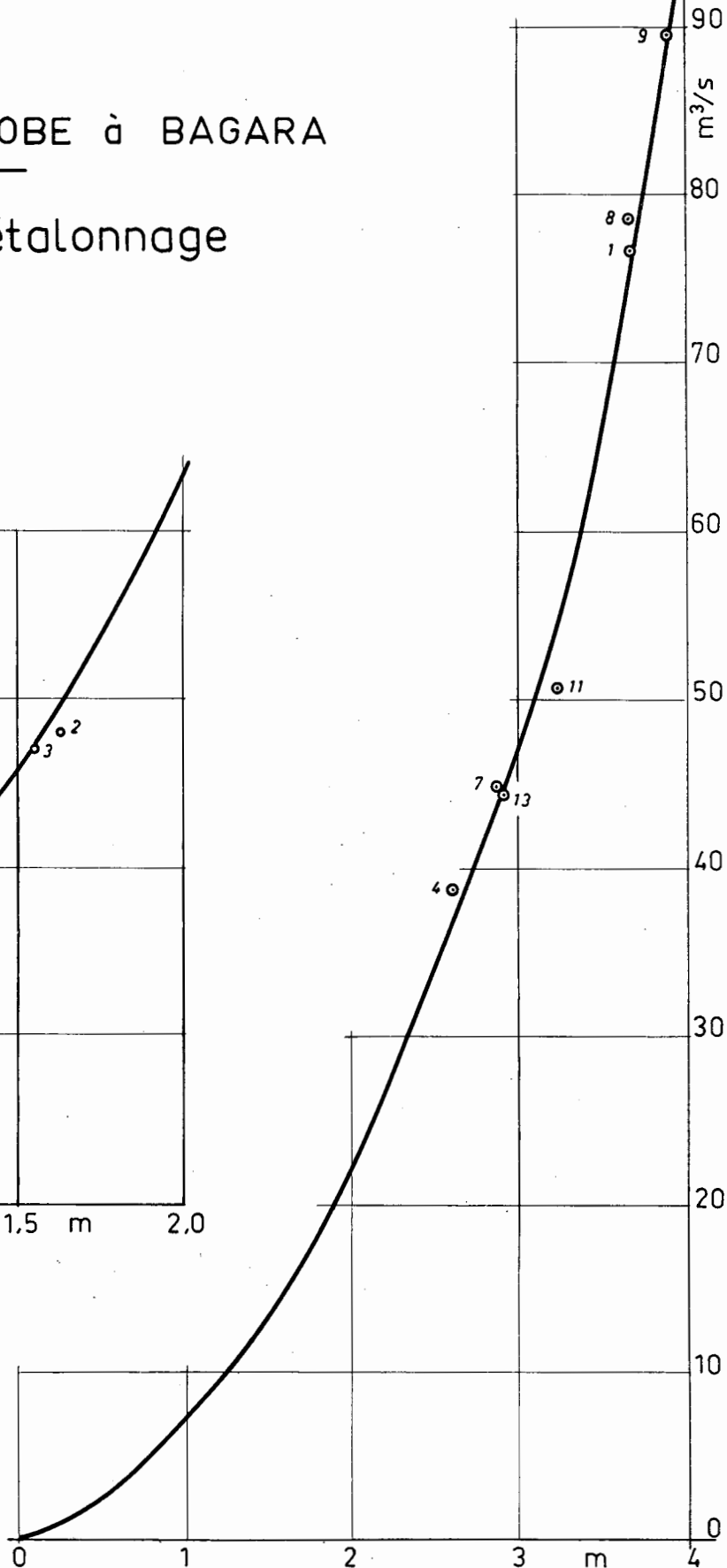
Gr. 16

La KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Courbe d'étalonnage



1	1962
2 - 4	1963
5 - 9	1964
10 - 11	1965
12 - 13	1966
14 - 21	1968



Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)	Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
24- 9-1957	306	25,3	17-11-1966	298	32,6
24-11-1957	307	28,8	23- 2-1967	87	3,58
25-11-1957	307	29,9	7- 1-1968	175	13,3
1- 1-1958	334	34,2	7- 1-1968	173	11,6
13-12-1962	326	35,3	8- 1-1968	168	12,6
6- 2-1963	304	27,0	9- 1-1968	161	11,8
7- 2-1963	299	25,4	9- 1-1968	159	11,5
20- 9-1963	270	29,8	10- 1-1968	153	10,0
8- 1-1964	256	20,9	12- 1-1968	144	9,27
11- 3-1964	42	1,02	13- 1-1968	141	9,36
18-12-1964	343	37,3	14- 2-1968	69	2,84
25- 3-1965	75	2,80	19-12-1968	118	
23-12-1965	316	33,6	19-12-1968	117	
23- 2-1966	74	3,00			

Ces jaugeages ont permis de tracer une courbe d'étalonnage qui est satisfaisante pour les basses et moyennes eaux, mais qui devra être encore précisée vers les hautes eaux. Les jaugeages effectués entre 25 et 35 m³/s présentent une dispersion assez sensible qui tient vraisemblablement à la qualité assez médiocre de la section de jaugeage, en partie occupée par une zone d'eau morte et par la végétation. Le barème d'étalonnage adopté provisoirement se résume comme suit :

Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
0	0	200	16,2
50	1,30	250	22,6
100	4,60	300	30,0
150	10,2	360	41,0

2.3 AUTRES STATIONS du COURS INFÉRIEUR

Diverses stations d'importance secondaire ont été exploitées de façon plus ou moins intermittente. Nous les citerons d'amont en aval :

2.3.1 Station de TAM

Une échelle limnimétrique a été installée en Mai 1962 à 50 mètres en aval du poteau-frontière posé par la Mission TILHO au début du siècle. Cette échelle n'a été observée que pendant une courte période (25 Juin - 15 Novembre 1962), avant d'être emportée par une crue.

2.3.2 Station de NGOURTOUWA (AFOFO)

Une échelle provisoire a été installée le 15 Décembre 1962, en amont du village d'AFOFO. En Juin 1963 elle a été remplacée par une nouvelle échelle graduée de 0 à 6 m, dont le zéro a été placé à 1,00 m plus haut que celui de la précédente.

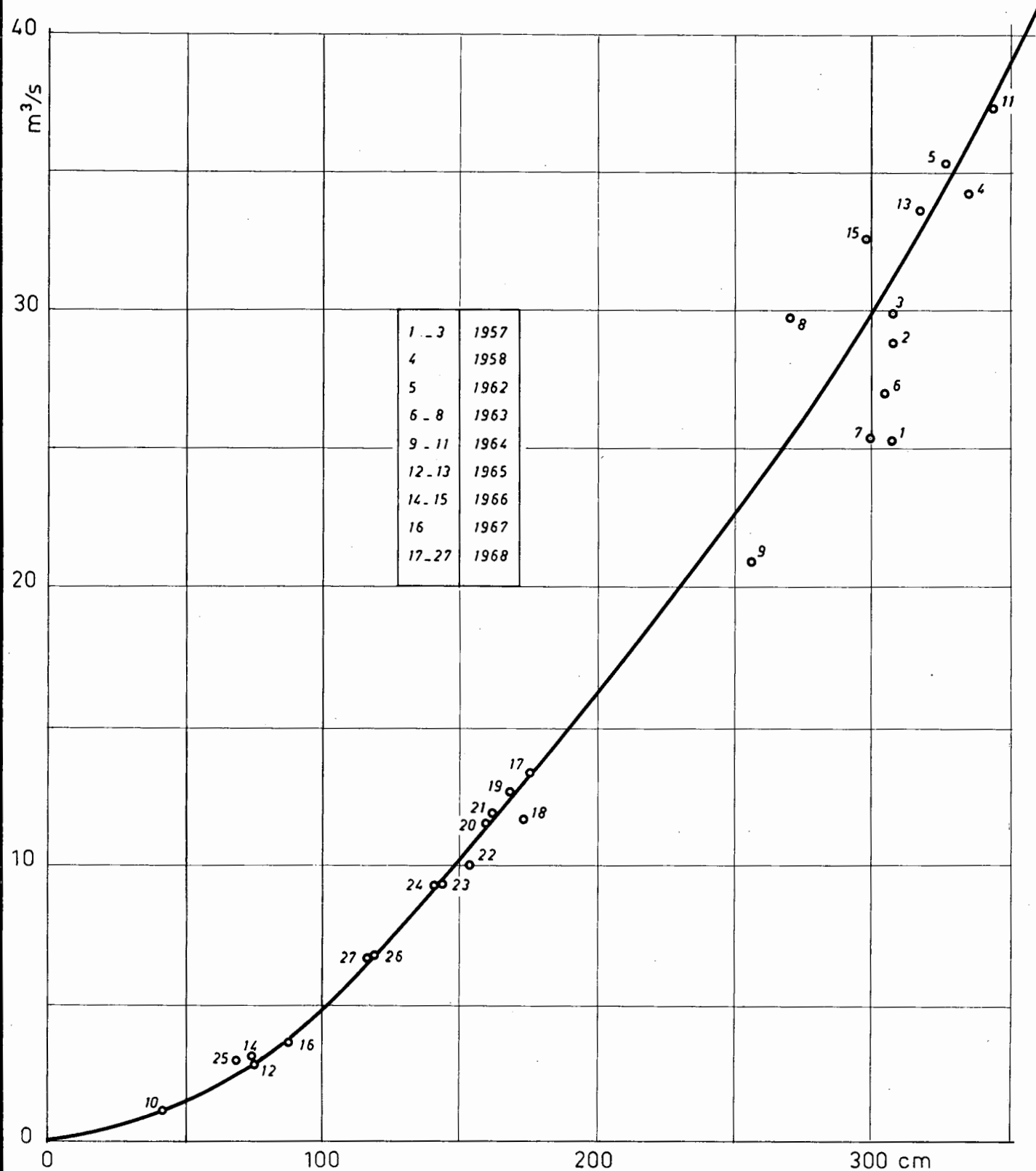
Les observations faites de Décembre 1962 à Février 1963 paraissent sérieuses, mais celles de la crue de 1963 sont fantaisistes. Devant l'impossibilité de trouver un observateur consciencieux la station a dû être abandonnée.

Quelques jaugeages effectués à cette station ont donné les résultats suivants :

Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
7- 2-1963	94	6,14
8- 2-1963	92	5,82
21- 9-1963	-	40,9
9- 1-1964	184	9,64
12- 3-1964	105	0
27-12-1965	398	58,4

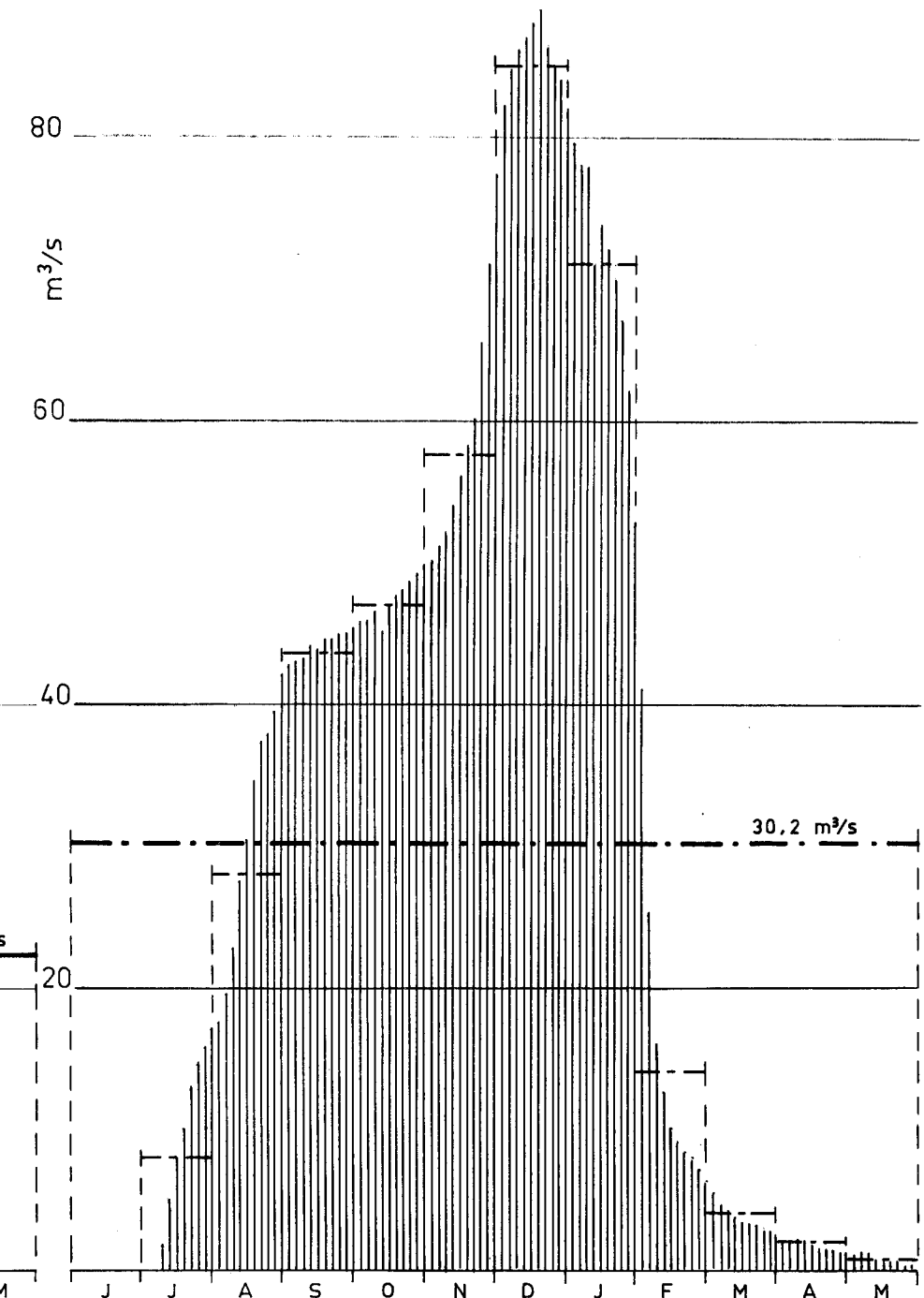
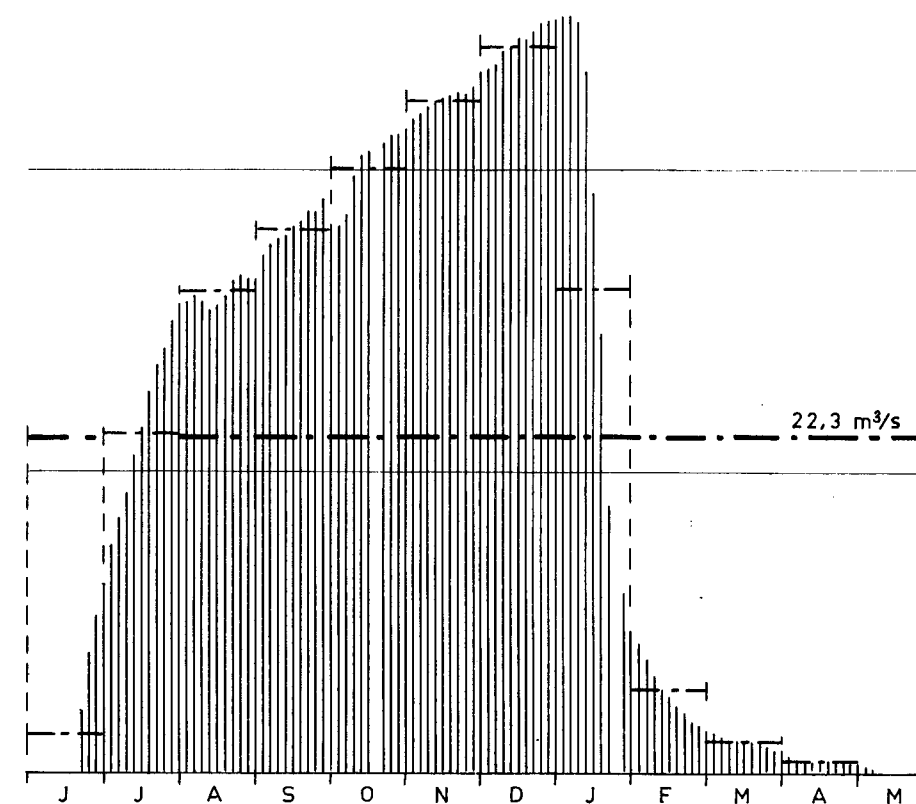
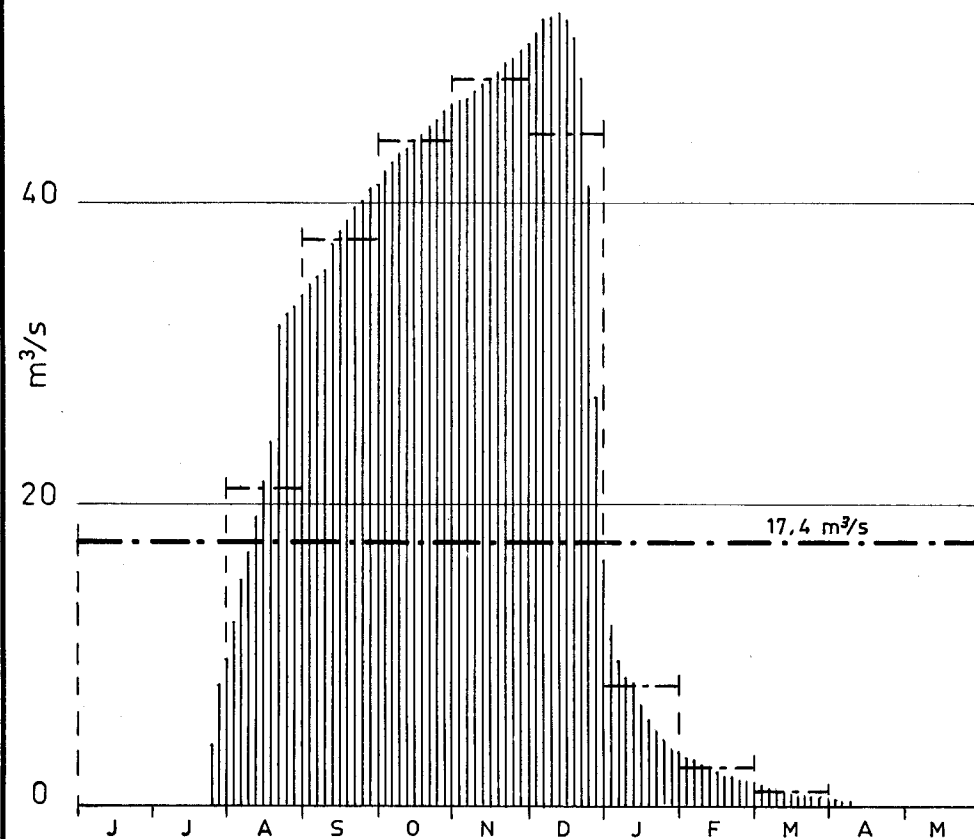
La KOMADOUGOU-YOBÉ à GUESKEROU

Courbe d'étalonnage



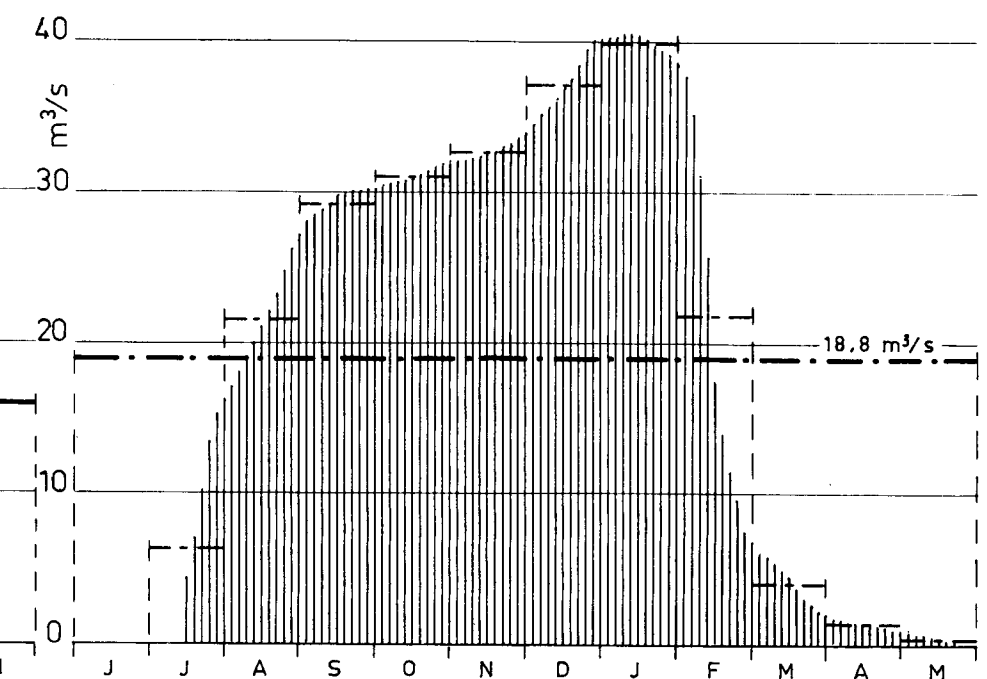
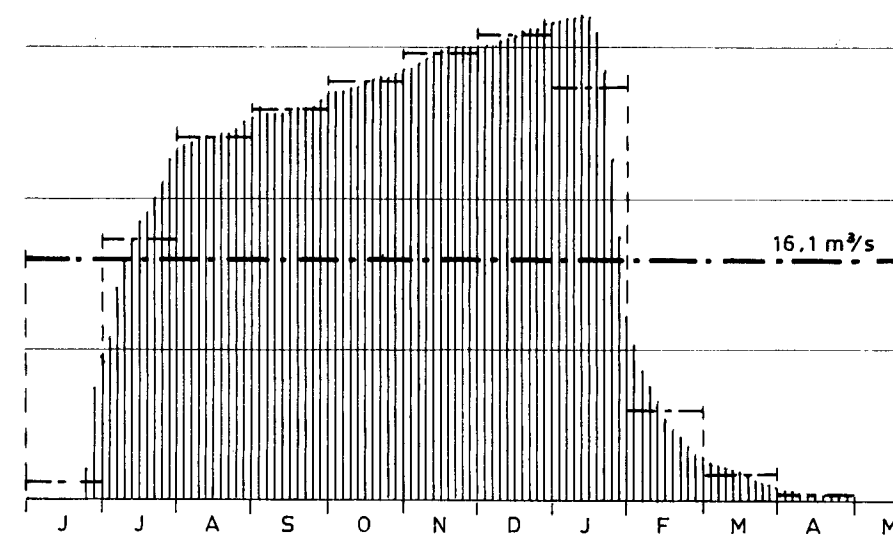
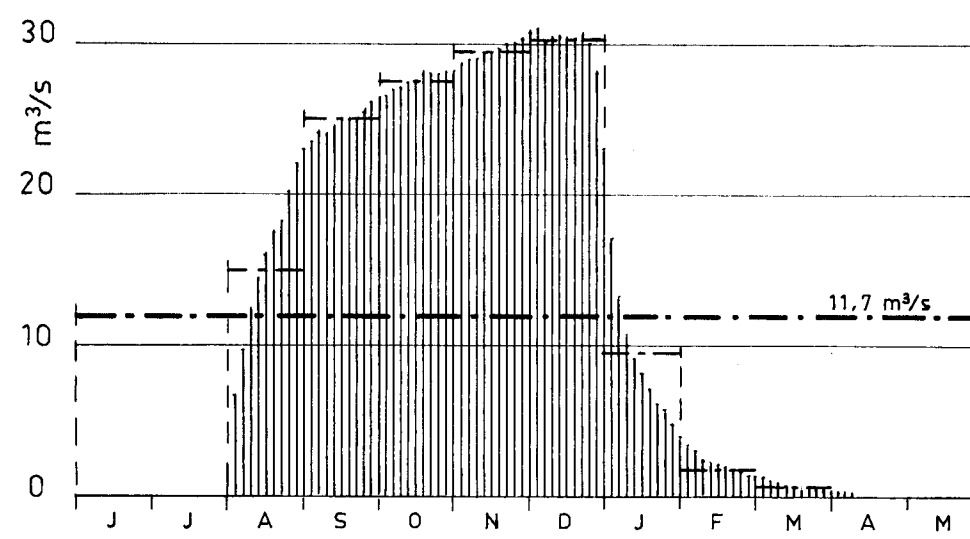
La KOMADOUGOU-YOBÉ à BAGARA

Débits moyens journaliers

Année forte - 1964-65Année moyenne - 1966-67Année faible - 1967-68

La KOMADOUGOU-YOBÉ à GUESKÉROU

Débits moyens journaliers

Année forte - 1964-65Année moyenne - 1966-67Année faible - 1967-68

2.3.3 Station de DAMASAK (NIGERIA)

Cette station est exploitée par un service gouvernemental du NIGERIA. Nous possédons des relevés limnimétriques qui s'étendent de Juillet 1959 à Avril 1961. Le zéro de l'échelle est à l'altitude 299,48 m. Nous connaissons également les résultats de quelques jaugeages effectués conjointement par l'ORSTOM et une Mission Pakistanaise travaillant pour le gouvernement du NIGERIA :

Date	Hauteur (pied)	Débit (m ³ /s)
22- 9-1963	12,50	40,8
20-12-1964	16,50	67,6
25- 3-1965	6,40	2,10
7-12-1965	15,00	44,5

2.3.4 Station de DABOGO

Nous ne possédons aucune donnée précise sur cette station où des observations sporadiques ont été effectuées en 1957 et en 1959.

2.3.5 Station de DIFFA-LADA

Comme pour la précédente nous ne possédons aucun relevé limnimétrique pour cette station où des observations intermittentes ont été faites en 1957 et en 1959. Nous connaissons seulement le résultat de deux jaugeages :

Date	Hauteur (cm)	Débit (m ³ /s)
21- 9-1963	260	38,7
22-12-1965	324	50,8

2.3.6 Station de GASHAGAR (NIGERIA)

Nous ne disposons que des résultats de quelques jaugeages effectués en collaboration avec la Mission Pakistanaise basée à MAIDUGURI :

Date	Hauteur (pied)	Débit (m ³ /s)
19- 9-1963	10,7	29,0
19-12-1964	14,55	49,8
25- 3-1965	4,90	2,80
7-12-1965	12,90	26,8

2.3.7 Station de YAU (NIGERIA)

Des relevés limnimétriques ont été effectués en 1959-1960 et 1960-1961 à cette station (dont le nom s'écrit parfois YO ou YEOU). Nous ne connaissons que les résultats de quelques jaugeages effectués par l'ORSTOM en collaboration avec la Mission Pakistanaise :

Date	Hauteur (pied)	Débit (m ³ /s)
19- 9-1963	9,00	22,6
19-12-1964	10,10	27,3
8-12-1965	11,00	16,0

2.3.8 Station de BOSO

Cette ancienne station est située à environ 6 km de l'embouchure de la KOMADOUGOU dans le lac TCHAD. Une première échelle avait été installée par la Mission TILHO. Elle n'a été observée qu'en Novembre et Décembre 1907. Une nouvelle échelle a été installée en Juillet 1955. Elle a été observée de façon intermittente de Juillet à Octobre 1955, de Janvier à Décembre 1956 et d'Octobre à Décembre 1957. Cette station a été abandonnée lorsqu'on s'est rendu compte qu'elle subissait fortement l'influence du remous du lac.

CHAPITRE 3

REGIME HYDROLOGIQUE du COURS INFERIEUR

Ne disposant d'aucune donnée hydrologique sur le bassin supérieur et le bassin moyen de la KOMADOU-GOU-YOBE notre étude sera malheureusement limitée au cours inférieur. Signalons cependant qu'une mission de l'USAID basée à KANO a procédé à des études hydrologiques sur le bassin supérieur de la KOMADOU-GOU. Son rapport en cours d'achèvement n'a pu nous être transmis en temps utile. Le lecteur intéressé pourra s'adresser au GEOLOGICAL SURVEY (Water Resources Division - Washington D.C. - U.S.A.).

3.1 DEBITS OBSERVES

Les débits journaliers observés aux stations de BAGARA et GUESKEROU figurent en annexe dans le "Recueil de données numériques".

Les caractéristiques essentielles du régime de la KOMADOU-GOU inférieure sont présentées ici sous forme de deux tableaux pour chacune des deux stations (tableaux XII à XV).

Le premier donne les débits moyens mensuels et annuels, ainsi que leurs moyennes interannuelles calculées sur la période d'observation. Le second tableau indique les valeurs des crues maximales, des étiages absolus et des débits caractéristiques (DCC, DC 3, DC 6, DC 9 et DCE) de chaque année, ainsi que leur valeur médiane.

Les valeurs entre parenthèses correspondent à des caractéristiques dont le calcul repose sur des données incomplètes mais n'a nécessité que des interpolations de faible importance. Les valeurs entre doubles parenthèses sont basées sur des interpolations plus larges et sont moins sûres.

Les tableaux ont été établis en adoptant une année hydrologique qui s'étend du 1er Juin au 31 Mai, étant donné que c'est souvent en Juin que l'on voit apparaître la première remontée des débits après un étiage nul.

TABLEAU XII

La KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens mensuels (m³/s)

Année hydrologique	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Moyenne annuelle
1957-1958								(44,2)	23,1	4,88	1,05	0,32	
1958-1959	0,80	12,7	38,5	44,2	47,0	53,7	((65))	-	-	-	-	-	-
1959-1960													
1960-1961													
1961-1962													
1962-1963	(0)	10,4	32,1	41,0	45,4	(55,3)	73,7	65,3	11,2	2,71	1,23	0,44	28,4
1963-1964	0,01	4,58	22,0	35,8	42,8	46,7	48,4	9,54	2,45	0,97	(0,25)	(0,0)	17,9
1964-1965	(0,0)	7,97	28,0	43,6	47,0	57,6	84,9	71,0	14,1	3,91	1,84	0,76	30,2
1965-1966	0,05	8,51	31,6	43,5	46,6	50,4	54,3	20,2	3,94	1,81	0,83	0,21	21,9
1966-1967	2,51	22,6	31,7	36,2	40,1	44,4	48,1	32,2	5,57	1,91	0,75	0,09	22,3
1967-1968	0,0	0,60	21,1	37,5	43,9	48,1	44,6	7,90	2,48	1,09	0,19	0,0	17,4
1968-1969	3,95	23,6	37,2	43,3	47,0	49,3	10,1	2,40	0,94	0,19	0	0	18,2
Moyennes	0,91	11,4	30,3	40,6	45,0	50,7	53,6	31,6	7,97	2,18	0,77	0,22	22,3

TABLEAU XIII

La KOMADOU-GOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens mensuels (m^3/s)

Année hydrologique	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Moyenne annuelle
1957-1958	3,52	17,4	22,4	26,0	28,9	30,8	32,9	35,7	33,7	9,95	2,14	0,52	20,3
1958-1959	0,03	12,2	26,5	31,1	31,9	32,7	34,4	-	-	-	-	-	-
1959-1960													
1960-1961	(0,0)	5,89	19,0	27,0	(29,1)	30,3	31,1	-	-	-	-	-	-
1961-1962	(0,0)	(5)	22,3	30,0	30,7	31,8	32,9	(20,3)	4,40	1,33	0,22	0,0	15,0
1962-1963	0,0	7,92	23,1	28,8	30,4	32,0	34,9	37,3	18,6	3,34	1,25	0,30	18,2
1963-1964	0,0	3,32	17,6	24,8	28,6	30,4	31,8	14,4	2,48	0,80	0,10	0,0	12,9
1964-1965	0,0	6,34	21,4	29,2	31,0	32,6	37,1	39,7	21,7	4,08	1,41	0,41	18,8
1965-1966	0,005	6,13	22,4	29,0	30,7	31,9	33,0	22,4	4,02	1,28	0,33	0,01	15,2
1966-1967	1,23	17,3	24,1	25,9	27,7	29,5	30,8	27,3	6,09	1,69	0,42	0,01	16,1
1967-1968	0,0	0,0	14,9	24,7	27,5	29,6	30,3	9,49	2,35	0,72	0,04	0,0	11,7
1968-1969	2,54	17,5	24,7	27,2	28,8	29,9	12,4	1,95	0,64	0,24	(0,0)	(0,0)	12,2
Moyennes	0,66	9,0	21,7	27,6	29,6	31,0	31,1	23,2	10,4	2,60	0,65	0,14	15,6

TABLEAU XIV

La KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits caractéristiques (m^3/s)

Année hydrologique	Débit maximal	DCC	DC 3	DC 6	DC 9	DCE	Débit minimal
1957-1958	-	-	-	-	-	-	0,11
1962-1963	76,7	75,6	46,7	22,0	1,82	-	-
1963-1964	50,7	50,1	39,0	5,85	(0,3)	0	0
1964-1965	88,9 ⁽¹⁾	86,5	49,1	18,6	1,95	0	0
1965-1966	55,8	55,0	45,0	10,9	0,86	0	0
1966-1967	50,1	49,8	40,7	24,5	1,57	0	0
1967-1968	52,5	51,8	39,5	3,8	0	0	0
1968-1969	50,4	49,8	40,5	6,0	0,1	0	0
Médiane approximative	52,5	51,8	40,7	11	0,85	0	0

(1) - Cette valeur est inférieure au maximum jaugé $89,5 m^3/s$ 24 h avant, ceci tient à la forme adoptée pour la courbe de tarage qui passe légèrement en dessous de ce point jaugé (écart de l'ordre de 1 %) -

TABLEAU XV

La KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits caractéristiques (m^3/s)

: Année : :hydrologique :	: Débit : :maximal:	: DCC :	: DC 3 :	: DC 6 :	: DC 9 :	: DCE :	: Débit : :minimal :
: 1957-1958 :	: 36,6 :	: 36,4 :	: 21,3 :	: 24,1 :	: 4,43 :	: 0 :	: 0 :
: 1960-1961 :	: 31,9 :	: 31,4 :	: 28,1 :	: - :	: - :	: 0 :	: 0 :
: 1961-1962 :	: 33,1 :	: 33,1 :	: 30,5 :	: - :	: - :	: 0 :	: 0 :
: 1962-1963 :	: 37,6 :	: 37,6 :	: 31,4 :	: 21,5 :	: 1,59 :	: 0 :	: 0 :
: 1963-1964 :	: 32,3 :	: 32,1 :	: 27,2 :	: 5,9 :	: 0,03 :	: 0 :	: 0 :
: 1964-1965 :	: 40,2 :	: 40,2 :	: 32,1 :	: 20,7 :	: 1,39 :	: 0 :	: 0 :
: 1965-1966 :	: 33,5 :	: 33,3 :	: 30,5 :	: 11,5 :	: 0,34 :	: 0 :	: 0 :
: 1966-1967 :	: 31,9 :	: 31,8 :	: 28,0 :	: 21,0 :	: 1,06 :	: 0 :	: 0 :
: 1967-1968 :	: 31,1 :	: 30,8 :	: 25,9 :	: 3,56 :	: 0 :	: 0 :	: 0 :
: 1968-1969 :	: 30,0 :	: 30,0 :	: 26,6 :	: 5,47 :	: 0 :	: 0 :	: 0 :
: Médiane : :approximative:	: 32,5 :	: 32,4 :	: 28 :	: 16 :	: 0,7 :	: 0 :	: 0 :

3.2 CARACTERES GENERAUX du REGIME

Les branches supérieures de la KOMADOUGOU-YOBE ont un régime du type "tropical pur" avec toutefois une influence de montagne assez sensible pour celles qui proviennent de l'extrémité méridionale du bassin.

Sur le cours moyen et le cours inférieur de la KOMADOUGOU-YOBE ce régime tropical se modifie progressivement sous l'influence du climat qui devient de plus en plus aride et surtout sous l'effet de la dégradation hydrographique et des débordements considérables qui l'accompagnent.

Il en résulte un amortissement de la crue annuelle qui devient de plus en plus sensible à mesure qu'elle progresse vers l'aval. Son débit de pointe s'atténue considérablement et ne dépasse pas quelques dizaines de mètres cubes/seconde sur le cours inférieur, valeur extrêmement faible pour un bassin versant de plus de 100 000 km². Le maximum de la crue annuelle devient également très tardif et n'apparaît pas avant Décembre ou même Janvier à BAGARA et GUESKEROU, alors qu'en régime tropical pur il se produit généralement en Septembre. La décrue est ensuite très brusque en Janvier-Février, puis on observe un tarissement un peu moins rapide qui aboutit généralement à un assèchement complet du lit en Mai ou Juin. Pendant ce dernier mois ou en Juillet un faible écoulement réapparaît, mais c'est en Août que la montée du débit s'effectue franchement. De Septembre à Décembre la croissance est généralement lente et progressive jusqu'au maximum annuel.

A partir des données d'observation on va tenter, dans les pages qui suivent, de préciser les éléments importants du régime hydrologique : courbes de tarissement, étiages, débits maximaux annuels, débits mensuels, débits moyens annuels. On doit noter cependant que la faible durée des observations ne permettra pas une analyse très poussée des éléments du régime.

3.3 BASSES EAUX

Le tarissement pur, c'est-à-dire la décroissance des débits correspondant à la vidange des nappes souterraines en dehors de toute précipitation, est généralement représenté par une expression exponentielle de la forme :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-kt}$$

Dans cette expression Q_t représente le débit à l'instant t (en jours) et Q_0 le débit à l'instant zéro choisi comme origine du tarissement; k est le coefficient de tarissement, dont l'inverse $1/k$ correspond au nombre de jours au bout desquels le débit Q_t est réduit par rapport à Q_0 dans la proportion $1/e$.

Sur un graphique dont l'échelle des temps est linéaire et l'échelle des débits logarithmique, un tarissement de forme exponentielle est représenté par une droite. Les graphiques 20 et 21 montrent que tel n'est pas le cas des courbes de tarissement observées à BAGARA et GUESKEROU. Celles-ci sont assez variables d'une année à l'autre et se caractérisent en gros par une décroissance très rapide jusque vers $10 \text{ m}^3/\text{s}$, une décroissance plus lente jusque vers $1 \text{ m}^3/\text{s}$ et enfin une décroissance à nouveau accélérée jusqu'à la valeur zéro.

Entre 10 et $1 \text{ m}^3/\text{s}$ on peut approximativement admettre que le tarissement est exponentiel. On trouve un coefficient de tarissement moyen égal à $0,035$ pour BAGARA et $0,04$ pour GUESKEROU. Ces valeurs sont élevées et indiquent bien que même dans sa phase la moins accélérée le tarissement de la KOMADOUGOU inférieure reste rapide.

Les débits d'étiage absolus et les débits caractéristiques d'étiage ont toujours été nuls pendant la période d'observation, sauf en 1957-58 à BAGARA par suite de l'arrivée tardive de la crue en Janvier et de la remontée assez précoce des débits en Juin. Il s'agit là d'un cas vraisemblablement assez rare. L'arrêt complet de l'écoulement se produit généralement en Mai ou Juin, parfois en Avril, voire même en Mars. Il commence environ une semaine plus tôt à GUESKEROU qu'à BAGARA. La reprise de l'écoulement a lieu généralement à la fin de Juin ou en Juillet, avec quelques jours de retard à GUESKEROU par rapport à BAGARA.

Au total la durée pendant laquelle chaque année l'écoulement est resté totalement nul a varié entre 0 et 80 jours à BAGARA et entre 20 et 100 jours à GUESKEROU. La durée moyenne de l'arrêt de l'écoulement est d'environ un mois et demi à BAGARA et de deux mois à GUESKEROU.

3.4 CRUES

Les débits maximaux annuels que l'on connaît ne portent que sur sept années d'observations à BAGARA et neuf années à GUESKEROU. On ne possède ainsi que des échantillons très courts qui ne permettent pas une étude statistique poussée. Nous chercherons donc seulement à dégrossir la distribution statistique des crues.

Pour la station de BAGARA les valeurs observées ont été classées dans le tableau suivant :

Rang r	Année	Débit de crue (m ³ /s)	Fréquence de dépassement F(%)
1	1964-1965	88,9 (1)	12,5
2	1962-1963	76,7	25
3	1965-1966	55,8	37,5
4	1967-1968	52,5	50
5	1963-1964	50,7 -	62,5
6	1968-1969	50,4	75
N = 7	1966-1967	50,1	87,5

Les fréquences de dépassement ont été calculées par la formule :

$$F \% = \frac{100 r}{N + 1}$$

Le report des débits de crue sur un graphique dont l'échelle des fréquences est gaussique montre une distribution nettement dissymétrique (voir graphique 24). La courbe, que l'on peut ajuster approximativement aux points obtenus, présente une nette concavité vers le haut et correspond donc à une distribution "hypergaussique". Autrement dit, les crues faibles n'ont jamais une valeur très inférieure à celle de la crue médiane, tandis que les crues fortes peuvent s'en écarter largement.

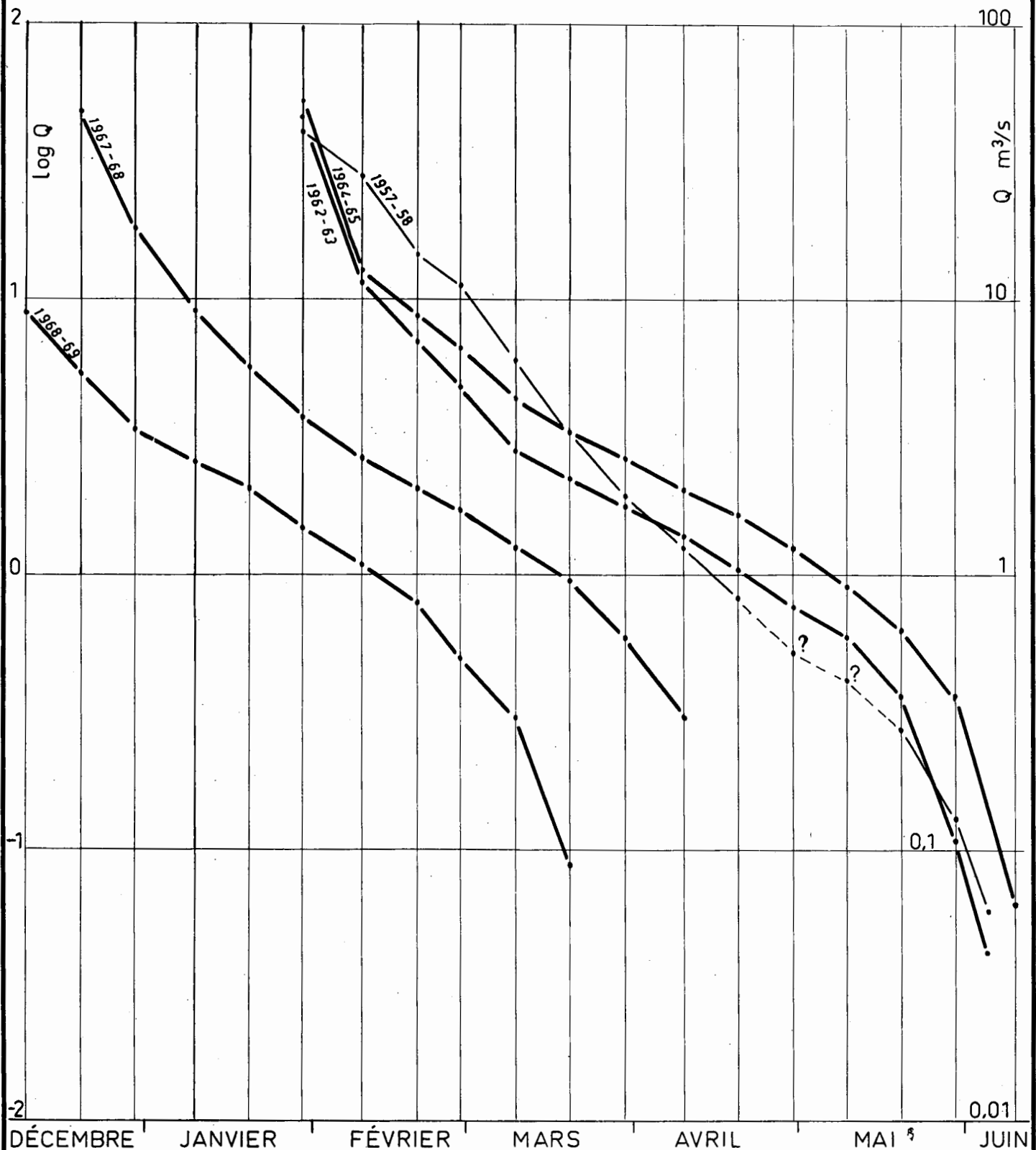
Autant qu'on puisse l'affirmer au vu d'un échantillon aussi réduit, il semblerait qu'il existe un seuil voisin de 50 m³/s au-dessous duquel les débits de crue ne descendent pratiquement jamais.

La courbe de fréquence ajustée sur le graphique 24 permet les évaluations approximatives suivantes :

- crue médiane = 52,5 m³/s
- crue décennale = 100 m³/s environ
- crue vicennale = de l'ordre de 125 m³/s

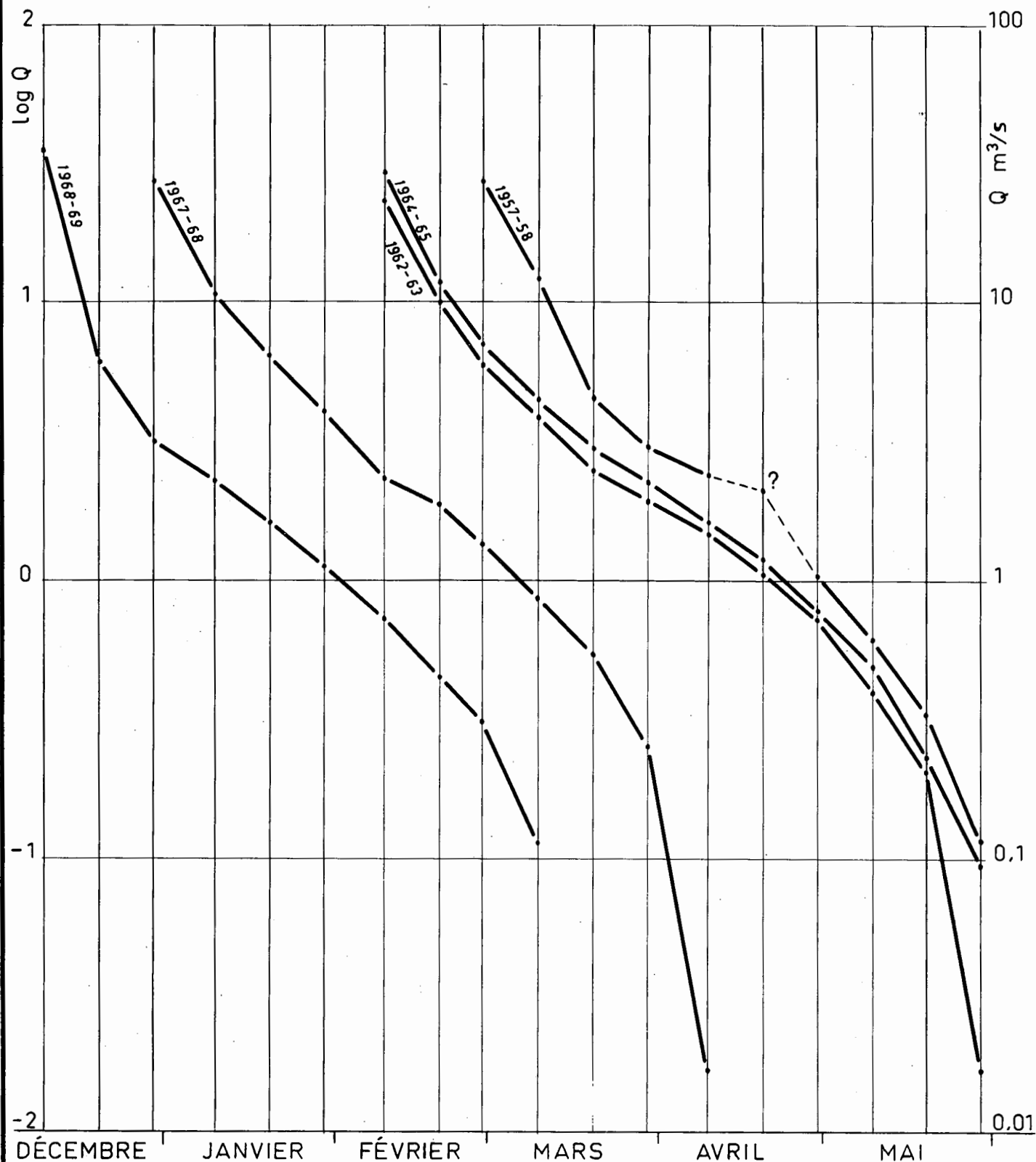
(1) Voir nota au bas du tableau XIV-Débits caractéristiques

Courbes de tarissement



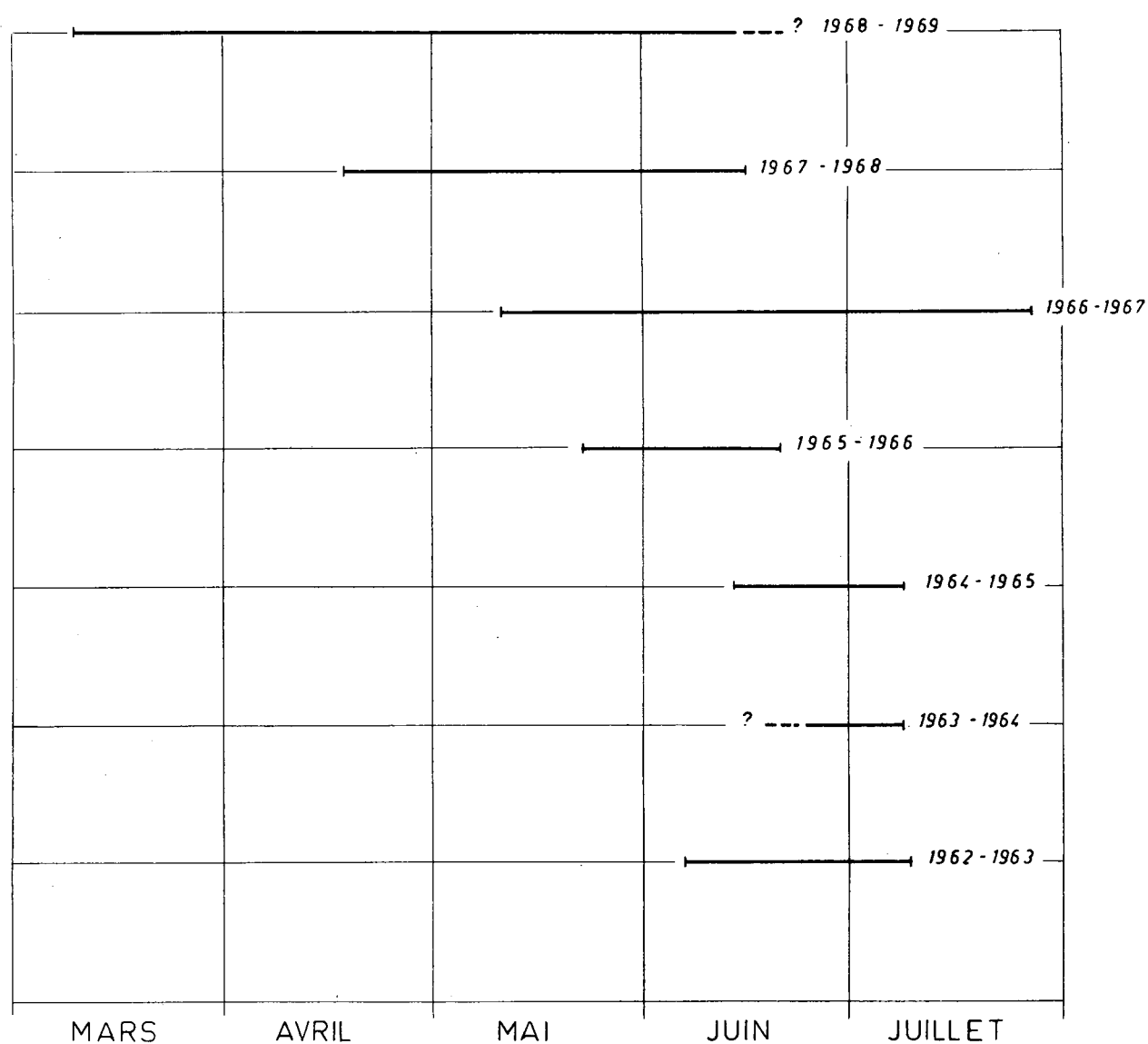
La KOMADOUGOU-YOBÉ à GUESKÉROU

Courbes de tarissement

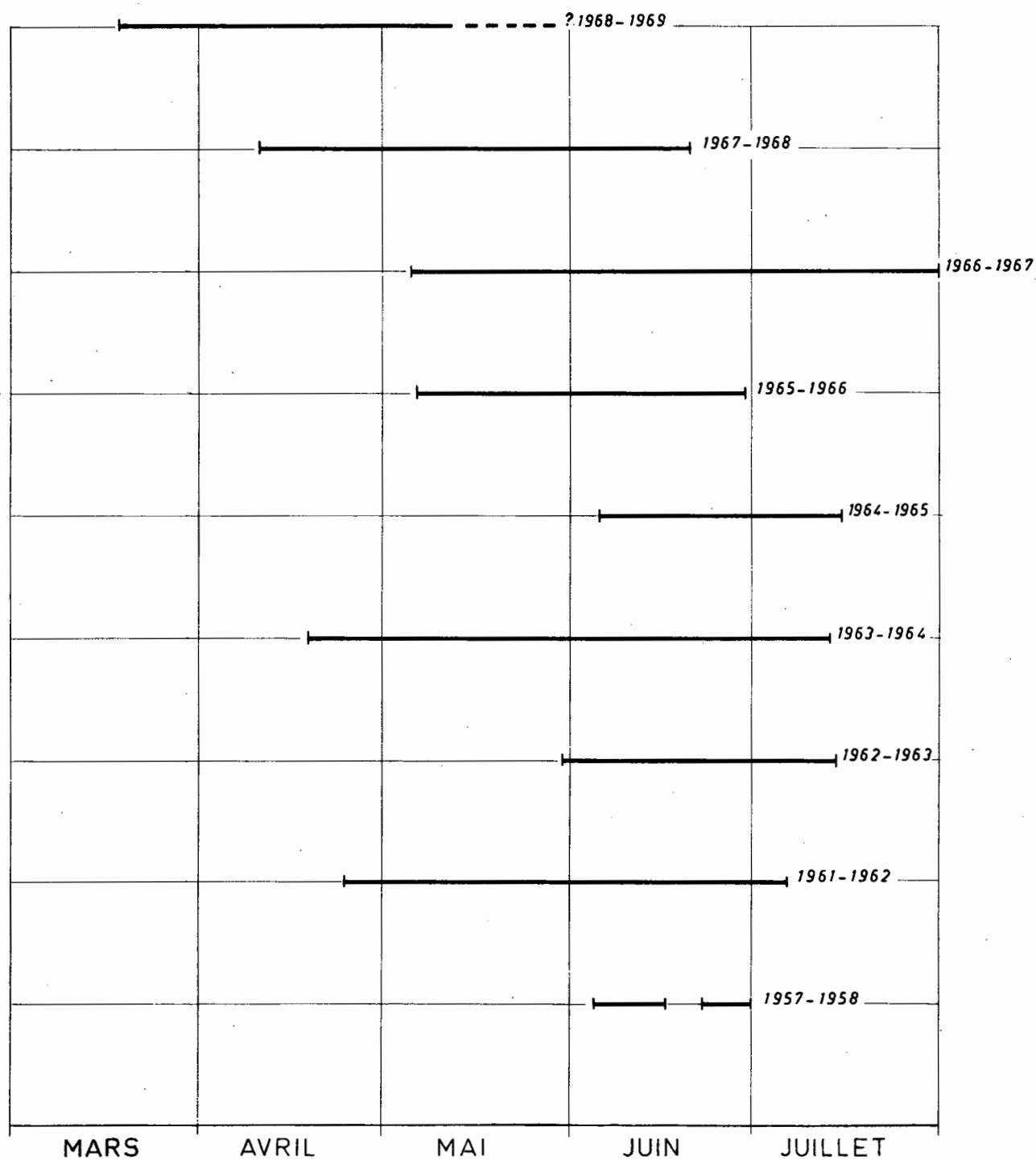


Éventualité des étiages nuls

la KOMADOUGOU - YOBÉ à BAGARA

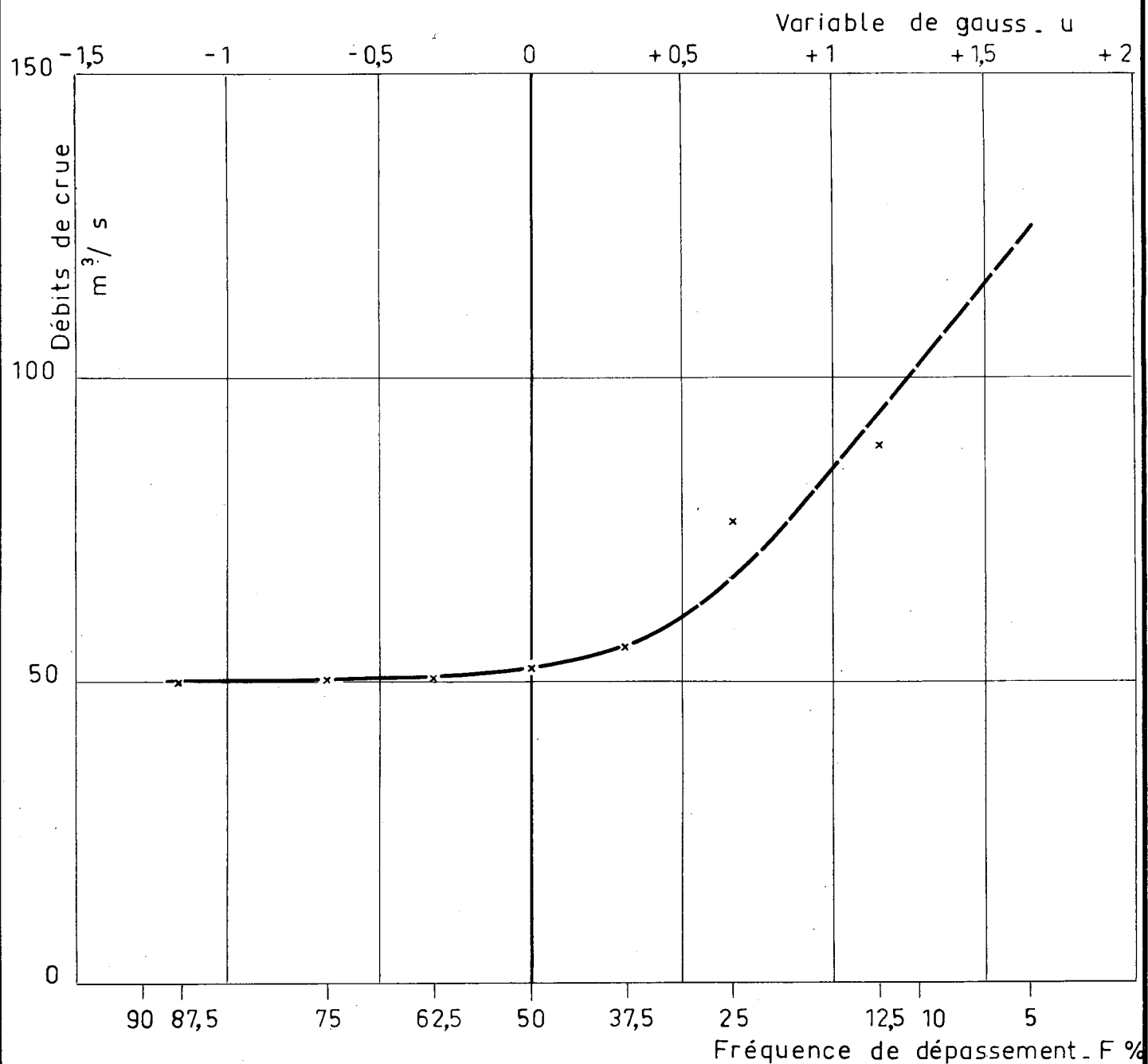


Éventualité des étiages nuls
La KOMADOUGOU-YOBÉ à GUESKÉROU



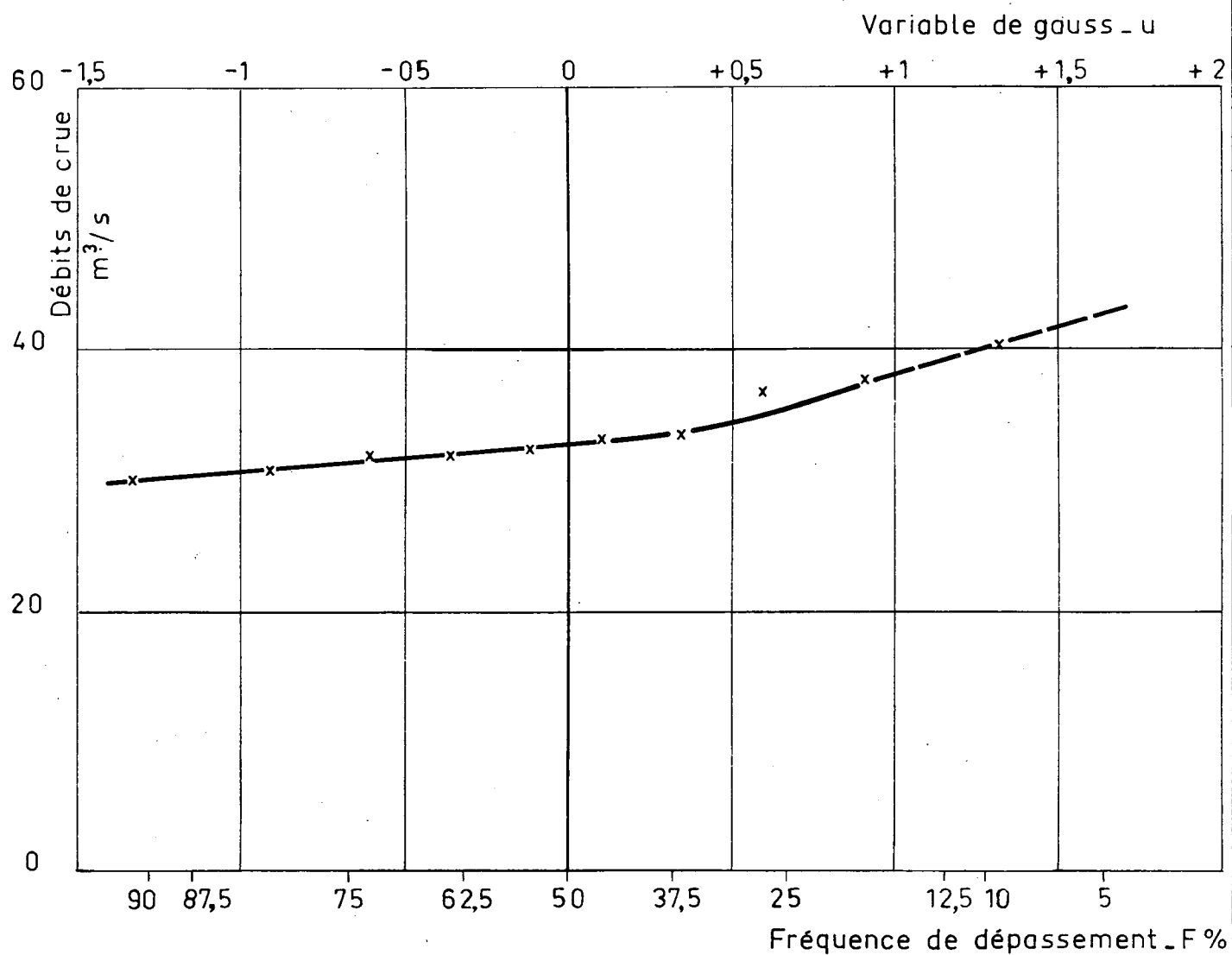
la KOMADOUGOU-YOBÉ à BAGARA

Distribution statistique
des débits maximaux annuels



la KOMADOUGOU - YOBÉ à GUESKEROU

Distribution statistique des débits maximaux annuels



Pour la station de GUESKEROU, on peut déterminer comme suit la fréquence de dépassement des crues observées :

Rang r	Année	Débit de crue (m ³ /s)	Fréquence de dépasse- ment F (%)
1	1964-1965	40,2	9,1
2	1962-1963	37,6	18,2
3	1957-1958	36,6	27,3
4	1965-1966	33,5	36,4
5	1961-1962	33,1	45,5
6	1963-1964	32,3	54,5
7	1960-1961	31,9	63,6
8	1966-1967	31,9	72,7
9	1967-1968	30,8	81,8
10	1968-1969	30,0	90,9

La courbe de fréquence que l'on peut ajuster aux débits de crue observés montre une tendance hypergaussienne beaucoup moins accentuée qu'à BAGARA. On doit attribuer ce fait à un amortissement très important des fortes crues entre BAGARA et GUESKEROU (graphique 25).

En conséquence, les crues de fréquence rare restent assez proches de la crue médiane comme le montrent les évaluations ci-dessous :

- crue médiane = 32,5 m³/s
- crue décennale = 40 m³/s environ
- crue vicennale = de l'ordre de 42,5 m³/s

Le graphique 26, où l'on a recherché une corrélation entre les débits maximaux annuels de BAGARA et GUESKEROU, confirme bien que les fortes crues de GUESKEROU restent très inférieures à celles de BAGARA et ne semblent guère pouvoir dépasser un plafond de l'ordre de 50 m³/s en année très abondante. Ceci demanderait cependant à être confirmé par des observations portant sur une période beaucoup plus longue.

Les débits spécifiques de crue ont des valeurs dérisoires qui n'atteignent même pas 1 l/s.km^2 , alors que pour le régime tropical on observe généralement des valeurs de plusieurs dizaines de $1/\text{s.km}^2$.

Le maximum annuel à BAGARA se produit le plus souvent vers le 20 Décembre et dure de 1 à 5 jours. Il peut cependant apparaître dès la fin de Novembre ou au contraire au début de Janvier (graphique 27).

Entre le maximum de BAGARA et celui de GUESKEROU on observe un décalage qui peut varier entre 0 et 25 jours suivant l'importance et la forme de la crue annuelle. Le maximum est assez étalé et dure de 2 à 24 jours. Il se produit le plus souvent entre le 15 Décembre et le 15 Janvier; les dates extrêmes d'apparition du début et de la fin du maximum ont été respectivement le 9 Novembre et le 3 Février pendant la période d'observation (graphique 28).

3.5 MODULES

Les débits moyens annuels, ou modules, que l'on connaît pour les deux stations de BAGARA et GUESKEROU, portent encore sur un nombre d'années insuffisant et ne permettent qu'une analyse statistique sommaire de caractère provisoire.

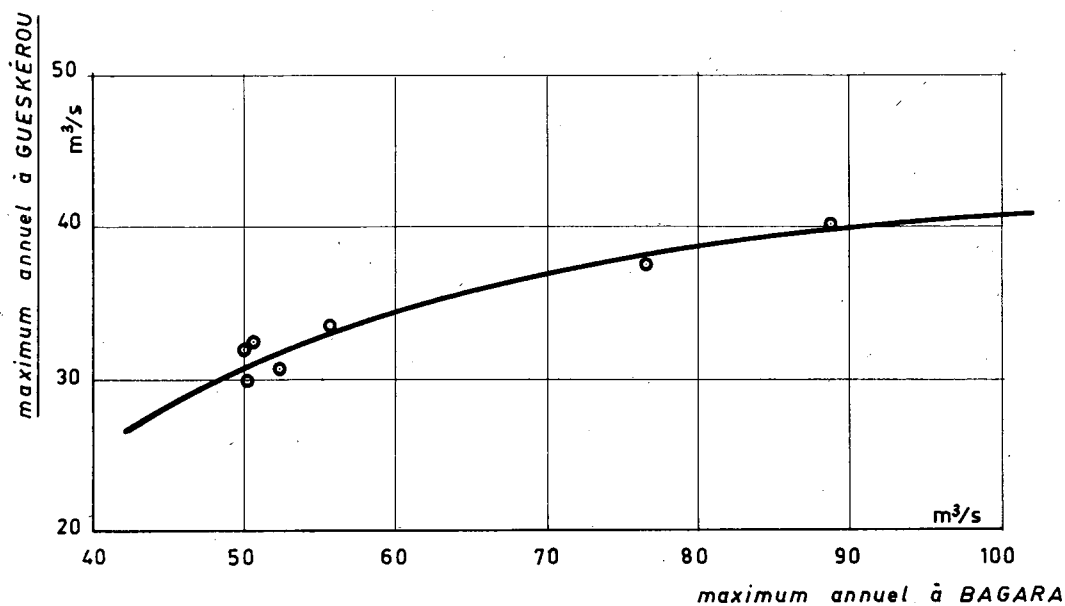
Le classement et les fréquences de dépassement des modules de BAGARA sont donnés dans le tableau suivant :

Rang r	Année	Module (m^3/s)	Fréquence de dépassement: F (%)
1	1964-1965	30,2	12,5
2	1962-1963	28,4	25
3	1966-1967	22,3	37,5
4	1965-1966	21,9	50
5	1968-1969	18,2	62,5
6	1963-1964	17,9	75
N = 7	1967-1968	17,4	87,5

La fréquence a été calculée par la formule :

$$F = \frac{100 \times r}{N + 1}$$

La KOMADOUGOU-YOBÉ

Corrélation débits maximaux annuels
BAGARA / GUESKÉROU

Éventualité des maximums annuels

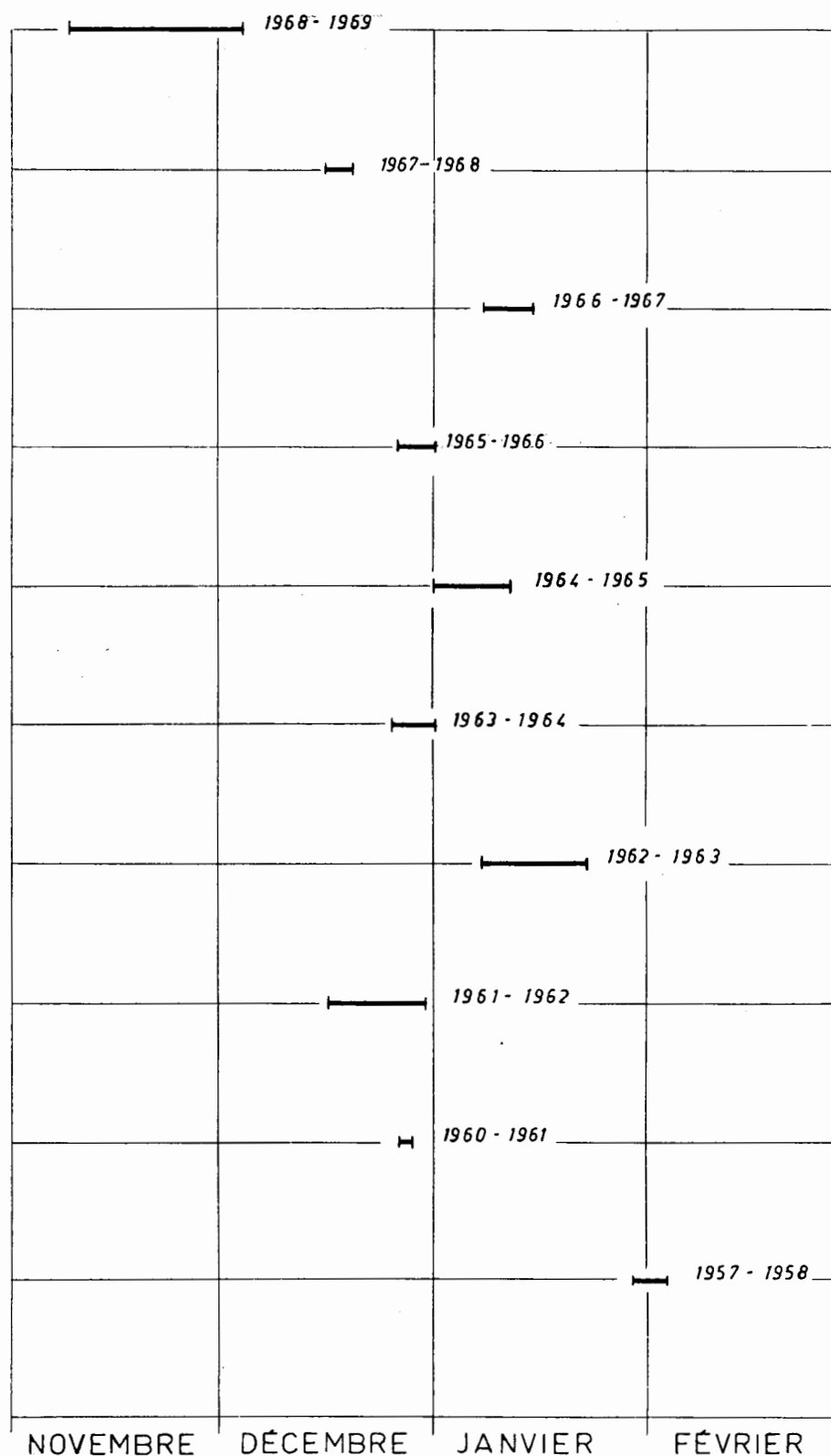
la KOMADOUGOU-YOBÉ à BAGARA

	1968 - 1969	
	1967 - 1968	
	1966 - 1967	
	1965 - 1966	
	1964 - 1965	
	1963 - 1964	
	1962 - 1963	
NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER

Éventualité des maximums annuels

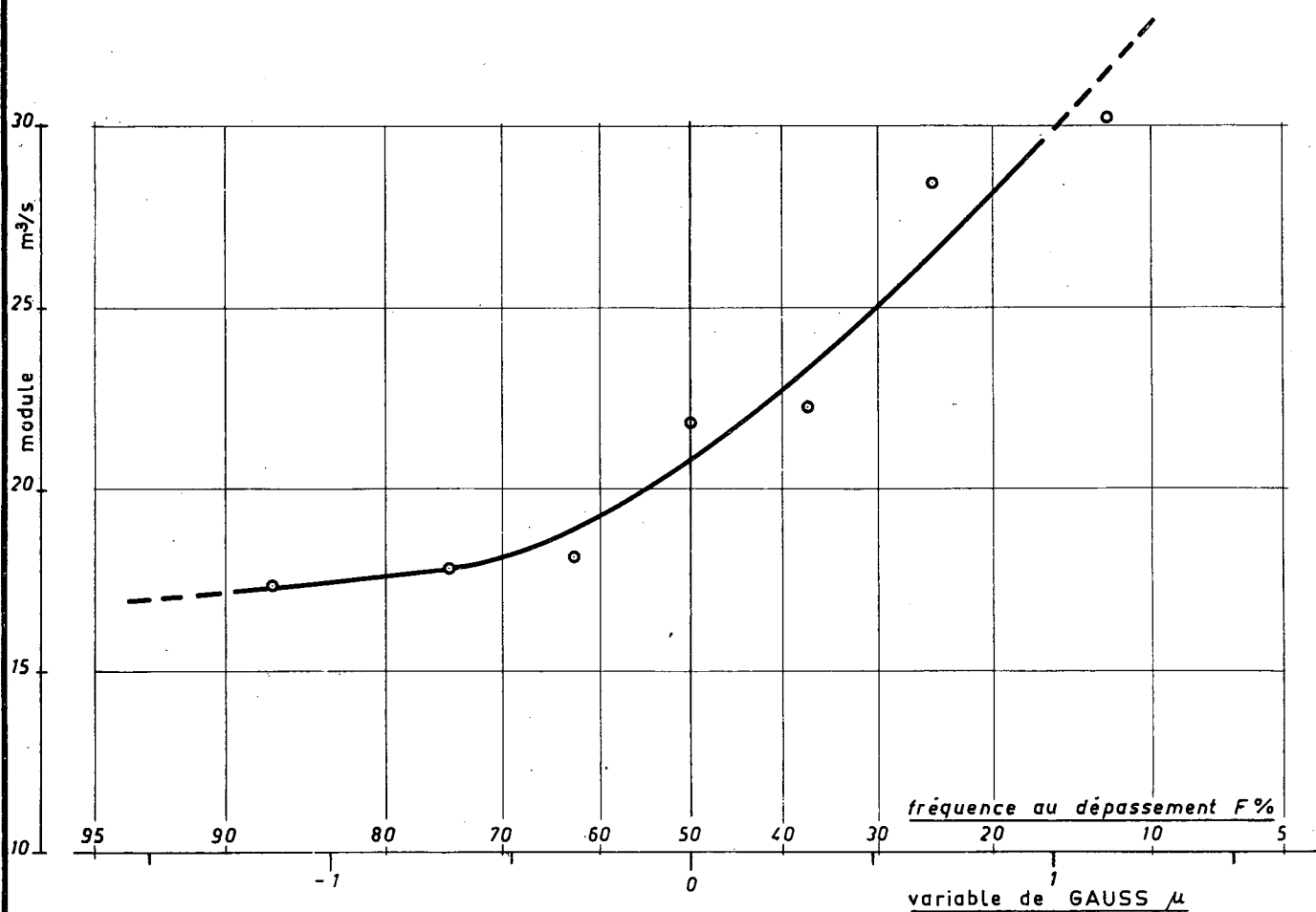
Gr. 28

la KOMADOUGOU - YOBÉ à GUESKEROU



La KOMADOUGOU-YOBÉ à BAGARA

Distribution statistique des modules annuels



Des données de ce tableau on déduit le module moyen interannuel $\bar{Q}$, l'écart-type σ et le coefficient de variation :

$$\begin{aligned}\bar{Q} &= 22,3 \text{ m}^3/\text{s} \\ \sigma &= 5,15 \text{ " } \\ C_v &= \frac{\sigma}{\bar{Q}} = 0,23\end{aligned}$$

Le report des modules en fonction de leur fréquence sur un graphique gaussien-linéaire (graphique 29) montre que leur distribution est hypergaussienne, comme l'était celle des crues étudiée précédemment. La courbe de fréquence que l'on peut ajuster approximativement aux points obtenus est en effet franchement incurvée vers le haut. Elle conduit aux valeurs suivantes :

- Module médian = 21 m³/s
- Module décennal sec = 17 m³/s environ
- Module décennal humide = 33 m³/s environ
- Irrégularité interannuelle = $K_3 = \frac{33}{17} = 1,94$

La dissymétrie de la distribution fait que le module médian est quelque peu inférieur au module moyen.

Pour la station de GUESKEROU la même analyse sommaire donne les résultats suivants :

Rang r	Année	Module (m ³ /s)	Fréquence de dépassement: F (%)
1	1957-1958	20,3	10
2	1964-1965	18,8	20
3	1962-1963	18,2	30
4	1966-1967	16,1	40
5	1965-1966	15,2	50
6	1961-1962	15,0	60
7	1963-1964	12,9	70
8	1968-1969	12,2	80
9	1967-1968	11,7	90

- Module interannuel $\bar{Q} = 15,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ecart-type $\sigma = 3,04 \text{ m}^3/\text{s}$
- Coefficient de variation $C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}} = 0,195$

La courbe de fréquence (graphique 30) est à peine dissymétrique et conduit aux évaluations suivantes :

- Module médian $= 15,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Module décennal sec $= 11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ environ
- Module décennal humide $= 20,5 \text{ m}^3/\text{s}$ environ
- Irrégularité interannuelle : $K_3 = \frac{20,5}{11,5} = 1,78$

Aux deux stations de la KOMADOUGOU inférieure la valeur du module médian est insignifiante pour un bassin versant d'environ 120 000 km². Le module spécifique n'atteint pas 0,2 l/s.km², valeur au moins dix fois plus faible que celle que l'on observe généralement en régime tropical. Les pertes énormes que subit la KOMADOUGOU-YOBE dans son delta intérieur sont la cause essentielle de la faiblesse des apports annuels.

La lame d'eau écoulee en année médiane est d'environ 5,5 mm à BAGARA et de 4 mm à GUESKEROU. La pluviométrie moyenne sur le bassin versant étant de 800 mm/an, les coefficients d'écoulement aux deux stations sont respectivement voisins de 0,75 et 0,5 %. Les déficits d'écoulement sont de l'ordre de 795 mm/an.

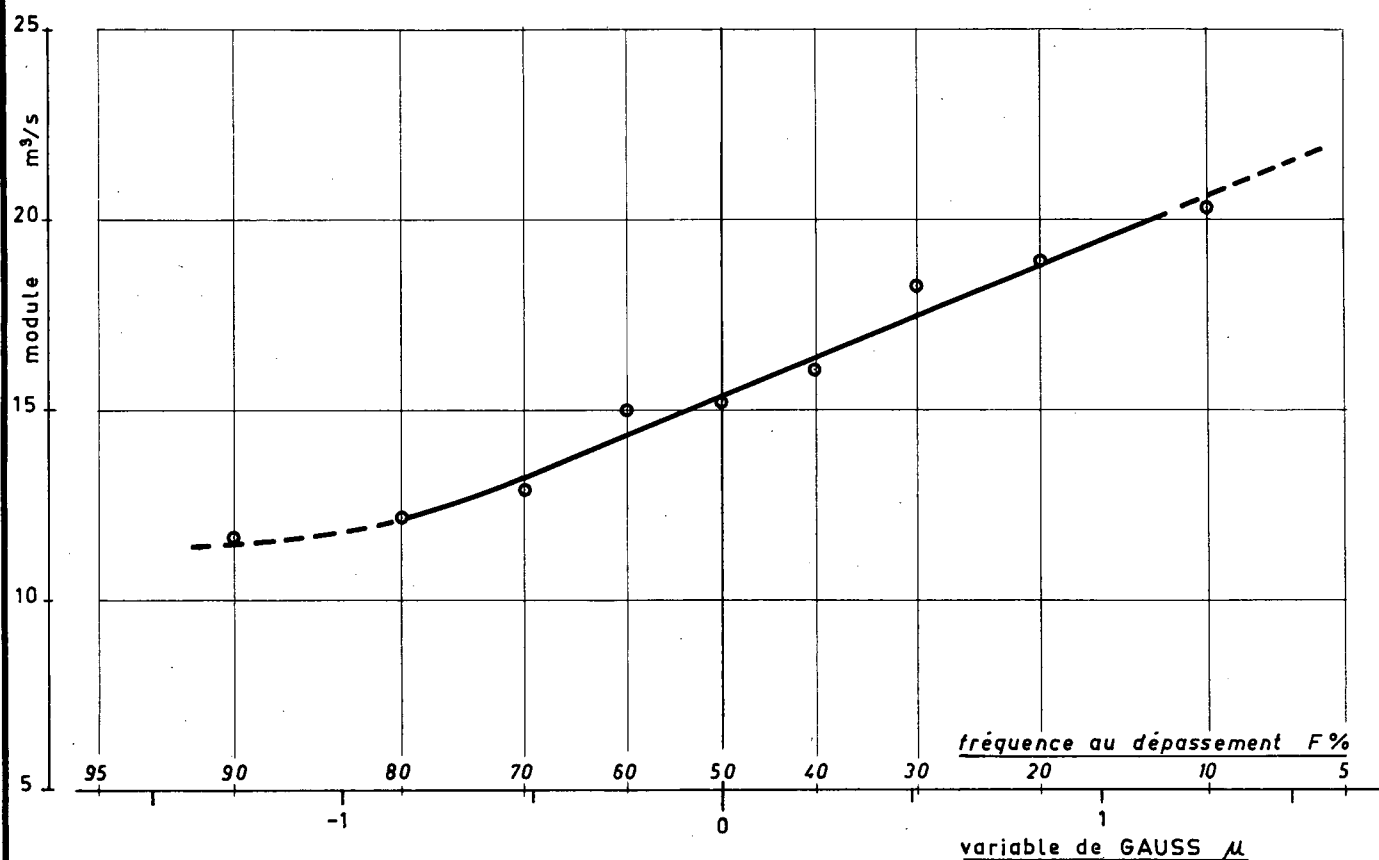
Traduits en volumes annuels les apports de la KOMADOUGOU-YOBE en année médiane sont les suivants :

- BAGARA : $705 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$
- GUESKEROU : 485×10^6

On voit qu'entre les deux stations distantes seulement de 35 km à vol d'oiseau il se perd quelque $220 \times 10^6 \text{ m}^3$ par an. Tout porte à croire que la KOMADOUGOU subit encore des pertes importantes entre la station de GUESKEROU et son embouchure dans le lac TCHAD, distantes d'environ 65 km. Il est probable que la KOMADOUGOU n'apporte guère au lac en année moyenne plus de $250 \times 10^6 \text{ m}^3$, ce qui rend à peu près négligeable son rôle dans l'alimentation du lac TCHAD (moins de 1 %).

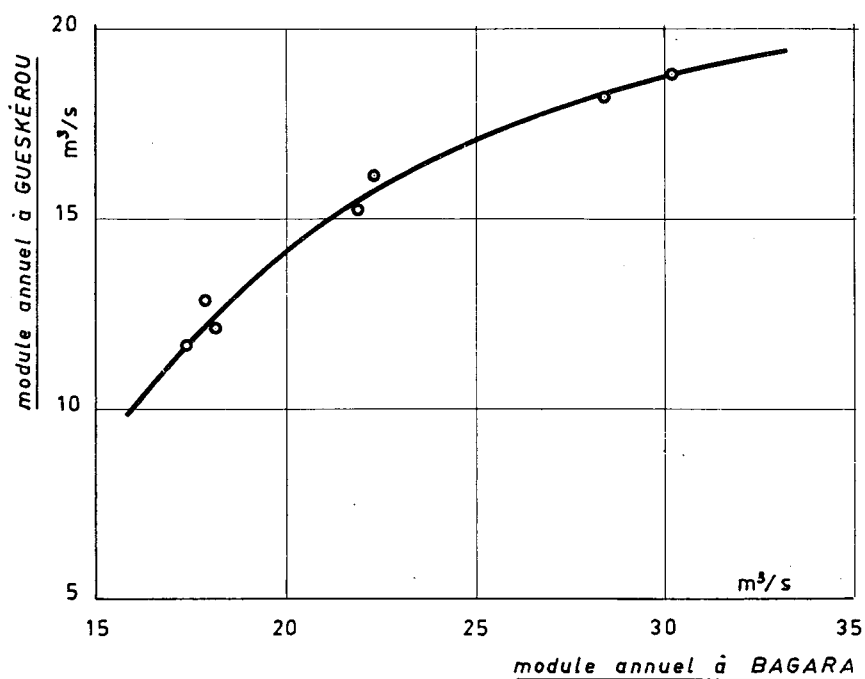
La KOMADOUGOU-YOBÉ à GUESKÉROU

Distribution statistique des modules annuels



La KOMADOUGOU-YOBÉ

Corrélation modules annuels
BAGARA / GUESKÉROU



L'irrégularité interannuelle du module est relativement faible à BAGARA : le coefficient K_2 est égal à 1,94, alors que pour beaucoup de cours d'eau tropicaux il est compris entre 2 et 3,5. Il faut voir là l'effet régularisateur des débordements. L'irrégularité diminue encore de façon assez sensible entre BAGARA et GUESKEROU ($K_2 = 1,78$). Le graphique 31 confirme cette tendance; il montre en effet, qu'il existe une corrélation étroite entre les modules annuels des deux stations, mais cette corrélation n'est pas linéaire : les modules de GUESKEROU croissent moins vite que ceux de BAGARA.

3.6 DEBITS MOYENS MENSUELS

Les débits mensuels observés à BAGARA et GUESKEROU ont été classés de façon à déterminer mois par mois les débits correspondant aux fréquences de dépassement 25, 50 et 75 %. Les résultats obtenus figurent sur le tableau XVI a/ et le graphique 32 .

On voit que l'irrégularité interannuelle des débits mensuels est faible pendant la montée de la crue, spécialement pendant les mois d'Août, Septembre, Octobre et Novembre. Au contraire vers le maximum de la crue et au début de la décrue l'irrégularité interannuelle est assez forte surtout à BAGARA.

Les variations saisonnières des débits sont bien mises en évidence si on considère les coefficients mensuels interannuels calculés à partir des débits moyens mensuels.

Soit q_i le débit moyen d'un mois considéré et Q le module inter-annuel, le coefficient mensuel correspondant est donné par l'expression :

$$c = \frac{100 q_i}{12 Q}$$

Il représente le pourcentage moyen des apports annuels écoulé pendant le mois considéré.

Les coefficients obtenus pour les deux stations de BAGARA et GUESKEROU sont donnés dans le tableau XVI b/ et font l'objet du graphique 33. Ils montrent bien l'allure générale de l'hydrogramme annuel qui se caractérise par une certaine dissymétrie surtout marquée à BAGARA : la montée des eaux est sensiblement plus lente que la décrue qui est très brusque en Janvier et Février. Cette dissymétrie est vraisemblablement due au fait qu'une faible partie seulement des eaux de débordement est restituée à la KOMADOUGOU pendant la décrue, le reste étant absorbé par l'infiltration et surtout l'évaporation dans les plaines d'inondation.

TABLEAU XVI

a/ Débits mensuels de diverses fréquences de dépassement

BAGARA

Fréquence de : dépassement : (%)	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
25	2,4	20	36	43,5	47	55	71	60	13	3,5	1,2	0,4
50	0,03	9,5	31,5	42	46	50	51,5	26	4,7	1,85	0,8	0,15
75	0	5,5	24	36,5	43	47	45,5	8,5	2,5	1	0,2	0

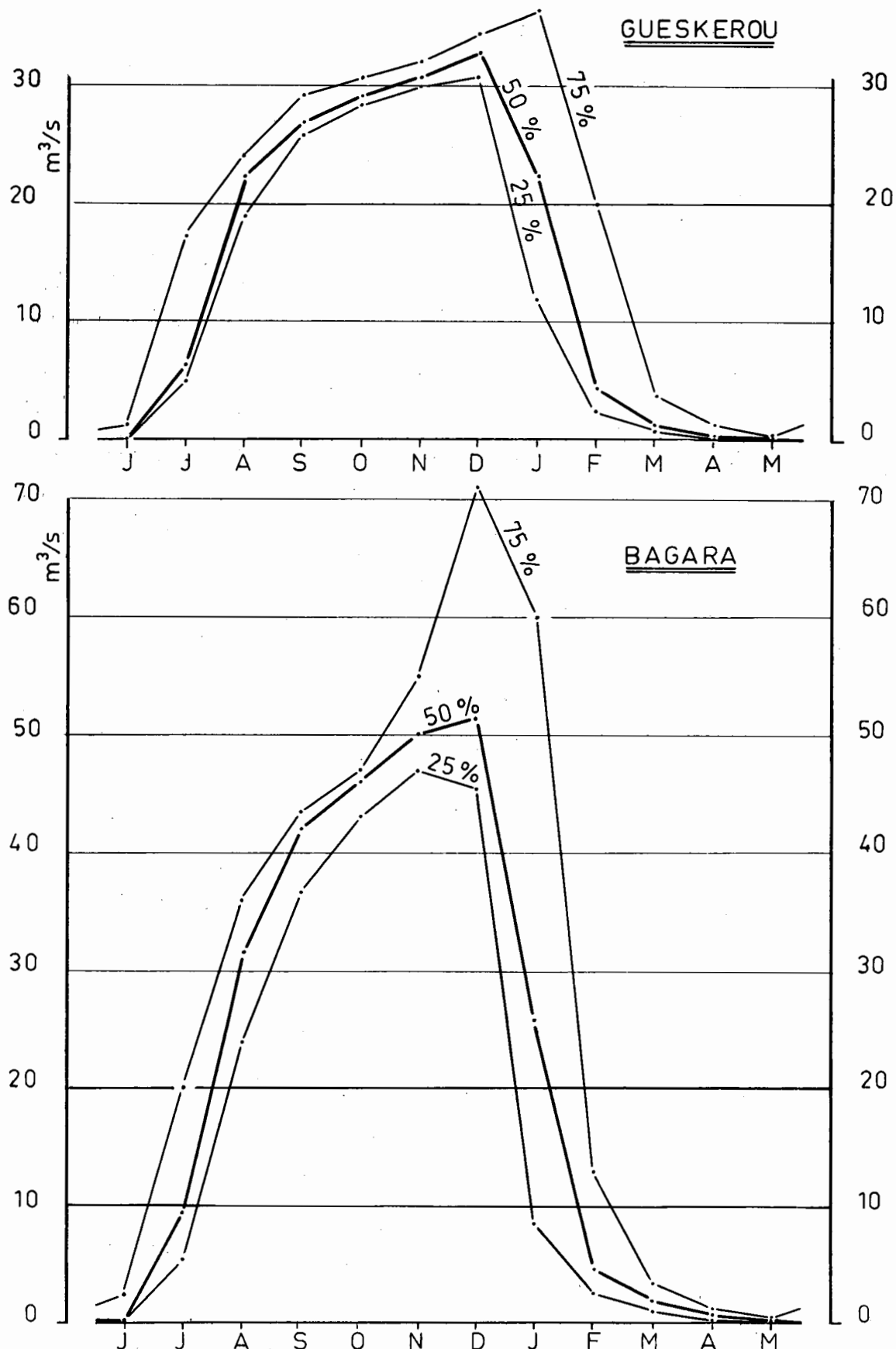
GUESKEROU

Fréquence de : dépassement : (%)	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
25	1,2	17,3	24,1	29,2	30,7	32,0	34,4	36,5	20,1	3,7	1,35	0,35
50	0	6,3	22,4	27,2	29,1	30,8	32,9	22,4	4,4	1,35	0,35	0,01
75	0	5,0	19,0	25,9	28,6	29,9	30,8	12,0	2,4	0,75	0,07	0

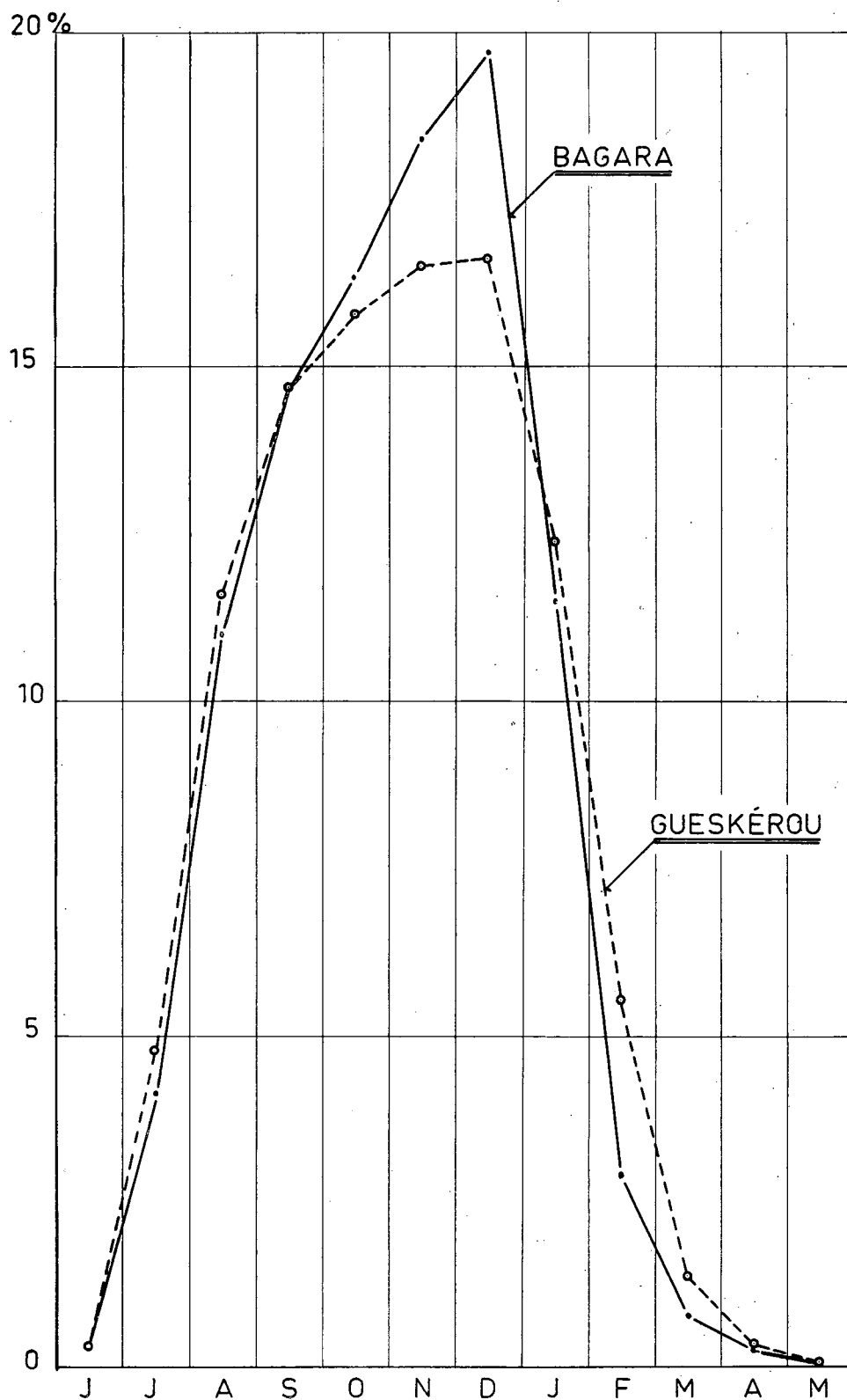
b/ Coefficients mensuels interannuels

Station	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
BAGARA	0,33	4,14	11,0	14,7	16,3	18,4	19,7	11,5	2,90	0,79	0,27	0,08
GUESKEROU	0,35	4,80	11,6	14,7	15,8	16,5	16,6	12,4	5,55	1,38	0,35	0,07

Débits mensuels correspondant
aux fréquences de dépassement 25, 50 et 75 %



Coefficients mensuels interannuels



RECAPITULATION DES PRINCIPALES DONNEES HYDROLOGIQUES

- KOMADOUGOU - YOBE
- Superficie du bassin versant : 120 000 km² environ (bassin partiellement aréique)
- Pluviométrie moyenne : 800 mm/an

	BAGARA	GUESKEROU
<u>MODULE</u>		
- Valeur médiane	21 m ³ /s	15,3 m ³ /s
- Valeur décennale sèche	17 "	11,5 "
- Valeur décennale humide	33 "	20,5 "

<u>CRUE</u>		
- Valeur médiane	52,5 "	32,5 "
- Valeur décennale	100 "	40 "
- Valeur vicennale	125 "	42,5 "

- ETIAGE
- Débit nul, sauf exceptionnellement à BAGARA

DEBITS MOYENS MENSUELS sur la période d'observation

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
BAGARA	0,91	11,4	30,3	40,6	45,0	50,7	53,6	31,6	7,97	2,18	0,77	0,22
GUESKEROU	0,66	9,0	21,7	27,6	29,6	31,0	31,1	23,2	10,4	2,60	0,65	0,14

ANNEXES

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1953-1954

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		1,42	34,8	55,6	5,88	18,3	65,3	62,2	10,5	2,75	0,885	0,192
2		1,26	36,9	54,5	5,88	20,7	65,3	60,4	9,72	2,51	0,830	0,192
3		1,20	36,9	54,5	4,92	21,2	66,6	57,4	8,28	2,36	0,751	0,152
4		1,14	43,9	53,4	4,12	24,7	69,9	55,6	8,14	2,21	0,699	0,152
5		1,08	63,4	52,2	4,12	25,3	73,2	53,4	7,00	2,13	0,648	0,112
6		1,51	66,6	49,0	3,48	25,9	73,2	51,2	6,42	2,06	0,648	0,074
7	0,276	1,51	73,2	39,2	3,48	30,1	73,2	50,1	5,88	1,99	0,648	0,074
8	0,276	1,58	73,2	26,6	3,48	30,8	73,2	49,0	5,78	1,92	0,648	0,036
9	0,276	1,45	76,7	20,2	3,48	32,4	76,7	47,9	5,38	1,85	0,648	0,036
10	0,276	1,32	80,2	20,7	3,22	34,0	76,7	46,9	5,38	1,78	0,623	0,0
11	0,276	1,51	91,5	18,8	3,22	38,3	80,2	43,9	4,92	1,71	0,623	0,0
12	0,276	1,99	91,5	17,9	3,22	39,2	73,2	42,0	4,66	1,64	0,573	0,233
13	0,598	1,78	104	16,7	3,00	40,1	80,2	40,1	4,66	1,58	0,525	0,192
14	0,598	1,68	104	16,0	3,00	42,0	80,2	38,3	4,50	1,51	0,501	0,152
15	1,38	9,72	112	15,0	2,79	43,9	80,2	34,8	4,34	1,45	0,454	0,112
16	4,12	4,42	121	13,1	2,79	44,9	80,2	32,4	4,12	1,45	0,408	
17	4,92	4,50	121	12,7	2,79	45,9	81,7	30,8	4,12	1,38	0,408	
18	2,59	7,75	127	11,3	2,79	47,9	81,7	29,4	3,78	1,38	0,408	
19	2,36	8,28	127	10,7	2,59	49,0	81,7	27,2	3,48	1,38	0,408	
20	2,21	10,3	127	8,98	2,59	50,1	89,2	25,3	3,37	1,35	0,673	
21	2,06	12,0	127	7,62	2,59	51,2	81,7	22,9	3,22	1,32	0,648	
22	1,99	12,4	127	7,00	2,59	53,4	75,3	21,2	3,22	1,32	0,648	
23	1,85	16,0	116	6,42	2,59	54,5	73,2	21,2	3,13	1,29	0,648	
24	1,78	15,6	112	5,38	8,98	60,4	73,2	18,8	3,13	1,26	0,648	
25	1,68	3,32	99,4	5,88	10,5	65,3	76,0	18,8	3,08	1,26	0,598	
26	1,45	3,37	95,4	7,00	11,3	66,6	75,3	15,0	3,00	1,23	0,501	
27	1,38	3,17	95,4	6,76	11,0	106	73,2	15,0	3,00	1,23	0,454	
28	1,38	3,22	80,2	6,76	12,4	69,2	71,9	13,1	2,92	1,20	0,408	
29	1,29	7,00	76,7	6,76	12,9	69,2	71,9	12,2		1,14	0,363	
30	1,32	25,6	66,6	5,38	15,3	71,9	68,6	11,3		1,05	0,233	
31		32,8	76,7		15,6		65,3	11,3		0,968		
Moy	(1,3)	6,45	89,8	21,1	5,70	45,7	75,1	34,2	4,97	1,60	0,572	(0,1)

Débit moyen annuel = 24,1 m³/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m^3/s)

Année 1954-1955

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		1,20	24,0	141	109	155	236	232	162			
2			27,2	143	112	155	242	229	159			
3			27,2	136	116	155	250	226	143			
4			27,2	133	119	155	256	223	121			
5			27,2	133	121	155	259	221	112			
6			30,8	131	127	155		218	107			
7			30,8	128	133	156		216	104			
8			27,2	123	136	156		214	95,4			
9			24,0	121	140	158		207	93,8			
10		1,85	24,0	117	146	158	278	206	87,6			
11			24,0	114	146	158		189	83,9			
12			30,8	112	146	159		186	73,2		2,02	
13			49,0	110	149	159		183	65,3		2,02	
14		5,88	51,7	109	152	162		182	60,4		2,02	
15			54,5	107	152	162		180	54,5	9,72	2,02	
16			60,4	105	154	162		178	52,2	8,84	2,02	
17			66,6	104	156	162		172	52,2	8,28	2,02	
18			73,2	104	159	162		166	49,0	7,75	2,02	
19			76,7	102	159	164		159	49,0	7,24	1,99	
20			80,2	97,0	159	179		158	48,5	7,00	1,99	
21		4,34	95,4	97,0	159	183		143	48,5	7,37	1,85	
22		3,98	104	97,0	159	186		152	47,9			
23		3,72	108	98,6	159	193		156	46,9			
24		4,42	112	98,6	159	197		156	44,9			
25		4,92	127	102	147	203		155	44,9			
26		4,75	127	102	158	207		155	44,9			
27		4,75	131	102	158	214		156	37,4			
28		5,88	133	104	156	218	259	159	37,4			
29		6,53	133	105	156	226	251	162				
30		4,12	133	107	155	229	244	162				
31		21,2	133		155		235					
Moy	(1)	(4,30)	70,1	113	146	175	(263)	183	75,9	(14,4)	(2,0)	(0)

Débit moyen annuel = 87,5 m^3/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1955-1956

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			7,00	32,2		78,8	317	304	146	21,5		
2				34,8		80,2	323	291	140	19,2		
3				37,4		81,7	330	300	133	17,1		
4				44,9		83,2	335	297	131	15,5		
5				38,3		83,2	342	294	128			
6			17,5	37,4		83,9	347	291	126			
7			16,3	34,8		83,9	349	287	123			
8			16,3	34,0		89,9	352	281	121			
9			19,2	32,4		90,7	354	275	119			
10			19,2	30,8		92,3		271	117			
11			21,2	30,8		92,3		265	116			
12			26,6	32,4		95,4		264	109			
13			27,2	34,0		97,0		264	101			
14			28,6	36,5		99,4		261	93,8			
15			30,8	37,4		100		259	85,4			
16			34,8	40,1	30,8	107		259	78,8			
17			30,8	41,0	38,3	114		259	72,6			
18			28,6	42,0	38,7	146		259	66,6			
19			27,2	43,9	54,5	172		259	61,0			
20			26,6	46,9	55,6	189		259	55,1			
21			24,0	49,0	56,2	200		259	50,6			
22			22,3	54,5	63,4	211		259	45,9			
23			22,9	53,4	64,7	229	332	259	42,0			
24			23,4	51,2	65,3	247	330	259	36,5			
25			24,7	49,0	66,6	259	327	259	34,0			
26			24,7	44,9	73,2	271	323	259	31,2			
27			25,9	42,0	74,6	283	320	259	30,1			
28			27,2	40,1	75,3	292	317	259	26,9			
29			30,1	39,2	76,0	300	313	259	24,0			
30			30,8	38,3	76,7	308	310	259				
31					78,1		307	259				
Moy	(1)	(6)	(23,1)	40,1	(48,6)	155	(335)	269	84,3	(15)	(2)	(0)

Débit moyen annuel = (82) m³/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1956-1957

Année 1957-1958

Jours		Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv		Nov	Déc	Janv	
1		7,00	78,1	69,9	116	214	229				63,4	
2		8,28	72,6	69,9	116	220						
3		9,72	72,6	69,2	117	226						
4		9,72	73,2	67,9	118	232						
5		9,72	78,1	69,9	120	236				69,2		
6		11,3	80,2	69,9	121	241						
7		18,8	78,8	69,9	127	242						
8		21,2	79,5	70,5	128	242						
9		60,4	83,2	71,2	130	244						
10		80,2	86,9	71,9	131					76,7		
11		87,6	83,9	72,6	132	257						
12		95,4	84,6	76,0	140							
13		95,4	92,3	77,4	141							
14		104	86,9	78,1	143							
15		95,4	86,1	78,8	143	264				84,6		
16		87,6	84,6	79,5	145							
17		104	83,2	83,2	152							
18		95,4	78,8	83,9	155							
19		95,4	78,1	84,6	156							
20		92,3	77,4	86,1	164	251				87,6		
21			77,4	86,9	166							
22			76,0	91,5	168							
23			73,9	93,0	171							
24			73,2	93,8	179							
25			71,9	98,6	182	239				78,8		
26			71,9	100	180							
27			71,2	102	193							
28			71,2	107	197							
29			70,5	108	206							
30			70,5	109	207				64,1	64,1		
31				110		229				63,4		
Moy		(68,5)	78,2	83,9	151	(244)				(76,4)		

EL BEÏD à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m^3/s)

Année 1958-1959

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			5,88					98,6				
2												
3												
4												
5			7,12	17,9	4,58	13,5	67,3	93,8	19,7	3,48		
6												
7												
8												
9												
10			9,72	17,1	3,98	18,1	80,2	77,4	13,8	3,37		
11												
12												
13												
14												
15			11,7	15,0	4,27	23,2	91,5	66,6	9,42	3,27		
16												
17												
18												
19												
20			13,1	12,0	5,10	30,5	100	55,6	6,09	3,17		
21												
22												
23												
24												
25			14,4	9,42	6,88	40,1	104	48,5	4,42	3,08		
26												
27												
28									3,60			
29												
30			16,0	6,42	9,42	50,6	99,4	27,2		3,00		
31		5,88					99,4					
Moy			(11,5)	(13,6)	(5,65)	(26,6)	(87,6)	(65,1)	(11,5)	(3,28)		

Débit moyen annuel = (19,5) m^3/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1959-1960

Année 1960-1961

Jours	Août	Sept	Oct	Nov	Déc		Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars
1										256		
2												
3												
4												
5		62,8	21,2	35,6	141			36,5	229	244	86,1	8,28
6												
7												
8												
9												
10		34,8	14,2	42,9	182			51,7	265	200	67,9	4,92
11												
12												
13												
14												
15		49,0	15,0	50,6	207		10,3	64,1	287	159	45,4	
16												
17												
18												
19												
20	69,2	60,4	18,8	66,6	186		16,7	95,4	291	128	30,8	
21												
22												
23												
24												
25	87,6	50,1	22,9	89,2	172		24,7	138	289	109	19,7	
26												
27												
28											13,1	
29												
30	84,6	34,0	29,7	110	159		31,6	186	262	97,0		
31					159				259			
Moy	(71,2)	(51,6)	(20,9)	(60,6)	(171)			(85,1)	(265)	(165)	(51,7)	

EL BEÏD à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1961-1962

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1								152				
2												
3												
4												
5				105	87,6	162	275	136	43,9			
6												
7												
8												
9												
10				98,6	84,6	278	256	116	30,8			
11												
12												
13												
14												
15				97,0	85,4	299	226	102				
16												
17												
18												
19												
20			80,2	97,0	90,7	299	197	86,1				
21												
22												
23												
24												
25			80,2	97,0	98,6	299	180	73,2				
26												
27												
28												
29												
30			95,4	90,7	116	292	159	56,8				
31							156					
Moy				(98,0)	(93,1)	(260)	(222)	(100)	(20)			

EL HEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1962-1963

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			1,51					214	56,8		4,92	
2			1,61									
3			3,00									
4			3,78									
5			3,48	17,3	7,88	12,7	223	193	34,8		4,50	
6			5,88									
7			3,78									
8			3,48									
9			3,48									
10			3,00	14,4	6,09	20,9	286	159	20,2		4,92	
11			3,48								4,50	
12			3,00									
13			4,12								4,50	
14			4,92								4,12	
15			5,88	14,2	4,75	36,1	299	136				
16			6,42								4,12	
17			7,00								4,12	
18			8,28									
19			15,0									
20			27,2	13,3	3,98	49,0	275	110			4,50	
21			30,8									
22			34,8								3,78	
23			36,9								3,78	
24			34,8								3,78	
25			30,8	11,3	3,54	73,2	251	92,3			3,78	
26			32,8								3,78	
27			34,8								3,78	
28			32,8								3,48	
29			30,8								3,00	
30			24,0	9,57	4,92	112	226	73,2			3,00	
31			27,2				220					
Moy			15,1	(14,5)	(5,53)	(43,6)	(251)	(135)	(23,9)	(9,80)	(4,22)	

Débit moyen annuel = (42,5) m³/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1963-1964

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1								166				
2												
3												
4												
5				3,32	2,92	66,6	256					
6												
7												
8												
9												
10				3,08	3,13	116	235					
11												
12												
13												
14												
15				2,96	4,92	196	221					
16												
17												
18												
19												
20				2,88	27,2	235	203					
21												
22												
23												
24												
25				2,83	43,9	259	183					
26												
27												
28												
29												
30			6,42	2,88	53,9	262	166					
31							166					
Moy				(3,19)	(20,5)	(175)	(215)					

EL BEÏD à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1964-1965

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1								137	49,0			
2								136	46,4			
3								133	44,9			
4								130	42,9			
5				30,1	17,1	41,0	127	128	41,5			
6								125	40,1			
7								122	37,8			
8								120	35,6			
9								118	33,2			
10			18,8	24,7	17,5	52,2	152	116	31,6			
11	1,45							114	29,7			
12								109	27,6			
13								108	26,2			
14								105	25,0			
15			30,8	20,2	18,8	62,2	166	103	23,7			
16								99,4	22,6			
17								97,0	21,2			
18								93,8	20,2			
19								92,3	19,2			
20			53,4	17,5	23,7	70,5	159	87,6	18,1			
21								84,6	16,7			
22								81,7	16,0			
23								78,8	15,3			
24								76,0	15,0			
25			41,0	16,1	29,4	84,6	152	72,6	13,1			
26								69,9				
27								66,6				
28								63,4	11,3			
29							145	60,4				
30			36,5	17,1	35,6	104	141	57,4				
31							140	55,6				
Moy			(31,7)	(22,2)	(22,9)	(64,6)	(147)	98,1	(26,7)			

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1965-1966

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1								54,5		3,27	1,51	0,699
2										3,13	1,51	0,673
3										3,00		0,623
4									8,56	3,00	1,51	0,573
5				16,7	31,6	41,0	71,2	46,9		2,96	1,48	0,598
6										2,96	1,42	0,573
7										2,92	1,42	0,525
8									8,01	2,92	1,38	0,501
9									6,88	2,92	1,35	
10				29,7	31,6	43,9	75,3	36,9	6,65	2,88	1,32	
11									6,42	2,88	1,26	
12									6,20	2,88	1,23	
13									5,88	2,47	1,20	
14							79,5		4,92	2,40	1,20	
15				30,8	31,6	46,9	78,8	22,3	5,19	2,32	1,17	
16									4,83	2,17	1,17	
17									4,66	2,17	1,14	
18									4,50	2,06	1,14	
19									4,34	2,06	1,02	
20				32,8	34,8	53,9	75,3	16,7	4,19	2,17	0,968	
21									4,05	2,02	0,912	
22									4,05	2,02	0,912	
23									3,98	2,06	0,912	1,26
24									3,78	1,85	0,857	1,20
25			13,5	33,2	36,1	61,6	66,6	13,1	3,48	1,68	0,857	1,23
26									3,37	1,68	0,830	1,45
27									3,37	1,64	0,804	1,38
28									3,32	1,61	0,751	1,45
29									0,0	1,61	0,725	1,35
30			13,5	32,4	38,3	67,9	58,0			1,61	0,699	1,26
31							56,2			1,61		1,29
Moy				(28,0)	(33,8)	(50,6)	(71,2)	(26,9)	(5,85)	2,35	1,14	

Débit moyen annuel = (19,5) m³/s

EL HEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1966-1967

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	1,68	1,26	2,51	4,58	6,09	0,996	69,9	140	39,2	3,08	1,51	0,501
2	1,71	1,35	2,51	4,27	8,28	0,968	75,3	133	36,9	3,08	1,45	0,501
3	1,71	1,35	2,55	5,48	8,01	1,35	77,4	128	34,8	3,00	1,45	
4	1,64	1,45	2,44	10,7	7,49	1,35	80,2	123	32,8	2,92	1,45	
5	1,68	1,38	3,42	11,2	6,76	1,29	86,9	119	30,5	2,83	1,45	
6	1,61	1,38	3,48	11,2	6,31	1,61	93,0	116	28,3	2,59	1,38	
7	1,61	1,32	3,48	11,3	5,68	1,68	95,4	112	26,2	2,44	1,38	
8	1,48	1,32	3,22	9,12	5,28	1,71	102	109	24,3	2,21	1,20	0,598
9	1,38	1,78	3,37	8,56	4,58	2,88	111	108	22,6	2,21	1,20	0,598
10	1,51	1,68	2,92	7,88	4,58	3,32	117	108	18,1	2,13	1,20	0,549
11	1,78	1,38	3,22	7,62	4,27	4,34	121	106	16,5	2,06	1,08	0,549
12	1,68	1,38	2,92	7,00	3,72	15,6	121	104	14,4	2,06	0,968	0,549
13	1,58	1,38	2,83	7,00	3,48	18,1	130	101	13,3	2,21	0,912	0,501
14	1,51	1,32	3,66	5,28	3,22	19,5	137	101	12,4	2,21	0,912	0,501
15	1,51	1,35	3,66	4,66	3,17	18,8	140	99,4	12,2	2,06	0,912	0,501
16	1,48	1,35	3,60	4,34	2,83	23,7	149	99,4	9,42	2,06	0,912	0,454
17	1,42	1,29	3,98	4,12	2,55	26,9	150	92,3	8,56	2,06	0,885	0,454
18	1,68	1,29	3,78	3,84	2,40	30,1	150	88,4	8,14	1,92	0,885	0,454
19	1,78	1,29	3,66	3,66	2,13	32,0	152	85,4	7,37	1,78	0,885	0,648
20	1,78	1,23	3,48	3,48	1,99	30,8	152	83,9	6,65	1,71	0,857	0,648
21	1,68	1,35	4,58	3,37	1,99	37,4	150	79,5	5,98	1,71	0,857	0,648
22	1,58	1,35	4,42	4,75	1,81	40,1	149	76,7	5,88	1,64	0,857	0,804
23	1,45	1,45	3,72	4,50	1,71	42,4	146	74,6	5,28	1,64	0,857	0,804
24	1,45	1,78	3,22	4,75	1,58	45,9	154	70,5	4,75	1,51	0,804	0,804
25	1,35	1,85	3,00	4,58	1,64	43,9	154	68,6	4,27	1,51	0,804	0,751
26	1,26	2,02	2,92	4,42	1,48	52,2	152	65,3	4,12	1,68	0,804	0,751
27	1,14	2,51	2,79	5,28	1,38	49,0	152	63,4	3,72	1,68	0,751	0,673
28	1,14	2,59	3,78	5,28	1,26	58,0	145	60,4	3,37	1,68	0,699	0,673
29	1,26	3,42	3,66	5,10	1,20	62,8	145	56,8		1,58	0,598	0,598
30	1,26	3,48	3,98	4,27	1,05	65,3	142	52,2		1,58	0,598	0,598
31		3,37	4,58		0,996		142	50,6		1,51		0,598
Moy	1,53	1,70	3,40	6,05	3,52	24,5	127	92,8	15,7	2,08	1,02	0,595

Débit moyen annuel = 23,5 m³/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1967-1968

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	1,85	1,51	12,5	105	64,1	59,8	114	155	53,4	9,12	2,47	1,02
2	1,85	1,51	12,0	105	64,1	59,8	116	152	48,5	8,70	2,36	1,02
3	1,85	1,45	11,3	117	64,1	61,6	119	150	44,4	7,75	2,25	0,968
4	1,85	1,45	10,5	117	63,4	62,8	120	147	41,5	7,24	2,10	0,968
5	1,78	1,38	9,72	112	63,4	64,1	120	143	38,3	7,00	1,99	0,857
6	1,78	1,32	8,98	108	62,2	65,3	125	141	36,9	6,88	1,88	0,857
7	1,68	1,20	10,7	104	62,2	67,9	130	138	32,4	6,53	1,78	0,804
8	1,58	1,11	11,3	100	59,8	67,9	136	136	31,2	6,20	1,78	0,804
9	1,51	1,11	10,3	100	59,8	69,2	138	131	28,6	6,20	1,68	0,751
10	1,42	1,20	9,57	94,6	58,0	69,2	142	128	27,6	5,48	1,68	0,699
11	1,42	1,45	8,98	92,3	58,0	70,5	145	125	25,6	5,48	1,74	0,699
12	1,42	1,35	8,28	89,2	56,8	70,5	149	121	23,7	5,19	1,74	0,598
13	1,38	1,35	8,28	87,6	56,8	71,9	151	112	22,3	5,19	1,61	0,598
14	1,38	1,99	8,70	83,9	62,8	71,9	154	119	20,4	4,83	1,42	0,549
15	1,45	1,99	8,70	83,9	62,8	74,6	156	107	18,8	4,66	1,35	0,549
16	1,38	1,88	15,0	82,4	67,9	76,0	160	105	17,5	4,66	1,26	0,549
17	1,38	1,78	21,2	79,5	67,9	78,1	163	103	16,3	4,42	1,26	0,549
18	1,38	1,78	25,9	79,5	67,9	79,5	166	101	16,1	3,98	1,17	0,525
19	1,48	1,78	30,5	77,4	66,0	82,4	167	99,4	15,5	3,98	1,11	0,525
20	1,48	1,88	37,8	77,4	66,0	83,9	170	95,4	14,6	3,78	1,26	0,525
21	1,35	1,88	42,4	75,3	65,3	86,1	170	93,0	14,0	3,78	1,17	0,501
22	1,35	3,48	64,7	71,9	64,1	89,2	171	90,7	13,3	3,54	1,17	0,501
23	1,35	4,05	78,1	71,9	62,8	90,7	168	84,6	12,4	3,27	1,08	0,454
24	1,35	6,53	93,0	69,2	59,8	93,0	168	81,0	11,7	3,27	1,08	0,454
25	1,26	7,24	93,0	69,2	59,8	97,0	166	76,0	11,3	3,13	0,996	0,454
26	1,26	9,72	101	66,6	62,8	98,6	163	73,2	11,0	3,13	0,996	0,385
27	1,26	10,8	100	70,5	64,1	101	160	69,9	10,8	2,96	1,17	0,385
28	1,20	12,5	100	68,6	65,3	105	158	66,0	10,3	2,79	1,17	0,385
29	1,20	14,4	100	68,6	66,6	108	156	61,0	9,72	2,79	1,08	0,341
30	1,20	14,4	105	66,0	67,3	109	159	59,2		2,67	1,08	0,341
31		12,9	105		68,6		158	55,1		2,47		0,341
Moy	1,47	4,14	40,8	86,5	63,2	79,5	150	107	23,4	4,87	1,50	0,612

Débit moyen annuel = 47,1 m³/s

EL BEID à FOTOKOL-GAMBAROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1968-1969

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,623	1,08	3,72	7,49	2,88	9,12	83,9	100	14,6	1,71		
2	0,623	1,05	3,72	7,49	2,79	11,3	87,6	98,6	13,5	1,61		
3	0,623	1,02	3,42	7,49	2,67	12,9	91,5	97,0	12,7	1,51		
4	0,623	1,02	3,27	8,84	2,44	14,8	95,4	94,6	11,7	1,45		
5	0,623	1,08	3,17	10,0	2,36	18,1	97,0	93,0	10,7	1,20		
6	0,623	1,11	3,17	8,56	2,17	18,8	99,4	91,5	10,2	0,996		
7	0,623	1,11	3,17	8,56	2,02	19,9	103	88,4	9,42	0,804		
8	0,623	1,05	3,08	8,56	1,74	22,0	105	84,6	8,84	0,699		
9	0,623	1,81	3,60	8,01	1,61	23,2	108	81,7	8,01	1,08		
10	0,623	1,88	3,60	8,01	1,38	25,9	109	77,4	7,24	1,02		
11	0,623	1,92	5,78	7,75	1,29	28,3	110	74,6	6,76	0,968		
12	0,623	1,92	5,78	7,75	1,64	30,5	111	71,9	6,09	0,857		
13	1,35	1,95	4,58	6,76	1,71	32,4	115	69,2	5,68	0,857		
14	1,35	2,06	4,42	6,76	1,71	34,8	116	66,6	5,68	0,968		
15	1,32	2,13	4,42	6,31	1,71	36,9	116	65,3	5,68	0,857		
16	1,32	2,44	4,27	6,31	1,58	39,2	117	61,6	4,75	0,857		
17	1,29	2,44	4,58	6,09	1,38	41,5	119	57,4	3,17	0,857		
18	1,35	4,83	4,19	5,48	1,32	43,9	119	54,5	2,83	0,777		
19	1,29	8,98	3,84	5,28	1,38	46,4	120	51,7	2,28	0,777		
20	1,20	9,42	3,66	5,28	1,38	49,0	120	50,1	2,79	0,699		
21	1,14	12,0	3,66	5,10	1,32	51,7	120	46,4	2,67	0,598		
22	1,08	12,7	3,78	4,75	1,32	57,4	117	41,5	2,51	0,598		
23	1,08	12,0	3,78	4,58	1,26	60,4	115	39,2	2,51	0,598		
24	1,02	11,2	4,42	4,42	1,26	63,4	112	36,9	2,47	0,525		
25	1,08	10,5	4,75	4,12	1,26	66,6	109	34,8	2,40	0,525		
26	1,08	10,3	5,28	3,84	1,17	69,9	109	31,6	2,28	0,477		
27	1,14	9,57	5,58	3,72	1,05	72,6	108	30,5	2,02	0,477		
28	1,14	5,68	5,88	3,72	1,05	76,0	108	25,3	1,71	0,477		
29	1,14	5,78	6,53	3,27	0,996	76,7	106	21,7				
30	1,08	5,78	7,00	3,08	6,76	77,4	104	18,3				
31		4,42	7,49		7,75		102	15,3				
Moy	0,965	4,85	4,44	6,25	2,01	41,0	108	60,4	6,11	1,03	(0)	(0)

Débit moyen annuel = (19,7) m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1957-1958

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1								(47,0)	40,0	10,6	1,75	0,521
2									39,2	9,91	1,69	0,521
3									38,2	9,45	1,63	0,483
4									36,5	8,78	1,57	0,483
5									35,0	8,13	1,50	0,483
6									33,7	7,51	1,45	0,446
7									32,7	7,20	1,39	0,446
8									31,0	6,82	1,33	0,410
9									29,7	6,57	1,33	0,410
10									28,2	6,10	1,27	0,410
11									27,0	5,64	1,22	0,375
12									26,0	4,98	1,16	0,375
13									24,2	4,88	1,11	0,375
14									22,2	4,67	1,06	0,341
15									20,3	4,47	1,06	0,309
16									19,1	4,28	1,01	0,309
17									18,2	3,99	0,959	0,309
18								43,7	16,7	3,81	0,911	0,277
19								44,0	15,7	3,54	0,863	0,277
20								43,7	14,7	3,37	0,817	0,277
21								43,5	13,9	3,04	0,817	0,247
22								43,2	13,3	2,88	0,771	0,247
23								43,0	12,7	2,73	0,727	0,247
24								42,7	12,4	2,58	0,683	0,217
25								42,5	12,0	2,51	0,641	0,217
26								42,2	11,7	2,37	0,600	0,189
27								42,0	11,6	2,30	0,600	0,189
28								41,7	11,5	2,23	0,560	0,161
29								41,5		2,09	0,560	0,161
30								41,2		1,95	0,521	0,135
31								41,0		1,88		0,110
Moy								(44,2)	23,1	4,88	1,05	0,321

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1958-1959

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,086	3,12	29,5	45,2	45,0	50,7	55,0					
2	0,086	3,45	30,0	45,7	45,0	51,1	57,3					
3	0,063	3,81	31,2	45,5	45,2	51,4	57,7					
4	0,063	4,37	32,0	45,0	45,2	51,4	54,3					
5	0,063	4,57	32,5	44,5	45,5	51,8	58,5					
6	0,041	4,98	33,0	44,0	45,2	52,1						
7	0,041	5,41	33,5	43,5	45,2	52,1						
8	0,041	5,64	34,0	43,0	45,7	52,8						
9	0,020	6,82	34,5	42,5	45,7	52,8						
10	0,110	7,82	35,0	42,0	45,5	52,8						
11	0,217	8,56	35,7	42,2	46,0	53,2						
12	0,217	9,34	36,2	42,7	46,2	53,2						
13	0,277	9,80	36,7	43,7	46,2	53,5						
14	0,341	10,1	37,2	44,0	46,5	53,5						
15	0,410	11,2	37,7	44,7	46,7	53,9						
16	0,483	12,5	39,5	45,5	47,0	54,3						
17	0,560	12,7	41,5	46,0	47,0	54,3						
18	0,641	12,7	42,0	45,5	47,0	54,3						
19	0,727	13,6	42,0	45,2	47,0	54,6						
20	0,817	14,7	42,0	45,0	47,0	54,6						
21	1,06	15,7	42,5	44,7	47,6	54,6						
22	1,22	16,2	43,0	44,5	47,6	55,0						
23	1,39	16,9	43,5	44,2	47,6	55,0						
24	1,63	18,2	43,5	43,2	47,9	55,0						
25	1,82	19,0	43,2	42,7	47,9	55,0						
26	2,02	19,3	42,7	43,0	48,8	55,4						
27	2,16	20,3	43,0	43,5	48,8	55,4						
28	2,30	21,8	43,5	44,0	49,4	55,8						
29	2,51	24,7	44,0	44,5	49,8	56,1						
30	2,65	27,0	44,5	45,0	50,4	56,5						
31		28,5	44,7		50,7							
Moy	0,802	12,7	38,5	44,2	47,0	53,7						

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1962-1963

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		1,82	21,6	38,5	43,2		62,8	73,5	29,5	4,47	1,75	0,771
2		1,82	22,0	38,7	43,5		65,1	72,9	24,5	4,28	1,69	0,727
3		1,82	22,0	39,0	43,5		66,9	72,9	21,0	4,09	1,63	0,727
4		3,63	22,0	39,5	43,7		68,4	72,4	19,0	3,90	1,57	0,683
5		3,90	25,7	39,5	44,0		69,9	72,4	17,1	3,72	1,57	0,683
6		4,37	26,2	39,5	44,0		70,4	71,9	15,2	3,45	1,57	0,641
7		4,57	27,0	39,5	44,0		72,4	71,9	13,9	3,29	1,50	0,641
8		5,09	27,2	39,5	44,2		73,5	71,4	13,0	3,12	1,50	0,600
9		5,64	28,0	40,2	44,5		74,5	70,9	12,4	2,96	1,45	0,600
10		5,86	30,0	40,2	44,7		75,0	70,9	11,7	2,88	1,39	0,600
11		6,95	30,2	40,5	44,7		75,0	70,4	11,1	2,88	1,33	0,560
12		7,20	31,0	40,7	45,0		75,0	69,9	10,6	2,81	1,27	0,521
13		7,82	31,2	40,7	45,0		75,6	69,4	10,0	2,73	1,27	0,483
14		8,56	31,5	41,2	45,2		75,6	68,9	9,57	2,65	1,22	0,483
15		9,12	32,0	41,2	45,2		76,1	68,9	9,12	2,65	1,22	0,446
16		9,34	32,5	41,2	45,2		76,1	68,4	8,67	2,58	1,16	0,446
17		10,7	33,0	41,2	45,5		76,1	67,9	8,35	2,51	1,16	0,410
18		11,7	34,0	41,5	46,0		76,7	67,4	8,13	2,44	1,11	0,410
19		12,2	34,5	41,5	46,0		76,7	66,5	7,82	2,37	1,11	0,375
20		12,4	35,7	41,7	46,2		76,7	66,0	7,40	2,30	1,06	0,375
21		13,0	36,2	42,0	46,2		76,1	65,1	6,95	2,23	1,06	0,341
22		13,7	36,5	42,0	46,2		76,1	64,6	6,70	2,23	1,06	0,341
23		14,9	37,0	42,0	46,5		75,6	64,1	6,33	2,16	1,01	0,309
24		15,5	37,5	42,0	46,5		75,6	63,2	5,86	2,09	1,01	0,277
25		16,2	38,2	42,0	46,7		75,0	61,5	5,53	2,02	0,959	0,247
26		16,5	38,2	42,2	46,7		75,0	57,3	5,41	1,95	0,959	0,217
27		17,6	38,2	42,5	46,7		75,0	53,5	5,20	1,95	0,911	0,189
28		18,4	38,2	42,5	46,7		74,5	50,1	4,88	1,88	0,863	0,161
29		19,1	38,7	42,7	46,7		74,5	47,9		1,88	0,817	0,135
30		21,0	38,7	43,0			74,0	46,7		1,82	0,771	0,110
31		21,4	38,7				73,5	45,0		1,75		0,110
Moy	(0,0)	10,4	32,1	41,0	45,4	(55,3)	73,7	65,3	11,2	2,71	1,23	0,439

Débit moyen annuel = 28,4 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1963-1964

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,110		12,6	31,5	39,5	45,0	48,2	28,2	3,81	1,50		
2	0,086		13,1	32,0	39,7	45,2	48,5	22,7	3,63	1,45		
3	0,063		13,6	32,5	40,2	45,2	48,5	18,4	3,45	1,45		
4	0,041		14,1	32,7	40,7	45,5	48,5	17,1	3,29	1,39		
5	0,041		14,7	33,2	41,0	45,5	48,8	14,5	3,12	1,33		
6	0,020		15,2	33,5	41,0	45,7	48,8	13,1	2,96	1,27		
7	0,0		15,7	33,7	41,2	45,7	49,1	12,6	2,88	1,27		
8			16,2	33,7	41,5	45,7	49,1	11,7	2,81	1,22		
9			16,9	34,0	41,5	46,0	49,4	11,2	2,73	1,22		
10		0,0	17,3	34,2	41,7	46,0	49,4	10,5	2,65	1,16		
11		1,06	18,0	34,5	42,0	46,2	49,8	9,91	2,58	1,11		
12		2,09	19,0	35,0	42,2	46,2	49,8	9,34	2,58	1,11		
13		2,65	19,9	35,7	42,2	46,5	49,8	9,00	2,51	1,06		
14		3,04	21,0	36,0	42,5	46,5	50,1	8,56	2,44	1,06		
15		3,45	21,6	36,0	42,7	46,7	50,1	8,13	2,37	1,01		
16		3,90	22,5	36,2	43,2	46,7	50,1	7,82	2,30	0,959		
17		4,28	22,7	36,2	43,2	46,7	50,1	7,51	2,23	0,911		
18		4,57	23,5	36,5	43,5	47,0	50,4	7,07	2,16	0,863		
19		4,98	24,2	36,5	43,7	47,0	50,4	6,82	2,09	0,817		
20		5,64	25,2	36,7	43,7	47,0	50,4	6,57	2,09	0,771		
21		6,45	25,7	37,0	44,0	47,3	50,7	6,21	2,02	0,771		
22		7,30	26,5	37,2	44,0	47,3	50,7	5,86	1,95	0,727		
23		7,92	27,5	37,7	44,2	47,6	50,4	5,75	1,95	0,727		
24		8,56	28,0	38,0	44,2	47,6	50,1	5,31	1,88	0,683		
25		9,34	28,5	38,2	44,5	47,9	50,1	5,09	1,82	0,683		
26		10,0	28,7	38,5	44,5	47,9	49,4	4,78	1,75	0,641		
27		10,5	29,0	38,7	44,7	47,9	48,5	4,78	1,69	0,600		
28		10,9	29,5	39,0	44,7	48,2	45,7	4,57	1,63	0,560		
29		11,5	30,0	39,2	45,0	48,2	44,0	4,37	1,57	0,560		
30		11,8	30,5	39,2	45,0	48,2	39,0	4,18		0,521		
31		12,1	31,0		45,0		33,2	3,99		0,521		
Moy	0,012	4,58	22,0	35,8	42,8	46,7	48,4	9,54	2,45	0,966	(0,25)	(0,0)

Débit moyen annuel = 17,9 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1964-1965

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			16,9	41,0	45,2	49,8	77,2	80,6	41,2	6,57	2,51	1,22
2			17,1	41,0	45,2	49,8	78,9	79,4	36,2	6,21	2,44	1,16
3			17,3	41,7	45,5	50,1	80,6	78,9	31,5	5,86	2,44	1,16
4			17,4	42,2	45,7	50,1	82,3	78,9	25,0	5,64	2,30	1,11
5			18,6	42,5	45,7	50,4	82,9	78,3	20,5	5,41	2,23	1,11
6			19,0	42,7	46,0	50,7	84,1	77,8	17,6	5,09	2,16	1,06
7			19,5	43,0	46,0	51,1	84,7	77,2	16,0	4,67	2,16	1,06
8			20,1	43,0	46,2	51,4	84,7	76,7	14,9	4,47	2,09	1,01
9			21,8	43,0	46,5	51,8	85,3	76,1	13,6	4,37	2,09	0,959
10		1,57	22,7	43,0	46,5	52,1	85,9	75,6	12,6	4,37	2,02	0,911
11		3,81	23,5	43,2	46,7	52,5	86,5	70,9	12,1	4,28	2,02	0,863
12		4,88	24,0	43,2	46,7	52,8	86,5	74,5	12,7	4,09	1,95	0,863
13		6,21	25,2	43,2	44,5	53,9	87,1	74,0	12,0	3,90	1,95	0,817
14		7,07	26,2	43,5	44,5	54,6	87,1	73,5	11,1	3,72	1,88	0,817
15		7,92	26,7	44,0	44,5	55,4	87,7	73,5	10,3	3,54	1,82	0,771
16		8,56	27,5	44,0	47,3	56,1	87,7	72,9	9,57	3,45	1,82	0,771
17		9,34	28,2	44,0	47,3	56,5	88,3	72,4	9,34	3,37	1,75	0,727
18		10,1	29,0	44,0	47,6	56,9	88,3	71,9	9,23	3,37	1,75	0,683
19		11,1	30,5	44,0	47,6	57,7	88,9	71,4	9,00	3,29	1,69	0,641
20		12,4	31,0	44,0	47,6	58,5	88,9	70,9	8,78	3,29	1,69	0,641
21		12,7	33,0	44,5	47,9	59,4	87,1	70,4	8,35	3,20	1,63	0,600
22		13,0	34,5	44,5	47,9	60,2	86,5	69,9	8,03	3,20	1,57	0,560
23		13,3	36,2	44,5	48,2	61,9	85,9	68,9	7,92	3,12	1,57	0,560
24		14,5	36,7	44,5	48,2	63,7	85,3	67,9	7,82	3,12	1,50	0,560
25		14,9	37,2	44,5	48,5	65,5	84,7	67,4	7,61	3,04	1,45	0,521
26		15,2	37,5	44,5	48,5	67,4	84,7	66,5	6,70	2,96	1,39	0,521
27		15,7	37,5	45,0	48,8	69,4	84,1	64,1	6,82	2,88	1,39	0,483
28		15,9	37,7	45,0	48,8	70,9	84,1	61,9	6,82	2,81	1,33	0,446
29		16,0	38,0	45,0	48,8	72,9	83,5	58,5		2,73	1,33	0,410
30		16,2	38,7	45,0	49,1	75,0	82,9	52,8		2,65	1,27	0,375
31		16,7	39,5		49,4		81,7	46,7		2,58		0,309
Moy	(0,0)	7,97	28,0	43,6	47,0	57,6	84,9	71,0	14,1	3,91	1,84	0,765

Débit moyen annuel = 30,2 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1965-1966

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,247	0,0	19,9	38,7	45,2	48,8	52,5	52,3	5,98	2,44	1,22	0,521
2	0,189	0,0	22,7	39,5	45,2	48,8	52,5	50,9	5,64	2,37	1,16	0,521
3	0,161	0,0	23,7	41,0	45,5	48,8	52,8	48,8	5,53	2,30	1,16	0,483
4	0,135	0,0	25,0	42,0	45,7	49,1	52,8	46,4	5,41	2,23	1,11	0,483
5	0,135	0,0	26,2	42,7	46,0	49,1	53,2	43,0	4,98	2,23	1,11	0,446
6	0,110	0,0	27,0	43,0	46,0	49,4	53,2	40,0	4,88	2,16	1,06	0,410
7	0,110	0,0	27,2	43,2	46,2	49,4	53,5	35,5	4,78	2,16	1,01	0,375
8	0,086	0,0	27,7	43,2	46,2	49,8	53,5	31,5	4,67	2,09	1,01	0,375
9	0,086	0,0	29,0	43,5	46,5	49,8	53,9	27,0	4,57	2,09	0,959	0,341
10	0,063	1,88	29,7	43,5	46,5	50,1	53,9	23,5	4,37	2,02	0,911	0,341
11	0,041	3,04	30,0	43,5	46,7	50,1	54,3	20,5	4,18	2,02	0,863	0,309
12	0,041	4,28	30,2	43,7	46,7	50,1	54,3	18,7	3,99	1,95	0,863	0,309
13	0,020	4,57	30,7	43,7	46,7	50,1	54,6	16,7	3,90	1,95	0,863	0,309
14	0,0	5,41	31,0	43,7	44,5	50,4	54,6	15,0	3,81	1,88	0,817	0,247
15	0,0	6,45	31,2	44,0	44,5	50,4	55,0	14,1	3,72	1,88	0,817	0,217
16	0,0	7,40	31,5	44,0	44,5	50,4	55,4	12,8	3,63	1,82	0,817	0,217
17	0,0	8,24	31,7	44,0	44,5	50,7	55,4	11,9	3,54	1,75	0,817	0,189
18	0,0	9,34	32,2	44,0	44,5	50,7	55,4	11,4	3,45	1,69	0,771	0,135
19	0,0	10,9	33,0	44,2	47,3	50,7	55,8	10,9	3,37	1,63	0,771	0,086
20	0,0	12,1	33,2	44,2	47,3	50,7	55,8	10,4	3,29	1,63	0,727	0,063
21	0,0	12,7	33,7	44,2	47,3	51,1	55,8	9,68	3,20	1,63	0,727	0,020
22	0,0	13,4	34,7	44,5	47,6	51,1	55,0	9,17	3,12	1,57	0,683	0,020
23	0,0	14,5	35,5	44,5	47,6	51,1	55,0	8,84	2,96	1,57	0,641	0,0
24	0,0	15,9	35,7	44,5	47,9	51,4	55,0	8,19	2,81	1,50	0,600	0,0
25	0,0	16,7	36,0	44,5	47,9	51,4	55,0	7,87	2,73	1,50	0,600	0,0
26	0,0	17,6	41,5	44,7	47,9	51,4	55,0	7,66	2,65	1,45	0,600	0,0
27	0,0	18,2	37,0	44,7	47,9	51,8	55,0	7,40	2,58	1,39	0,560	0,0
28	0,0	19,1	37,5	44,7	48,2	51,8	54,6	6,88	2,51	1,33	0,560	0,0
29	0,0	19,7	38,0	45,0	48,2	52,1	54,3	6,57	0,0	1,27	0,560	0,0
30	0,0	20,7	38,5	45,0	48,5	52,1	53,9	6,45		1,27	0,521	0,0
31		21,4			48,5		53,5	6,27		1,22		0,0
Moy	0,047	8,51	31,6	43,5	46,6	50,4	54,3	20,2	3,94	1,81	0,830	0,207

Débit moyen annuel = 21,9 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1966-1967

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,0	12,5	31,2	34,0	36,0	42,7	46,2	50,1	9,45	2,81	1,27	0,375
2	0,0	13,3	31,2	34,0	36,0	43,0	46,2	50,1		2,65	1,22	0,375
3	0,0	14,1	31,2	34,2	36,0	43,0	46,5	50,1		2,58	1,16	0,341
4	0,0	14,7	31,5	34,5	36,2	43,2	46,5	50,1	8,56	2,51	1,11	
5	0,0	15,4	31,5	34,7	36,2	43,2	46,5	50,1	8,03	2,44	1,06	
6	0,0	16,0	31,5	35,0	36,5	43,5	46,5	50,1	7,71	2,37	1,01	
7	0,0	16,7	31,2	35,0	37,0	43,5	46,7	49,8	7,51	2,30	0,959	0,309
8	0,0	17,4	31,0	35,2	37,7	43,7	46,7	49,8	6,95	2,23	0,911	0,189
9	0,0	18,0	30,7	35,2	39,0	43,7	46,7	49,4	6,57	2,23	0,911	0,086
10	0,0	18,4	30,7	35,5	39,5	44,0	47,3		6,33	2,16	0,863	0,020
11	0,0	19,5	30,5	35,5	40,2	44,0	47,3		5,86	2,09	0,817	0,0
12	0,0	20,5	30,5	35,7	40,5	44,2	47,6	46,2	5,75	2,09	0,817	0,0
13	0,0	21,0	30,5	36,0	40,7	44,2	47,6	41,4	5,41	2,02	0,817	0,0
14	0,0	21,6	30,7	36,0	41,0	44,2	47,9	39,4	5,20	1,95	0,771	0,0
15	0,0	22,5	30,7	36,2		44,5	47,9	38,2	5,09	1,88	0,771	0,0
16	0,0	23,2	30,2	36,5		44,5	48,2	35,6	4,98	1,88	0,727	0,0
17	0,0	24,0	31,0	36,5		44,5	48,2	31,5	4,67	1,82	0,727	0,0
18	0,0	24,5	31,5	36,7			48,5	28,9	4,47	1,82	0,683	0,0
19	0,0	25,2	32,2	36,7		44,7	48,5	23,9	4,28	1,75	0,600	0,0
20	0,0	26,0	32,2	37,0		44,7	48,8	21,3	4,09	1,69	0,600	0,0
21	0,0	26,7	32,5	37,0	41,5	44,7	49,1	17,6	3,90	1,63		
22	3,87	27,0	32,7	37,0	41,7	45,0	49,1		3,81	1,63	0,560	0,0
23	5,31	27,2	33,0	37,2	41,7	45,0	49,4			1,57	0,521	0,0
24	6,53	27,7	32,7	37,2	42,0	45,0	49,4		3,37	1,57	0,521	0,0
25	7,92	28,0	32,7	37,5	42,0	45,2	49,4		3,20	1,50	0,483	0,0
26	8,84	28,2	33,0	37,7	42,2	45,2	49,8	13,4	3,12	1,45	0,446	0,0
27	9,51	28,5	32,7	38,0	42,2	45,5	49,8	12,0	3,04	1,39	0,446	0,0
28	10,4	30,0	32,5	38,0	42,5	45,5	49,8	11,5	2,96	1,39	0,410	0,0
29	11,1	31,0	32,5	38,2	42,5	45,7	49,8	10,9	0,0	1,33	0,410	0,0
30	11,7	31,0	32,7	38,2	42,7	46,0	49,8	10,3		1,33	0,375	0,0
31		31,2	33,7		42,7		49,8	9,80		1,27		0,0
Moy	2,51	22,6	31,7	36,2	40,1	44,4	48,1	32,2	5,57	1,91	0,752	0,086

Débit moyen annuel = 22,3 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à BAGARA

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1967-1968

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,0	0,0	8,78	33,7	41,2	46,5	50,7	16,2	3,54	1,63	0,560	0,0
2	0,0	0,0	9,23	34,0	41,5	46,5	50,7		3,45	1,57	0,521	0,0
3	0,0	0,0	9,74	34,2	42,0	46,5	51,1		3,37	1,57	0,483	0,0
4	0,0	0,0	10,5	34,5	42,0	46,7	51,4		3,29	1,50	0,446	0,0
5	0,0	0,0	11,4	34,5	42,2	46,7	51,4		3,20	1,45	0,410	0,0
6	0,0	0,0	12,2	34,5	42,2	46,7	51,8	11,1	3,04	1,39	0,410	0,0
7	0,0	0,0	13,2	34,7	42,5	46,7	51,8	10,9	2,96	1,33	0,375	0,0
8	0,0	0,0	14,2	35,0	42,5	47,3	52,1	10,3	2,88	1,33	0,375	0,0
9	0,0	0,0	14,9	35,2	42,7	47,3	52,1	9,57	2,81	1,33	0,341	0,0
10	0,0	0,0	15,7	35,5	43,0	47,3	52,1	9,23	2,73	1,27	0,309	0,0
11	0,0	0,0	16,4	36,0	43,2	47,3	52,1	8,89	2,65	1,27	0,277	0,0
12	0,0	0,0	16,7	37,0	43,2	47,6	52,5	8,46	2,58	1,22	0,247	0,0
13	0,0	0,0	17,3	37,2	43,5	47,6	52,5	8,24	2,58	1,22	0,247	0,0
14	0,0	0,0	18,8	37,5	43,7	47,6	52,1	7,92	2,58	1,11	0,217	0,0
15	0,0	0,0	19,0	37,7	43,7	47,9	51,8	7,61	2,51	1,06	0,217	0,0
16	0,0	0,0	19,6	38,0	44,0	47,9	51,4	6,95	2,30	1,06	0,189	0,0
17	0,0	0,0	20,6	38,2	44,2	48,2	51,1	6,45	2,23	1,01	0,086	0,0
18	0,0	0,0	21,6	38,5	44,5	48,5	50,7	6,33	2,23	1,01	0,0	0,0
19	0,0	0,0	21,8	38,7	44,5	48,5	50,2	5,98	2,16	1,01	0,0	0,0
20	0,0	0,0	22,7	39,0	44,7	48,8	49,3	5,75	2,09	0,959	0,0	0,0
21	0,0	0,0	24,0	39,0	44,7	48,8	48,0	5,53	2,02	0,959	0,0	0,0
22	0,0	0,0	24,7	39,5	45,0	49,1	46,4	5,31	2,02	0,911	0,0	0,0
23	0,0	0,0	29,7	39,7	45,0	49,1	43,7	5,09	1,95	0,863	0,0	0,0
24	0,0	0,0	31,7	39,7	45,2	49,4	41,0	4,98	1,95	0,817	0,0	0,0
25	0,0	0,0	32,5	40,0	45,2	49,4	35,7	4,88	1,88	0,817	0,0	0,0
26	0,0	0,0	32,7	40,2	45,5	49,4	30,5	4,67	1,82	0,771	0,0	0,0
27	0,0	0,0	32,7	40,5	45,5	49,8	27,0	4,37	1,75	0,771	0,0	0,0
28	0,0	0,530	33,0	40,7	45,7	50,1	22,5	4,18	1,75	0,727	0,0	0,0
29	0,0	4,12	33,0	41,0	45,7	50,1		3,90		0,641	0,0	0,0
30	0,0	6,10	33,2	41,2	46,0	50,4		3,81		0,600	0,0	0,0
31	0,0	7,92	33,5		46,2		18,0	3,63		0,600	0,0	0,0
Moy	0,0	0,60	21,1	37,5	43,9	48,1	44,6	7,90	2,48	1,09	0,190	0,0

Débit moyen annuel = 17,4 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1957-1958

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,0	12,3	19,9	24,3	28,0	29,7	31,6	34,4	36,6	28,4	2,77	1,11
2		12,2	20,2	24,4	28,0	29,7	31,6	34,4	36,6	26,3	2,77	1,02
3		13,0	20,4	25,0	28,3	29,8	31,6	34,7	36,6	24,7	2,77	0,934
4		13,5	20,6	25,0	28,1	29,8	31,8	34,7	36,4	21,1	2,64	0,893
5		14,2	20,6	25,0	28,3	29,8	31,9	34,7	36,4	19,7	2,64	0,893
6		15,0	20,7	25,0	28,1	30,0	31,9	34,6	36,2	18,1	2,58	0,853
7		15,6	20,7	25,0	28,1	30,0	31,9	34,9	36,0	16,2	2,58	0,814
8		16,2	21,1	25,0	28,3	30,2	32,3	34,9	36,0	15,0	2,58	0,737
9		16,4	21,2	25,1	28,3	30,3	32,3	34,9	35,8	15,1	2,58	0,700
10		16,9	22,1	25,1	28,3	30,3	32,3	35,3	35,7	12,6	2,45	0,628
11		17,0	22,2	25,3	28,4	30,6	32,3	35,5	35,1	11,6	2,45	0,593
12		17,4	22,2	25,3	28,4	31,0	32,3	35,5	34,9	9,05	2,45	0,559
13		17,5	22,3	25,3	28,6	31,0	32,5	35,7	34,7	8,14	2,45	0,526
14		17,6	22,5	25,4	28,7	31,0	32,6	36,0	34,6	7,46	2,39	0,493
15		17,8	22,5	25,7	28,7	31,0	32,6	36,2	34,2	6,68	2,26	0,628
16		18,0	22,5	25,7	28,7	31,1	32,8	36,2	33,7	5,69	2,26	0,700
17	0,0	18,3	22,6	25,7	28,9	31,1	33,0	36,2	33,5	5,58	2,26	0,737
18	1,06	18,4	22,7	26,0	29,1	31,3	33,0	36,4	33,3	5,25	2,26	0,559
19	3,63	18,5	22,9	26,3	29,1	31,3	33,0	35,8	32,5	5,03	2,14	0,400
20	5,14	18,6	23,2	26,8	29,1	31,4	33,3	35,8	32,1	4,71	2,14	0,342
21	6,35	18,8	23,3	26,8	29,2	31,4	33,3	36,0	31,6	4,60	1,97	0,286
22	7,35	18,9	23,7	27,1	29,2	31,0	33,5	36,0	31,3	4,43	1,97	0,234
23	8,25	19,0	23,9	27,2	29,4	31,1	33,5	36,2	31,1	4,27	1,80	0,234
24	9,05	19,1	23,9	27,2	29,4	31,1	33,5	36,2	30,8	4,18	1,64	0,209
25	9,74	19,1	24,0	27,8	29,5	31,1	33,7	36,2	30,3	4,02	1,48	0,185
26	10,3	19,5	23,9	27,4	29,5	31,3	33,8	36,4	29,8	3,86	1,34	0,185
27	9,39	19,7	23,9	27,5	29,7	31,4	33,8	36,4	29,2	3,79	1,24	0,138
28	10,8	19,8	23,9	27,7	29,7	31,4	34,0	36,4	28,4	3,48	1,15	0,138
29	12,0	19,9	23,9	27,8	29,7	31,6	34,0	36,4		3,26	1,11	0,116
30	12,4	19,7	24,0	28,1	29,7	31,6	34,4	36,6		3,12	1,06	0,116
31		19,9	24,1		29,8		34,4	36,6		2,91		0,095
Moy	3,52	17,4	22,4	26,0	28,9	30,8	32,9	35,7	33,7	9,95	2,14	0,518

Débit moyen annuel = 20,3 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1958-1959

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,095	0,853	20,4	30,6	31,8	32,3	33,5					
2	0,095	1,34	21,2	30,6	31,6	32,3	33,5					
3	0,055	2,03	21,6	30,6	31,8	32,3	33,5					
4	0,036	3,33	22,9	30,8	31,6	32,3	33,8					
5	0,0	4,10	22,6	30,8	31,6	32,3	33,8					
6	0,0	5,69	24,0	30,8	31,8	32,3	33,8					
7	0,0	5,58	24,9	30,8	31,9	32,5	33,8					
8	0,0	7,46	25,3	30,8	31,9	32,5	34,0					
9	0,0	8,71	25,3	30,6	32,1	32,5	34,0					
10	0,0	9,74	25,4	30,8	32,1	32,5	34,2					
11	0,0	9,05	25,4	30,8	32,1	32,5	34,2					
12	0,0	10,2	25,4	31,0	31,9	32,6	34,2					
13	0,0	11,1	26,0	31,0	31,9	32,6	34,2					
14	0,0	11,8	26,6	31,0	31,8	32,6	34,4					
15	0,0	12,3	26,8	31,0	31,8	32,6	34,4					
16	0,0	12,9	27,1	31,1	31,8	32,6	34,4					
17	0,116	13,5	27,1	31,1	31,8	32,6	34,6					
18	0,161	14,0	27,2	31,1	31,8	32,6	34,6					
19	0,116	14,6	27,4	31,1	31,8	32,8	34,7					
20	0,095	15,3	27,5	31,3	31,8	32,8	34,7					
21	0,055	15,8	27,5	31,3	31,8	33,0	34,7					
22	0,017	16,0	28,0	31,3	31,8	33,0	34,7					
23	0,0	16,2	28,3	31,4	31,8	33,0	34,7					
24	0,0	17,2	28,7	31,4	31,9	33,1	34,9					
25	0,0	18,0	29,2	31,4	32,1	33,1	34,9					
26	0,0	18,6	29,2	31,4	32,1	33,1	34,9					
27	0,0	19,1	29,4	31,4	32,1	33,3	35,1					
28	0,0	19,8	29,7	31,6	32,3	33,3	35,1					
29	0,0	20,7	29,8	31,8	32,3	33,3	35,1					
30	0,0	21,1	30,0	31,8	32,3	33,5	35,3					
31		21,5	30,3		32,3		35,3					
Moy	0,028	12,2	26,5	31,1	31,9	32,7	34,4					

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1960-1961

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		0,0	10,9	26,0		30,0	30,6	27,4				
2			11,3	26,0		30,0	30,6					
3			11,6	26,0		30,0	30,6					
4			12,1	26,0		30,0	31,0					
5		2,91	12,6	26,2		30,2	31,0					
6		3,19	13,5	26,2		30,2	31,0					
7		3,26	14,0	26,2		30,2	31,0					
8		3,63	15,3	26,3		30,2	31,0					
9		4,02	17,0	26,3		30,2	31,0					
10		4,35	17,9	26,3		30,2	31,0					
11		5,03	18,5	26,5		30,2	31,0					
12		5,36	18,9	26,5		30,3	31,1					
13		5,69	19,1	26,5		30,3	31,3					
14		5,80	19,4	26,8		30,3	31,3					
15		6,02	19,4	26,9		30,3	31,3					
16		6,24	19,7	27,2		30,3	31,3					
17		6,35	19,9	27,2		30,3	31,3					
18		6,68	20,1	27,4		30,3	31,4					
19		6,90	20,4	27,4		30,5	31,4					
20		7,01	21,1	27,5		30,5	31,4					
21		7,35	21,6	27,5		30,5	31,8					
22		7,69	21,9	27,5		30,5	31,8					
23		7,80	22,1	27,8		30,5	31,8					
24		8,02	22,3	27,8		30,5	31,8					
25		8,14	22,7	27,8		30,5	31,8					
26		8,48	23,2	28,0		30,5	31,8					
27		8,71	23,4	28,0		30,6	31,9					
28		9,16	23,7	28,0		30,6	31,9					
29		9,51	24,4	28,1		30,6	30,6					
30		10,2	25,0	28,1		30,6	30,0					
31		10,7	25,6				27,5					
Moy	(0,0)	5,89	19,0	27,0	(29,1)	30,3	31,1					

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1961-1962

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1				30,0	30,3	31,3	32,3	33,0	6,79	2,26	0,493	0,0
2				30,0	30,3	31,3	32,3		6,79	2,14	0,493	0,0
3				30,0	30,3	31,3	32,3		6,79	1,91	0,493	0,0
4				30,0	30,3	31,3	32,5		6,79	1,91	0,493	0,0
5				30,0	30,5	31,4	32,5		6,79	1,80	0,493	0,0
6				30,0	30,5	31,4	32,8		6,79	1,80	0,461	0,0
7				30,0	30,5	31,6	32,8		6,79	1,75	0,461	0,0
8			19,4	30,0	30,5	31,6	32,8		5,69	1,75	0,430	0,0
9				30,0	30,5	31,6	32,8		5,69	1,64	0,314	
10		0,0		30,0	30,5	31,6	32,8		4,60	1,59	0,314	
11				30,0	30,5	31,6	33,0		4,60	1,59	0,314	
12			20,7	30,0	30,5	31,6	33,0		4,60	1,34	0,260	
13			20,7	30,0	30,6	31,8	33,0		4,60	1,34	0,234	
14			22,7	30,0	30,6	31,8	33,0		4,60	1,34	0,209	
15			22,7	30,0	30,6	31,8	33,0		3,79	1,34	0,209	
16			22,9	30,0	30,8	31,8	33,0		3,79	1,29	0,161	
17			23,0	30,0	30,8	31,8	33,1		3,48	1,24	0,161	
18			23,3	30,0	30,8	31,8	33,1		3,12	1,24	0,116	
19			23,6	30,0	30,8	31,8	33,1		3,12	1,20	0,116	
20			24,0	30,0	30,8	31,9	33,1		3,12	1,15	0,116	
21			24,3	30,0	31,0	31,9	33,1		2,98	1,02	0,116	
22			24,3	30,0	31,0	31,9	33,1		2,91	0,976	0,055	
23			25,1	30,0	31,0	31,9	33,1		2,77	0,976	0,055	
24			25,4	30,0	31,0	32,1	33,1		2,64	0,934	0,0	
25			25,6	30,0	31,0	32,1	33,1		2,51	0,934	0,0	
26			26,0	30,0	31,0	32,1	33,1		2,32	0,853	0,0	
27			27,5	30,0	31,1	32,1	33,1		2,32	0,814	0,0	
28			28,0	30,0	31,1	32,3	33,1		2,32	0,814	0,0	
29			28,4	30,2	31,1	32,3	33,1			0,775	0,0	
30			28,4	30,2	31,1	32,3	33,1			0,737	0,0	
31			28,6		31,1		33,0			0,700		
Moy	(0,0)	(5,0)	22,3	30,0	30,7	31,8	32,9	(20,3)	4,40	1,33	0,219	0,0

Débit moyen annuel = (15 m³/s)

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1962-1963

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			17,8	27,5	30,0	31,0	33,1	37,2	36,0	5,69	1,86	0,700
2			18,1	27,7	30,0	31,1	33,1	37,2	35,5	5,47	1,80	0,664
3			18,5	27,7	30,0	31,4	33,3	37,2	34,7	5,25	1,75	0,593
4			19,0	27,8	30,0	31,4	33,3	37,4	33,8	4,82	1,69	0,559
5			19,3	27,8	30,0	31,4	33,5	37,4	32,6	4,60	1,69	0,526
6		0,0	19,7	28,0	30,0	31,4	33,5	37,4	31,3	4,43	1,64	0,493
7		0,185	19,9	28,3	30,0	31,6	33,7	37,4	29,8	4,43	1,64	0,493
8		3,05	20,3	28,3	30,0	31,6	33,7	37,6	28,3	4,27	1,64	0,461
9		3,79	21,2	28,4	30,0	31,6	33,8	37,6	26,0	4,10	1,59	0,430
10		4,10	21,4	28,4	30,0	31,6	33,8	37,6	23,7	3,94	1,53	0,400
11		4,52	21,6	28,4	30,0	31,6	34,0	37,6	21,5	3,79	1,53	0,400
12		4,27	21,8	28,4	30,0	31,8	34,2	37,6	19,4	3,63	1,39	0,370
13		5,03	22,2	28,6	30,0	31,8	34,4	37,6	17,4	3,63	1,34	0,370
14		5,80	22,2	28,7	30,3	31,8	34,6	37,6	16,1	3,48	1,24	0,370
15		6,68	22,6	28,9	30,3	31,8	34,7	37,6	15,0	3,48	1,20	0,342
16		7,35	23,0	28,9	30,3	31,9	34,9	37,6	13,8	3,19	1,20	0,314
17		8,36	23,6	28,9	30,3	31,9	35,1	37,6	12,6	2,98	1,20	0,286
18		8,59	23,7	28,9	30,5	31,9	35,3	37,6	11,4	2,77	1,15	0,260
19		10,2	24,1	29,1	30,5	32,1	35,3	37,6	10,8	2,64	1,11	0,234
20		11,0	24,4	29,1	30,5	32,1	35,3	37,6	10,2	2,51	1,06	0,209
21		11,7	24,9	29,1	30,6	32,1	35,5	37,6	9,51	2,51	1,02	0,185
22		12,4	25,4	29,2	30,6	32,3	35,7	37,6	9,05	2,45	0,934	0,161
23		13,1	25,9	29,2	30,6	32,5	35,8	37,4	8,25	2,39	0,893	0,138
24		13,6	26,3	29,4	30,6	32,5	36,0	37,4	7,69	2,32	0,853	0,116
25		14,2	26,9	29,4	30,8	32,6	36,2	37,2	7,24	2,26	0,853	0,095
26		15,0	26,9	29,5	31,0	32,6	36,4	37,2	6,79	2,20	0,814	0,074
27		15,6	27,1	29,7	31,0	32,8	36,6	37,0	6,46	2,14	0,775	0,055
28		16,1	27,2	29,8	31,0	32,8	36,8	37,0	6,02	2,14	0,775	0,036
29		16,8	27,2	29,8	31,1	33,0	36,8	36,8		2,08	0,737	0,036
30		16,8	27,4	29,8	31,1	33,0	37,0	36,6		1,97	0,737	0,017
31		17,3	27,5		31,1		37,0	36,4		1,91		0,0
Moy	0,0	7,92	23,1	28,8	30,4	32,0	34,9	37,3	18,6	3,34	1,25	0,303

Débit moyen annuel = 18,2 m³/s

KOMADOUGOU-YOHE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1963-1964

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,0		11,8	22,7	26,8	30,0	31,3	32,1	4,27	1,39	0,314	0,0
2	0,0		12,1	22,9	26,8	30,0	31,3	31,9	4,02	1,34	0,314	
3	0,0		12,3	23,0	26,9	30,0	31,3	31,6	3,79	1,29	0,286	
4	0,0		13,0	23,2	27,1	30,0	31,3	30,8	3,63	1,24	0,286	
5	0,0		13,3	23,4	27,2	30,0	31,4	30,0	3,41	1,15	0,260	
6	0,0		13,8	23,7	27,4	30,0	31,4	28,4	3,26	1,15	0,234	
7	0,0		14,2	23,9	27,5	30,0	31,6	26,2	3,12	1,11	0,209	
8	0,0		14,7	24,0	27,7	30,0	31,6	23,4	2,98	1,11	0,185	
9	0,0		15,2	24,1	27,7	30,0	31,6	21,2	2,84		0,161	
10	0,0		15,6	24,1	27,8	30,0	31,6	18,6	2,77		0,138	
11	0,0		16,0	24,3	28,0	30,2	31,6	16,2	2,64	0,934	0,116	
12	0,0		16,2	24,4	28,0	30,2	31,8	15,0	2,51	0,893	0,095	
13	0,0		16,4	24,6	28,1	30,2	31,8	13,0	2,39	0,893	0,074	
14	0,0	0,0	16,7	24,7	28,3	30,3	31,8	12,0	2,39	0,853	0,055	
15	0,0	0,138	16,9	24,9	28,4	30,3	31,8	10,8	2,39	0,814	0,055	
16	0,0	2,14	17,4	25,0	28,7	30,5	31,8	9,74	2,32	0,775	0,036	
17	0,0	2,77	18,1	25,1	28,9	30,5	31,8	9,05	2,26	0,737	0,036	
18	0,0	2,91	18,4	25,1	29,2	30,5	31,8	8,36	2,14	0,700	0,017	
19	0,0	2,98	18,9	25,3	29,4	30,6	31,9	7,91	2,08	0,664	0,0	
20	0,0	3,63	19,4	25,4	29,5	30,6	31,9	7,57	1,97	0,628	0,0	
21	0,0	4,71	19,7	25,6	29,5	30,6	31,9	7,13	1,91	0,628	0,0	
22		5,25	19,9	25,7	29,5	30,6	32,1	6,79	1,86	0,593	0,0	
23		5,91	20,7	25,9	29,5	30,6	32,1	6,46	1,80	0,559	0,0	
24		6,46	21,0	25,9	29,5	30,8	32,1	6,13	1,75	0,526	0,0	
25		7,24	21,2	26,0	29,5	30,8	32,1	5,80	1,69	0,493	0,0	
26		7,91	21,4	26,2	29,7	30,8	32,3	5,58	1,53	0,461	0,0	
27		9,05	21,6	26,2	29,7	30,8	32,3	5,14	1,48	0,430	0,0	
28		9,51	21,9	26,3	29,7	30,8	32,3	4,92	1,43	0,400	0,0	
29		10,2	22,1	26,5	29,8	31,0	32,3	4,71		0,370	0,0	
30		10,7	22,2	26,6	29,8	31,1	32,3	4,60		0,342	0,0	
31		11,4	22,5		30,0		32,3	4,43		0,342		
Moy	0,0	3,32	17,6	24,8	28,6	30,4	31,8	14,4	2,48	0,801	0,096	0,0

Débit moyen annuel = 12,9 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1964-1965

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			16,1	27,2	30,2	31,8	33,8	40,2	38,1	7,13	2,20	1,15
2			16,4	27,2	30,2	31,8	34,0	40,2	38,0	6,79	2,14	1,11
3			16,8	27,7	30,3	31,9	34,2	40,2	37,4	6,68	2,08	1,06
4			17,0	28,0	30,3	31,9	34,4	40,2	37,0	6,46	2,03	1,02
5			17,0	28,1	30,5	31,9	34,6	40,2	36,2	6,02	1,91	0,853
6			17,6	28,3	30,5	32,1	34,9	40,2	35,1	6,02	1,86	0,593
7			18,1	28,4	30,5	32,1	35,1	40,2	34,2	5,69	1,80	0,526
8			18,1	28,6	30,5	32,1	35,3	40,2	32,8	5,25	1,75	0,493
9			18,6	28,6	30,6	32,1	35,5	40,2	31,0	5,36	1,69	0,493
10			19,0	28,7	30,6	32,3	35,7	40,2	30,0	4,60	1,64	0,493
11			19,4	28,9	30,8	32,3	35,8	40,2	27,8	4,43	1,59	0,461
12			19,8	29,1	30,8	32,3	36,0	40,0	25,6	4,43	1,53	0,430
13		0,0	20,3	29,1	30,8	32,5	36,2	40,0	23,4	4,43	1,48	0,400
14		1,97	20,8	29,4	30,8	32,5	36,4	40,0	20,7	4,10	1,43	0,370
15		4,27	21,2	29,7	30,8	32,5	36,8	40,0	17,4	3,86	1,39	0,342
16		5,69	21,5	29,7	31,0	32,5	37,0	40,0	16,2	3,48	1,34	0,286
17		6,57	21,6	29,8	31,0	32,6	37,0	39,8	14,8	3,33	1,29	0,314
18		7,01	21,9	29,8	31,0	32,6	37,4	39,8	13,8	3,12	1,24	0,286
19		8,25	22,3	29,8	31,1	32,8	37,8	39,6	12,6	3,05	1,20	0,260
20		9,05	22,6	29,8	31,1	32,8	38,0	39,6	12,0	3,05	1,20	0,234
21		10,2	23,2	30,0	31,1	33,0	38,5	39,3	11,3	2,98	1,15	0,234
22		11,5	23,7	30,0	31,3	33,0	38,7	39,3	10,2	2,98	1,11	0,209
23		13,1	24,0	30,0	31,3	33,0	38,9	39,1	10,2	2,84	0,976	0,209
24		13,4	24,7	30,0	31,4	33,1	39,1	39,1	9,62	2,77	1,02	0,185
25		14,0	25,1	30,0	31,4	33,1	39,3	39,1	9,05	2,71	0,976	0,161
26		14,4	25,6	30,0	31,6	33,3	39,6	39,1	8,48	2,71	0,934	0,138
27		15,2	25,9	30,2	31,6	33,3	39,6	39,1	8,14	2,64	0,893	0,138
28		15,2	26,2	30,2	31,6	33,5	39,8	38,9	7,46	2,58	0,853	0,116
29		15,3	26,3	30,2	31,6	33,5	40,0	38,7		2,39	0,814	0,116
30		15,6	26,8	30,2	31,6	33,7	40,0	38,5		2,32	0,775	0,095
31		16,0	26,9		31,8		40,0	38,3		2,26		0,074
Moy	0,0	6,34	21,4	29,2	31,0	32,6	37,1	39,7	21,7	4,08	1,41	0,414

Débit moyen annuel = 18,8 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1965-1966

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	0,055	0,0	17,9	26,3	30,0	31,4	32,5	33,0	6,57	2,03	0,664	0,116
2	0,036	0,0	18,1	26,2	30,2	31,4	32,6	33,0	6,35	1,91	0,628	0,116
3	0,036	0,0	18,4	27,7	30,2	31,4	32,6	33,0	6,13	1,86	0,593	0,095
4	0,0	0,0	18,6	27,7	30,3	31,6	32,6	33,0	5,69	1,80	0,559	0,055
5	0,017	0,0	19,1	28,1	30,3	31,6	32,6	33,0	5,47	1,75	0,559	0,036
6	0,0	0,0	20,1	28,3	30,3	31,6	32,6	33,0	5,25	1,69	0,493	0,017
7	0,0	0,0	20,4	28,3	30,3	31,6	32,8	33,0	5,14	1,69	0,461	0,0
8	0,0		20,7	28,4	30,3	31,6	32,8	32,8	5,14	1,64	0,430	0,0
9	0,0		21,1	28,6	30,3	31,6	32,8	32,6	4,92	1,59	0,430	0,0
10	0,0		21,4	28,6	30,5	31,8	32,8	32,3	4,60	1,53	0,400	0,0
11	0,0		21,5	28,7	30,5	31,8	33,0	31,8	4,60	1,53	0,400	0,0
12	0,0	0,0	21,9	28,7	30,5	31,8	33,0	30,8	4,43	1,43	0,370	0,0
13	0,0	0,493	22,1	28,9	30,5	31,8	33,0	30,0	4,18	1,34	0,370	0,0
14	0,0	2,51	22,2	29,4	30,6	31,8	33,0	29,5	4,10	1,34	0,342	0,0
15	0,0	3,48	22,3	29,4	30,6	31,9	33,0	27,8	3,94	1,29	0,342	0,0
16	0,0	4,60	22,6	29,5	30,8	31,9	33,0	26,3	3,71	1,24	0,314	0,0
17	0,0	5,58	22,7	29,5	30,8	31,9	33,1	23,4	3,41	1,20	0,314	0,0
18	0,0	5,69	22,9	29,5	31,0	31,9	33,1	20,7	3,19	1,15	0,314	0,0
19	0,0	6,13	23,2	29,7	31,0	32,1	33,1	18,4	3,05	1,11	0,286	0,0
20	0,0	7,91	23,3	29,7	31,0	32,1	33,1	18,3	2,91	1,06	0,234	0,0
21	0,0	9,16	23,4	29,7	31,0	32,1	33,1	14,7	2,84	1,02	0,209	
22	0,0	10,3	24,0	29,7	31,0	32,1	33,3	13,1	2,77	0,976	0,185	
23	0,0	11,5	24,3	29,7	31,1	32,1	33,3	12,0	2,64	0,934	0,161	
24	0,0	12,8	24,4	29,7	31,1	32,3	33,3	10,8	2,51	0,934	0,161	
25	0,0	13,5	24,6	29,7	31,1	32,3	33,3	10,2	2,45	0,893	0,138	
26	0,0	14,4	24,7	29,8	31,1	32,3	33,3	9,62	2,32	0,853	0,116	
27	0,0	15,2	25,0	29,8	31,1	32,3	33,5	8,93	2,26	0,814	0,116	
28	0,0	16,0	25,3	30,0	31,1	32,5	33,5	8,36	2,08	0,775	0,116	
29	0,0	16,7	25,6	30,0	31,3	32,5	33,5	7,91		0,775	0,138	
30	0,0	16,9	25,7	30,0	31,3	32,5	33,0	7,35		0,737	0,138	
31		17,4	25,9		31,3		33,5	6,79				
Moy	0,005	6,13	22,4	29,0	30,7	31,9	33,0	22,4	4,02	1,28	0,333	0,014

Débit moyen annuel = 15,2 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1966-1967

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		9,51	23,2	25,3	26,8	28,7	30,0	31,6	11,5	2,71	0,853	0,095
2		9,74	23,3	25,3	26,8	28,7	30,0	31,6	10,9	2,58	0,814	0,074
3		10,1	23,4	25,4	26,8	28,7	30,0	31,8	10,2	2,51	0,775	0,055
4		10,8	23,4	25,9	26,9	28,9	30,2	31,8	9,62	2,39	0,737	0,036
5		12,4	23,6	25,7	26,9	29,1	30,2	31,8	9,05	2,32	0,700	0,017
6		13,5	23,6	25,6	27,1	29,1	30,2	31,8	8,59	2,20	0,664	0,0
7		14,1	23,6	25,6	27,2	29,2	30,3	31,8	8,14	2,08	0,628	0,0
8		14,7	23,7	25,6	27,2	29,2	30,5	31,9	7,80	2,03	0,593	0,0
9		15,3	23,7	25,6	27,2	29,2	30,5	31,9	7,46	2,14	0,559	0,0
10		15,7	23,9	25,6	27,4	29,2	30,5	31,9	6,90	2,14	0,526	0,0
11		16,2	23,9	25,6	27,4	29,4	30,5	31,9	6,57	2,14	0,526	0,0
12		16,6	23,9	25,6	27,5	29,4	30,6	31,9	6,24	2,08	0,493	0,0
13		17,0	23,9	25,6	27,5	29,4	30,6	31,9	5,91	1,80	0,461	0,0
14		17,4	23,9	25,6	27,7	29,5	30,8	31,9	5,58	1,75	0,461	0,0
15		17,8	24,0	25,6	27,7	29,5	30,8	31,8	5,25	1,69	0,430	0,0
16		18,4	24,0	25,7	27,7	29,7	30,8	31,6	5,03	1,59	0,370	0,0
17		18,4	24,4	25,7	27,8	29,7	30,8	31,3	4,82	1,53	0,342	0,0
18		18,6	24,4	25,9	27,8	29,7	31,0	30,8	4,82	1,48	0,342	0,0
19		18,9	24,4	25,9	28,0	29,8	31,0	30,2	4,60	1,43	0,314	0,0
20		19,5	24,6	25,9	28,0	29,8	31,0	30,0	4,35	1,39	0,286	0,0
21		19,5	24,6	25,9	28,0	30,0	31,1	28,4	4,02	1,34	0,286	0,0
22		19,9	24,6	26,0	28,1	30,0	31,1	26,6	3,79	1,29	0,234	0,0
23		20,3	24,6	26,2	28,1	30,0	31,1	24,7	3,63	1,29	0,234	0,0
24	0,0	20,7	24,6	26,3	28,1	30,0	31,3	22,6	3,48	1,24	0,209	
25	2,03	21,0	24,6	26,3	28,1	30,0	31,3	22,1	3,26	1,15	0,209	
26	4,10	21,1	24,6	26,3	28,3	30,0	31,4	18,8	3,12	1,15	0,185	
27	5,91	21,4	24,6	26,3	28,3	30,0	31,4	17,4	3,05	1,06	0,161	
28	7,35	21,6	24,7	26,5	28,4	30,0	31,4	15,8	2,91	1,02	0,116	
29	8,48	21,8	24,9	26,6	28,4	30,0	31,6	14,4		0,976	0,116	
30	9,05	22,6	25,1	26,6	28,6	30,0	31,6	13,1		0,934	0,095	
31		23,2	25,1		28,6		31,6	12,2		0,893		
Moy	1,23	17,3	24,1	25,9	27,7	29,5	30,8	27,3	6,09	1,69	0,424	0,009

Débit moyen annuel = 16,1 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1967-1968

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			2,03	23,0	26,3	28,6	30,8	23,4	3,86	1,34	0,209	0,0
2			4,18	23,3	26,5	28,6	31,1	21,4	3,71	1,24	0,185	
3			5,69	23,4	26,5	28,7	31,1	19,3	3,56	1,24	0,161	
4			6,79	23,6	26,6	28,9	30,2	16,8	3,41	1,20	0,138	
5			7,35	23,7	26,6	29,1	30,2	15,6	3,26	1,11	0,116	
6			7,69	23,9	26,8	29,2	30,3	14,3	3,12	1,06	0,095	
7			9,74	23,9	26,8	29,2	30,5	13,2	3,05	1,06	0,074	
8			10,9	24,0	26,9	29,2	30,5	12,3	2,98	0,976	0,055	
9			11,8	24,0	26,9	29,2	30,5	11,4	2,84	0,976	0,036	
10			12,6	24,0	27,1	29,2	30,5	10,8	2,39	0,893	0,017	
11			13,3	24,6	27,1	29,4	30,5	10,1	2,20	0,853	0,0	0,0
12			14,1	24,6	27,2	29,4	30,6	9,51	2,51	0,853	0,0	
13			14,5	24,6	27,2	29,4	30,6	9,16	2,39	0,775	0,0	
14			14,5	24,7	27,4	29,5	30,6	8,65	2,32	0,775	0,0	
15			15,2	24,7	27,5	29,5	30,6	8,08	2,20	0,737	0,0	
16			15,7	24,9	27,7	29,7	30,8	7,74	2,08	0,664	0,0	
17			16,2	24,9	27,7	29,7	30,8	7,46	2,08	0,664	0,0	
18			16,9	25,0	27,8	29,7	30,8	7,13	2,03	0,628	0,0	
19			17,4	25,0	27,8	29,8	30,8	6,79	1,97	0,593	0,0	
20			17,9	25,1	27,8	29,8	30,6	6,57	1,91	0,559	0,0	
21			18,0	25,1	28,0	29,8	30,6	6,02	1,86	0,526	0,0	0,0
22			18,3	25,1	28,0	30,0	30,6	5,91	1,75	0,493	0,0	
23			19,4	25,3	28,1	30,0	30,6	5,69	1,75	0,461	0,0	
24			19,9	25,3	28,1	30,0	30,6	5,36	1,64	0,430	0,0	
25			20,3	25,4	28,3	30,3	30,6	5,14	1,59	0,430	0,0	
26			20,8	25,6	28,3	30,3	30,6	4,82	1,48	0,370	0,0	
27			21,2	25,6	28,3	30,3	30,2	4,60	1,43	0,342	0,0	
28			21,6	25,9	28,4	30,8	30,0	4,43	1,39	0,314	0,0	
29			22,1	26,0	28,4	30,8	29,2	4,27		0,286	0,0	
30			22,5	26,2	28,4	30,8	28,0	4,10		0,260	0,0	
31		0,0	22,7		28,4		25,7	4,02		0,234		
Moy	0,0	0,0	14,9	24,7	27,5	29,6	30,3	9,49	2,35	0,721	0,036	0,0

Débit moyen annuel = 11,7 m³/s

KOMADOUGOU-YOBE à GUESKEROU

Débits moyens journaliers (m³/s)

Année 1968-1969

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		11,1	22,3	26,5	28,3	29,5	30,0	2,98	1,06	0,286		
2		11,5	22,3	26,5	28,1	29,5	30,0	2,91	1,02	0,286		
3		12,2	22,5	26,5	28,1	29,5	30,0	2,84	0,976	0,260		
4		13,1	22,6	26,5	28,1	29,7	29,8	2,77	0,934	0,234		
5		13,9	22,7	26,5	28,3	29,7	28,8	2,71	0,893	0,234		
6		14,2	22,9	26,6	28,3	29,8	26,6	2,64	0,853	0,209		
7		14,6	23,3	26,8	28,3	29,8	23,7	2,51	0,853	0,209		
8		15,2	23,4	26,8	28,3	29,8	21,0	2,45	0,775	0,161		
9		15,5	23,7	26,8	28,3	30,0	17,6	2,39	0,775	0,138		
10		14,6	23,9	26,9	28,3	30,0	14,3	2,32	0,737	0,116		
11		15,8	24,0	26,9	28,4	30,0	12,2	2,26	0,737	0,116		
12		16,2	24,1	26,9	28,6	30,0	10,5	2,20	0,700	0,095		
13		16,4	24,1	27,1	28,6	30,0	9,45	2,03	0,664	0,055		
14		16,9	24,3	27,1	28,6	30,0	8,65	1,91	0,628	0,055		
15		17,3	25,6	27,1	28,6	30,0	8,14	1,91	0,593	0,036		
16		17,6	25,3	27,2	28,7	30,0	7,63	1,86	0,559	0,036		
17		18,0	25,3	27,2	28,7	30,0	7,46	1,80	0,559	0,017		
18		18,4	25,3	27,2	28,9	30,0	7,13	1,75	0,559	0,017		
19		18,9	25,3	27,2	28,9	30,0	6,57	1,69	0,493	0,0		
20	0,0	19,3	25,4	27,2	28,9	30,0	6,13	1,64	0,461	0,0		
21	2,23	19,7	25,6	27,2	29,1	30,0	5,80	1,59	0,461	0,0		
22	5,20	19,9	25,9	27,2	29,1	30,0	5,47	1,53	0,430	0,0		
23	5,80	20,2	25,9	28,0	29,2	30,0	5,14	1,48	0,430			
24	6,51	20,3	26,0	28,0	29,2	30,0	4,82	1,43	0,400			
25	7,63	20,7	26,0	28,0	29,2	30,0	4,60	1,39	0,400			
26	8,53	21,0	26,3	28,0	29,2	30,0		1,34	0,342			
27	9,22	21,2	26,3	28,1	29,4	30,0		1,29	0,314			
28	9,85	21,5	26,3	28,1	29,4	30,0		1,24	0,314			
29	10,3	21,8	26,3	28,1	29,4	30,0		1,20				
30	10,8	22,2	26,3	28,1	29,5	30,0		1,15				
31		22,3	26,3		29,5		3,12	1,11				
Moy	2,54	17,5	24,7	27,2	28,8	29,9	12,4	1,95	0,640	0,236	(0,0)	(0,0)

Débit moyen annuel = 12,2 m³/s

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1954-1955

Année 1955-1956

Jours		Janv	Févr	Avr			Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1		234	191					12	84		137	
2		233	190					15	86		138	
3		230	180					9	90		139	
4		229	170					15	94		140	255
5		228	165					12	92		140	260
6		226	160	22				50	90		141	262
7		225	158	22				45	86		141	262
8		222	150	20				45	84		147	265
9		210	148	20				55	82		148	<u>265</u>
10		209	144	20				55	80		149	
11		206	140	18				60	80		149	
12		204	130	14				70	82		150	
13		202	124	10				72	84		152	
14		201	120	8				75	88		152	
15		200	110	8				80	90		154	
16		198	108	6				85	92	80	160	
17		196	108	4				80	94	90	165	
18		193	106	2				75	96	91	170	
19		191	106	0				72	100	110	175	
20		190	105					70	104	112	190	
21		181	105					65	106	113	192	
22		183	104					62	111	121	195	
23		185	102					64	108	122	200	
24		188	100				10	64	106	123	205	
25		188	100				10	66	104	124	210	
26		187	100				10	68	100	130	215	
27		187	90				10	68	96	132	220	
28		188	90				0	70	94	133	225	
29		190					0	74	92	134		
30		191					0	78	90	135		
31								80		136		

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1958-1959

[illegible]

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1959-1960

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1					117	90	153			63		
2					117	90	152			64		
3					116	94	161			64		
4					116	95	165			65		
5					105	97	168		126	67		
6					90	98	169		123	69		
7					90	99	172		121	50		
8					90	100	173		110	52		
9					90	102	174		108	54		
10					90	104	186		103	54		
11					90	106	187		101	54		
12					90	107	188		100	55		
13					90	108	189		98	55		
14					90	110	190		96	55		
15					90	113	192		92	55		
16					90	115	193		90	56		
17					80	116	193		83	57		
18					80	118	195		85	58		
19					80	121	196		89	59		
20					80	123	196		80	42		
21				124	80	124	196		71	43		
22				124	80	135	197		72	44		
23				124	80	136	197		72	45		
24				122	80	137	197		74	46		
25				122	80	139	197		75	46		
26				122	80	144	197		76	47		
27				120	80	147			77	47		
28				118	80	148			78	48		
29				118	80	152				49		
30				118	80	155				30		
31					80							

EL BEÏD à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1960-1961

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1					0	110	195		173	90		
2					0	110	198		172	90		
3					0	110	200		171	95		
4					0	113	202		163	93		
5					0	113	205		162	90		
6					0	115	208	220	161	83		
7					0	115	210	215	153	80		
8					0	120	212	214	151	73		
9					0	120	215	213	144	72		
10					0	120	218	212	143	71		
11					0	120	220	211	142	70		
12					0	130	225	210	141	70		
13					0	130	228	204	140	65		
14					0	135	230	203	133	64		
15					0	140	230	202	132	63		
16					0	140	230	201	131	62		
17					0	145	230	200	130	61		
18					0	148	230	195	123	60		
19					0	150	235	194	122	60		
20					0	155	238	193	121	55		
21					30	158	238	192	120	54		
22					40	160	240	191	113	53		
23					50	168	240	190	112	51		
24					70	170	240	185	111	40		
25					80	175	240	182	102	45		
26					80	178		180	101	44		
27					90	180		180	100	43		
28					100	182		173	93	42		
29					106	185		172		41		
30					108	190		171		40		
31					110			170		35		

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1961-1962

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			57	165	162	173	274	213	160	135		
2			57	170	162	174	274	212	160	135		
3			58	170	161	175	273	210	155	134		
4			58	165	161	180	272	205	155	133		
5			59	164	160	183	271	203	154	133		
6			59	164	160	190	270	202	153	134		
7			59	163	160	195	265	201	152	132		
8			123	163	160	204	264	200	150	132		
9			130	163	160	213	263	195	143	134		
10			132	163	160	220	261	194	140	134		
11			133	162	160	224	260	193	140	133		
12			133	162	160	233	255	192	135	132		
13			133	162	160	240	254	191	134	130		
14			142	162	160	242	253	190	134	130		
15			143	162	160	244	251	190	132	124		
16			145	162	161	245	250	185	132	124		
17			150	162	161	251	244	184	140	123		
18			150	162	161	252	243	183	142	122		
19			150	162	161	260	241	182	132	120		
20			150	162	161	264	240	181	133	114		
21			150	163	161	270	234	180	132	112		
22			150	163	162	273	233	175	122	110		
23			150	163	162	275	232	174	120	110		
24		50	145	163	163	280	230	173	115	103		
25		52	145	163	163	280	225	172	115	103		
26		57	152	163	164	280	224	171	114	105		
27		56	152	163	164	275	222	170	114	103		
28		56	152	163	165	275	221	164	113	102		
29		56	154	163	170	275	220	163		102		
30		57	163	163	171	275	215	162		100		
31		58	164		172		214	160		100		

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1962-1963

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		35	33	120	100	95	173	232	175	144	125	112
2		34	33	120	100	100	183	231	174	145	125	112
3		34	35	114	95	100	190	230	173	144	124	111
4		34	40	112	94	103	193	225	172	144	124	111
5		34	40	111	93	105	200	224	171	144	124	110
6		33	42	110	93	110	204	224	170	143	123	110
7		33	43	104	92	111	212	223	165	143	123	110
8		33	43	104	91	114	215	222	164	143	123	105
9		33	45	104	90	120	222	220	164	142	122	105
10		32	50	103	93	123	224	215	163	142	122	105
11		32	53	103	92	125	230	214	163	142	122	104
12		32	60	104	90	130	230	213	162	141	121	104
13		32	64	104	92	130	233	212	161	141	121	104
14		32	71	104	93	131	240	211	155	141	121	103
15		32	72	104	92	132	243	210	154	140	122	103
16		32	73	104	93	133	244	205	154	145	124	103
17		30	72	105	91	134	245	205	154	145	124	102
18		30	90	105	93	135	245	204	155	142	123	102
19		30	94	104	92	140	250	203	150	141	122	104
20		30	111	104	91	143	250	202	150	140	121	104
21		25	115	104	90	144	251	200	152	135	121	103
22		25	121	103	91	145	252	193	151	134	120	103
23		24	121	103	92	150	251	192	152	133	115	102
24		24	121	102	92	151	250	191	150	130	114	102
25		24	121	101	94	152	245	190	150	125	114	101
26		31	123	100	95	154	245	185	145	124	113	101
27		30	124	100	95	155	242	184	144	125	113	100
28		30	124	100	104	160	240	183	145	125	113	100
29		31	123	100	103	162	234	182		124	112	100
30		33	121	100	100	163	234	180		124	112	100
31		33	121		95		233	175		125		100

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1963-1964

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1	100				1	155	235	230	170			
2	95				1	160	235	230	165			
3	95				0	155	235	225	165			
4	95				0	155	235	225	165			
5	94				0	160	235	220	160			
6	94				2	160	235	220	160			
7	94				2	165	235	215	155			
8	93				1	165	235	215	155			
9	93				1	170	235	210	150			
10	92			1	2	170	235	210	150			
11	92			1	2	175	235	210	150			
12	91			1	3	175	235	205	150			
13	91			1	3	180	235	205	145			
14	90			1	4	180	235	200	145			
15	85			1	4	195	235	200	145			
16	84			1	5	205	235	195	145			
17	84			1	5	200	235	195	145			
18	83			1	8	210	235	195	140			
19	82			1	8	215	235	190	140			
20	81			1	10	220	235	190	140			
21	80			1	12	225	235	190	140			
22	75			2	13	227	230	190	140			
23	74			2	14	227	230	185	135			
24	73			2	142	227	230	185	135			
25	72			1	145	230	230	185	135			
26	71			1	145	230	230	180	135			
27	70			1	148	235	230	180	135			
28	65			2	148	235	230	175	135			
29	64			1	150	235	230	170	135			
30	63			2	150	235	230	170				
31					150		230	170				

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1964-1965

Année 1965-1966

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc			Déc		
1		105	135	143	135	150						
2		105	135	143	135	150						
3		105	135	140	135	150						
4		107	135	140	135	150						
5		107	135	140	130	150						
6		107	136	140	130	152						
7		110	136	140	130	152						
8		110	137	140	130	152						
9		110	137	135	130	155						
10		113	137	135	130	155				186		
11		113	138	135	130	160						
12		115	139	135	130	160						
13		115	140	135	130	160						
14		115	140	135	130	165				187		
15		115	141	135	130	165						
16		118	150	132	130	165						
17		118	150	132	132	165						
18		123	150	132	135	170						
19		123	150	130	135	170						
20		125	150	130	140	170						
21		125	160	130	140	170						
22		125	160	130	140	175						
23		125	165	130	140	175						
24		125	165	130	145	175						
25		125	165	130	145	175						
26		125	165	130	145	175						
27		125	150	130	145	175						
28		130	150	130	145	180						
29		130	150	130	145	180						
30		130	140	130	150	185						
31		130	140		150							

EL BEID à SOUERAM

Hauteurs limnimétriques (cm)

Année 1966-1967

Année 1967-1968

Année 1968-1969

Jours	Janv		Nov	Déc	Janv	Févr		Nov	Déc	Janv	Févr	Mars
1	180			172	195	150			165		103	20
2				174	194	149			166		103	17
3				175	193	146			170	176	103	15
4				177	193	140			171	175	103	12
5				178	192	138			173	174	103	10
6				180	192	135			175	173	103	9
7				181	191	133		105	177	171	103	7
8				183	190	130		108	179	169	103	6
9				185	190	130		111	180	167	103	5
10				185	189	129		115	181	166	103	5
11				187	187	128		118	183	165	103	4
12				187	186	125		121	183	163	103	3
13				189	185	125		124	184	162	103	1
14				191	184	123		127	185	159	103	1
15				194	183	121		129	185	156	103	
16				197	181	120		132	185	155	103	
17				198	179			135	185	153	52	
18				200	177			138	186	150	42	
19			157	200	175			141	186	149	39	
20			159	201	175			143	186	147	37	
21			160	203	172			145	186	143	36	
22			161	203	170			147	186	139	35	
23			160	203	168			150	186	135	33	
24			163	202	166			154	185	133	32	
25			165	202	162			157	185	129	30	
26			166	201	161			158	184	125	28	
27			169	201	159			160	184	122	25	
28			170	201	156			161	183	117	23	
29			170	201	155			162	182	114		
30			171	198	153			164	181	110		
31				195	150				180	106		

Année 1962-1963

[illegible]

La KOMADOU GOU-YOBE à NGOURTOUWA

Hauteurs limnimétriques (m)

Année 1962-1963

[illegible]

KOMADOUGOU-YOBE à DAMASSAK

Hauteurs limnimétriques
(Lectures en pieds et dixièmes de pieds)

Année 1959-1960

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1		5,1	9,25	12,2	13,35	13,95	14,5	14,95	8,3	5,8	4,9	4,3
2		5,2	9,4	12,2	13,4	14,0	14,5	14,9	8,1	5,75	4,9	4,3
3		5,25	9,45	12,25	13,4	14,0	14,5	14,85	8,0	5,65	4,85	4,3
4		5,25	9,6	12,25	13,4	14,0	14,55	14,8	8,0	5,55	4,85	4,3
5		5,3	9,7	12,3	13,4	14,0	14,6	14,8	7,9	5,5	4,8	4,25
6		5,35	10,2	12,3	13,45	14,0	14,6	14,75	7,7	5,4	4,8	4,2
7		5,4	10,3	12,3	13,5	14,0	14,65	14,65	7,6	5,4	4,8	4,2
8		5,5	10,4	12,3	13,5	14,0	14,65	14,55	7,5	5,4	4,8	4,2
9		5,6	10,4	12,3	13,5	14,0	14,7	14,45	7,45	5,35	4,8	4,2
10		5,8	10,4	12,35	13,55	14,0	14,7	14,3	7,35	5,3	4,75	4,15
11		6,0	10,4	12,4	13,6	14,0	14,7	14,1	7,3	5,25	4,7	4,10
12		6,35	10,45	12,5	13,6	14,0	14,75	13,8	7,2	5,2	4,65	4,1
13		6,6	10,8	12,5	13,6	14,0	14,75	13,5	7,1	5,2	4,65	4,05
14		6,75	11,0	12,5	13,65	14,05	14,8	13,0	7,0	5,1	4,6	Pas d'écou lement
15		6,9	11,15	12,5	13,65	14,05	14,8	12,5	6,9	5,0	4,6	
16		7,0	11,3	12,7	13,7	14,1	14,85	12,0	6,8	5,0	4,6	
17		7,2	11,3	12,7	13,7	14,1	14,85	11,8	6,7	5,0	4,55	
18		7,4	11,4	12,75	13,7	14,15	14,9	11,4	6,6	5,0	4,5	
19		7,55	11,5	12,9	13,7	14,15	14,9	11,0	6,55	5,0	4,5	
20		7,7	11,6	12,9	13,75	14,2	14,9	10,9	6,5	5,0	4,5	
21		7,7	11,7	13,0	13,8	14,2	14,9	10,7	6,4	5,0	4,45	
22		7,9	11,75	13,05	13,8	14,25	14,95	10,4	6,35	5,0	4,45	
23		8,0	11,8	13,2	13,8	14,3	14,95	10,1	6,25	5,0	4,4	
24		8,2	11,8	13,2	13,8	14,3	15,0	9,9	6,2	5,0	4,4	
25		8,3	12,0	13,2	13,8	14,35	15,0	9,6	6,1	4,9	4,4	
26		8,5	12,0	13,25	13,8	14,35	15,0	9,3	6,05	4,9	4,4	
27		8,5	12,0	13,3	13,85	14,4	15,0	9,2	6,0	4,9	4,4	
28	4,5	8,6	12,2	13,3	13,9	14,4	15,0	9,0	5,95	4,9	4,35	
29	4,9	8,7	12,2	13,3	13,9	14,45	15,0	8,9	5,9	4,9	4,35	
30	5	9,0	12,2	13,3	13,9	14,5	15,0	8,7		4,9	4,3	
31		9,0	12,2		13,9		15,0	8,5		4,9		

KOMADOUGOU-YOBE à DAMASSAK

Hauteurs limnimétriques
(Lectures en pieds et dixièmes de pieds)

Année 1960-1961

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai
1		5,6	9,2	12,25	13,15	13,6	14,0			5,1	4,3	
2		5,95	9,2	12,3	13,15	13,6	14,0			5,1	4,3	
3		6,1	9,3	12,3	13,2	13,64	14,0			5,05	4,3	
4		6,25	9,55	12,35	13,2	13,64	14,0			5,05	4,3	
5		6,35	9,7	12,35	13,2	13,7	14,0			5,0	4,3	
6		6,4	9,8	12,4	13,2	13,7	14,0			5,0	4,3	
7		6,5	9,95	12,4	13,25	13,7	14,05			5,0	4,25	
8		6,7	10,1	12,4	13,25	13,7	14,05			5,0	4,25	
9		6,8	10,2	12,45	13,3	13,7	14,05			5,0	4,2	
10		6,9	10,25	12,5	13,3	13,75	14,1			4,95	4,2	
11		7,0	10,4	12,5	13,3	13,75	14,1			4,95	4,2	
12		7,05	10,5	12,66	13,3	13,75	14,1			4,9	4,2	
13		7,1	10,55	12,7	13,3	13,8	14,1			4,85	4,15	
14		7,15	10,6	12,7	13,35	13,8	14,1			4,85	4,1	
15		7,3	10,65	12,85	13,35	13,8	14,1			4,8	4,1	
16		7,35	10,9	12,9	13,4	13,8	14,05			4,75	4,05	
17		7,45	11,1	12,9	13,4	13,85	14,0			4,75	Pas	
18		7,6	11,3	12,9	13,4	13,85	13,9			-	d'écou-	
19		7,75	11,35	12,9	13,4	13,85	13,7			4,65	lement	
20		7,8	11,4	12,95	13,45	13,9	13,4					
21		7,85	11,45	13,0	13,45	13,9	13,2			4,65		
22		8,1	11,5	13,0	13,45	13,9	13,0			4,6		
23		8,2	11,6	13,0	13,5	13,95	12,1			4,6		
24		8,25	11,6	13,0	13,5	14,0	11,22			4,55		
25		8,35	11,7	13,0	13,5	14,0	10,9			4,5		
26	3,9	8,5	11,7	13,05	13,5	14,0	10,45			4,45		
27	4,1	8,65	11,8	13,05	13,5	14,0	9,8			4,45		
28	4,3	8,75	11,9	13,1	13,55	14,0	9,55			4,4		
29	4,9	8,85	12,0	13,1	13,55	14,0	9,2			4,4		
30	5,4	9,0	12,05	13,1	13,6	14,0	9,1			4,4		
31		9,15	12,2		13,6		8,9			4,4		

KOMADOUGOU-YOBE à YAU

Hauteurs limnimétriques

(Lectures en pieds et dixièmes de pieds)

Année 1959-1960

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			7,0		9,4	9,7	10,0	10,4	10,7		4,4	3,4
2			7,3		9,4	9,7	10,0	10,4	10,7		4,4	3,4
3			7,4		9,4	9,7	10,0	10,4	10,6		4,4	3,4
4			7,6		9,4	9,7	10,0	10,4	10,6		4,3	3,3
5			7,6		9,4	9,8	10,0	10,4	10,5		4,3	3,3
6			7,6		9,4	9,8	10,0	10,5	10,5		4,3	3,3
7			7,7		9,4	9,8	10,2	10,5	10,1		4,2	3,2
8			7,7		9,4	9,8	10,2	10,5	9,7		4,2	3,2
9			7,7		9,4	9,8	10,2	10,5	9,4		4,2	3,2
10			7,8		9,4	9,8	10,2	10,5	9,2		4,1	3,1
11			7,8		9,5	9,9	10,2	10,5	8,6	5,0	4,1	3,1
12			7,8		9,5	9,9	10,2	10,5	8,6	4,9	4,0	3,0
13			7,9		9,5	9,9	10,2	10,5	8,5	4,9	4,0	Pas
14			8,0		9,5	9,9		10,5	8,3	4,9	4,0	d'é-
15			8,1		9,5	9,9		10,6	8,0	4,9	3,9	coule-
16		3,3	8,2		9,5	9,9		10,6	7,8	4,8	3,9	ment
17		4,1	8,2	9,2	9,5	9,9		10,6	7,8	4,8	3,9	
18		4,7	8,2	9,2	9,5	9,9		10,6	7,8	4,8	3,8	
19		5,0	8,3	9,2	9,5	9,9	10,3	10,6	7,7	4,7	3,8	
20		5,2	8,3	9,3	9,5	9,9	10,3	10,6	7,6	4,7	3,8	
21		5,4	8,5	9,3	9,5	9,9	10,3	10,6	7,4	4,7	3,8	
22		5,6	8,6	9,3	9,6	9,9	10,3	10,6	7,3	4,6	3,7	
23		5,8	8,6	9,3	9,6	9,9	10,3	10,6	7,3	4,6	3,7	
24		6,0	8,7	9,3	9,6	9,9	10,3	10,6	7,2	4,6	3,7	
25		6,2	8,7	9,3	9,6	9,9	10,3	10,6	7,2	4,5	3,6	
26		6,2	8,7	9,4	9,6	10,0	10,3	10,7	7,1	4,5	3,6	
27		6,3	8,7	9,4	9,6	10,0	10,4	10,7	7,0	4,5	3,6	
28		6,3	8,8	9,4	9,6	10,0	10,4	10,7	6,9	4,5	3,6	
29		6,4	8,8	9,4	9,6	10,0	10,4	10,7		4,5	3,5	
30		6,5	8,8	9,4	9,6	10,0	10,4	10,7		4,5	3,5	
31		6,7	8,8		9,6		10,4	10,7		4,4		

KOMADOUGOU-YOBE à YAU

Hauteurs limnimétriques
(Lectures en pieds et dixièmes de pieds)
Année 1960-1961

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1			7,1	8,7	9,3	9,6	9,9		6,3	4,7		
2			7,2	8,7	9,3	9,6	9,9		6,2	4,6		
3			7,3	8,7	9,3	9,7	9,9		6,1	4,6		
4			7,4	8,7	9,3	9,7	9,9		6,1	4,5		
5			7,4	8,7	9,3	9,7	9,9		6,0	4,5		
6			7,5	8,8	9,3	9,7	9,9		6,0	4,5		
7			7,5	8,8	9,4	9,7	9,9		5,9	4,4		
8			7,6	8,8	9,4	9,7	9,9		5,8	4,4		
9			7,6	8,8	9,4	9,7	9,9		5,7	4,4		
10			7,7	8,9	9,4	9,7	10,0		5,7	4,3		
11		4,1	7,7	8,9	9,4	9,7	10,0		5,6	4,3		
12		4,9	7,8	8,9	9,4	9,7	10,0		5,6	4,3		
13		5,1	7,9	8,9	9,4	9,8	10,0		5,5	4,2		
14		5,3	7,9	9,0	9,5	9,8	10,0		5,4	4,2		
15		5,5	8,0	9,0	9,5	9,8	10,0		5,4	4,1		
16		5,6	8,0	9,0	9,5	9,8	10,0		5,3	4,1		
17		5,7	8,1	9,0	9,5	9,8	10,0		5,3	4,1		
18		5,9	8,2	9,1	9,5	9,8	10,0		5,3	4,0		
19		6,0	8,3	9,1	9,5	9,8	10,0		5,2	4,0		
20		6,1	8,3	9,1	9,5	9,8	10,0		5,2	4,0		
21		6,2	8,4	9,1	9,5	9,8	10,0		5,0	3,9		
22		6,3	8,4	9,2	9,5	9,8	10,0		5,0	3,9		
23		6,4	8,4	9,2	9,6	9,9	10,1		5,0	3,8		
24		6,5	8,4	9,2	9,6	9,9	10,1		4,9	3,8		
25		6,6	8,4	9,2	9,6	9,9	10,1		4,9	3,8		
26		6,7	8,5		9,6	9,9	10,1		4,8	3,7		
27		6,7	8,5		9,6	9,9	10,1		4,7	3,7		
28		6,8	8,5		9,6	9,9	10,1		4,7	3,6		
29		6,9	8,6		9,6	9,9	10,1			3,6		
30		7,0	8,6		9,6	9,9	10,1			3,5		
31		7,1	8,7		9,6		10,1			3,5		

La KOMADOUGOU-YOBE à BOSO

Hauteurs limnimétriques (m)

Année 1907-1908

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1						1,45	0,61					
2						1,46	0,58					
3						1,47	0,56					
4						1,48	0,53					
5						1,48	0,51					
6						1,49	0,49					
7						1,49	0,47					
8						1,49	0,44					
9						1,50	0,42					
10						1,50	0,40					
11						1,50	0,38					
12						1,50	0,36					
13						1,51	0,34					
14						1,51	0,30					
15						1,51	0,28					
16						1,52	0,27					
17						1,50	0,25					
18						1,46	0,23					
19						1,38	0,21					
20						1,25	0,19					
21						1,10	0,17					
22						0,99	0,15					
23						0,91	0,13					
24						0,84	0,10					
25						-	0,09					
26						0,79	0,07					
27						0,76	0,05					
28						0,72	0,04					
29						0,67	0,03					
30						0,64	0,03					
31						-	0,03					

Année 1955-1956

[illegible]

Année 1956-1957

[illegible]

LA KOMADOUGOU-YOBE à BOSO

Hauteurs limnimétriques (m)

Année 1957-1958

Jours	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai
1					2,40	2,36	2,39					
2					2,40		2,39					
3					2,40	2,36	2,40					
4					2,40	2,36	2,40					
5					2,40	2,36	2,40					
6					2,38	2,37	2,40					
7					2,38	2,37	2,41					
8					2,38	2,37	2,40					
9					2,38	2,37	2,40					
10					2,38	2,37	2,40					
11					2,38	2,37	2,41					
12					2,37	2,37	2,41					
13					2,37	2,37	2,43					
14					2,36	2,38	2,43					
15					2,36	2,38	2,43					
16					2,36	2,38	2,43					
17					2,36	2,38	2,43					
18					2,34	2,38	2,44					
19					2,34	2,39	2,44					
20					2,35	2,39	2,45					
21					2,35	2,39	2,45					
22					2,35	2,39	2,45					
23					2,35	2,39	2,46					
24					2,35	2,39	2,46					
25					2,36	2,40	2,46					
26					2,36	2,40	2,46					
27					2,36	2,40	2,47					
28					2,36	2,40	2,47					
29					2,36	2,40	2,47					
30					2,36	2,40	2,48					
31					2,36		2,48					