

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD

MONOGRAPHIE DU LAC TCHAD

par

André BOUCHARDEAU

et

Robert LEFÈVRE

Edition provisoire : 1957

Édition 1965 par le **COMITÉ INTER-AFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES**
Adresse provisoire du Bureau Technique : 31, rue Marbeuf - PARIS (8^e)

Cette première édition a pour but de dégager tous les éléments connus actuellement en matière d'hydrologie et d'hydrographie concernant le Lac TCHAD. Ces éléments résultent des recherches du Général TILHO au début du siècle et de celles qui ont été entreprises par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD et qui sont encore en cours.

Les études de cet organisme ont commencé en 1954, à partir de Fort Lamy. En Novembre 1955, une station météorologique complète et une base comprenant un logement et un magasin ont été installés à BOL.

Ces aménagements, l'exploitation de la station et les premiers levés bathymétriques du Lac ont été l'oeuvre de R. LEFÈVRE et c'est lui qui a été chargé de la première rédaction de cette Monographie en Octobre 1956. Depuis, elle a été complétée et remaniée par M. A. BOUCHARDEAU.



15 JAN. 1969

D.8
BOU

8679ex2

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE LAC TCHAD

Après les prospections du Général TILHO qui lui ont permis d'élaborer une première série de documents de base faisant encore autorité, le Lac TCHAD a longtemps été considéré comme un marécage abandonné aux moustiques. Ces prospections avaient été faites en 1905 et 1906, alors que les eaux du Lac étaient beaucoup plus basses qu'actuellement, ce qui explique cette impression générale. Depuis, les initiatives du Chef de District de BOL qui a donné une extension importante aux "polders" du Lac, les recherches effectuées par les Chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. et du Muséum d'Histoire Naturelle, enfin, l'élaboration de nouvelles cartes précises, ont concouru à faire naître l'opinion que les rives du Lac constituent au contraire une région intéressante du point de vue économique et humain.

Le Lac TCHAD est le reste de la Mer Paléo-tchadienne dont l'extension était considérable, comme il est possible de s'en rendre compte sur les cartes géologiques. Les pays bas du TCHAD (série de dépressions situées au sud-ouest du TIBESTI) étaient submergés et la mer s'étendait jusqu'aux limites du bassin versant du NIL. Les fleuves, maintenant morts, de l'AIR, du TIBESTI et de l'ENNEDI donnaient à plein, alors que seuls, de nos jours, les tributaires du sud collectés par le CHARI ont encore un débit important.

A la fin du quaternaire, la liaison n'a plus lieu avec les pays bas du TCHAD que par le BAHR EL GHAZAL, long sillon rectiligne qui, de nos jours, est encore inondé sur quelques dizaines de kilomètres.

Des rivages fossiles découverts à différents étages montrent qu'il y a eu, dans la période la plus récente du quaternaire, trois transgressions qui correspondraient, d'après certains, avec les périodes glaciaires d'EUROPE.

Dans son état actuel, bien qu'il ne représente plus qu'une infime partie de l'immense Mer Paléo-tchadienne, le Lac oscille encore entre les dimensions respectables de 10.000 et 25.000 km², suivant les caprices du CHARI.

Imaginer le Lac comme un immense bourbier monotone et inhospitalier serait donc le déprécier singulièrement. Seuls, les rivages du sud-ouest et le Delta du CHARI sont détestablement plats et marécageux. Par contre, la côte nord-ouest est franche, les archipels du nord-est sont des dunes de sable qui pénètrent dans le Lac. Cette dernière région est pittoresque et très habitable. C'est là que BOL est installé sur une longue presqu'île.

Le Lac présente donc une grande variété. Partagé entre quatre territoires, il n'a pas d'unité administrative. Les races cotoyant le Lac ont des moeurs et des aptitudes très variées : les Kanembous sont des éleveurs, les Haddads des pêcheurs, etc ... Certaines régions sont azoïques. D'autres zones, dans l'archipel, regorgent à tel point de poissons qu'il en résulte une dégénérescence des espèces.

Les climats du nord et du sud du Lac sont très différents. N'GUIGMI est très proche du désert. Les dunes restent de sable nu, sauf pendant les pluies. Dans le sud, les bords du CHARI à son arrivée dans le Delta sont couverts d'une forêt dense qui rappelle les rivières guinéennes.

Une caractéristique essentielle du Lac est la très faible salinité de ses eaux, dont nous reparlerons plus loin. Cette faible salinité permet l'exploitation des zones gagnées sur le Lac en asséchant les dépressions interdunaires. Le blé et le maïs y prospèrent dans les riches limons de papyrus décomposé. Mais cette faible salinité s'explique par le dépôt du "natron" dans les salines que constituent les dépressions ou ouadis du nord. Le sel est extrait par les indigènes à KALIA et transporté à dos de chameau jusqu'au "port" de BABA SOLA où il est chargé sur des pirogues ou des "Kadaï", radeaux de papyrus habilement tressés et profilés.

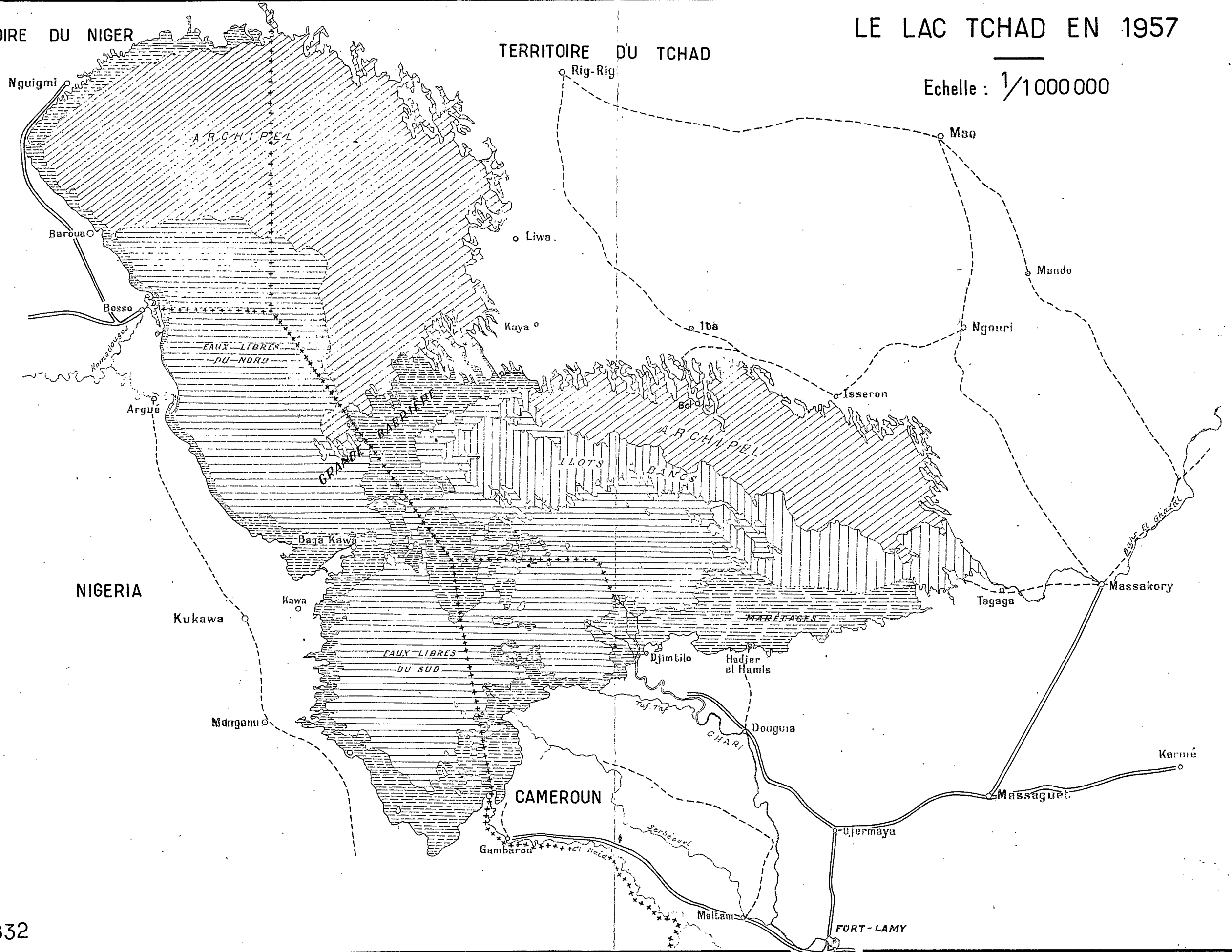
TERRITOIRE DU NIGER

CARTE : I

LE LAC TCHAD EN 1957

Echelle : 1/1 000 000

TERRITOIRE DU TCHAD



Les seuls postes construits en bordure du Lac sont BOL et N'GUIGMI, avec une vingtaine d'Européens. La Mission LOGONE-TCHAD est établie à BOL où une station météorologique suit l'influence du microclimat du Lac sur l'évaporation.

Actuellement, les seuls transports européens traversant le Lac sont les barges de l'OUHAME NANA. Accrochées à un vieux remorqueur, elles ravitaillent le petit poste de BOL (TCHAD) en faisant le détour par BAGA SOLA. Aucun transport de ce genre ne se risque jusqu'à N'GUIGMI, en A.O.F., à l'extrême nord du Lac, où il n'aurait d'ailleurs rien à transporter. Seules circulent sur le Lac les pinasses du Chef de District de BOL, du douanier et de la Mission LOGONE-TCHAD, navigation comportant certains risques : quelquefois les coups de vent très violents soulèvent des vagues courtes et violentes ; souvent des îlots de papyrus dérivent sur le Lac, bloquent les embarcations et, si le vent ne tourne pas, la situation peut devenir tragique.

C'est surtout du point de vue physique que la Mission LOGONE-TCHAD a abordé l'étude du Lac. Les phénomènes climatologiques et hydrologiques doivent avoir été observés de nombreuses années avec précision avant que l'on puisse en déduire des conclusions définitives et les utiliser à des fins pratiques. C'est pour cette raison que les recherches de ces spécialistes ont porté en premier lieu sur les caractéristiques de cette nature.

I - SITUATION

Compris entre 12°20 et 14°20 de latitude nord, d'une part, et entre 13° et 15°30 de latitude est, le Lac TCHAD a sensiblement la forme d'un triangle dont les sommets pourraient être N'GUIGMI au nord, KOULOU DIA à l'est et GAMBAROU, au sud.

Les côtés de ce triangle mesureraient :

- 230 km de N'GUIGMI à GAMBAROU

....

- 270 km de N'GUIGMI à KOULOUZIA
- 140 km de KOULOUZIA à GAMBAROU.

Au point de vue politique, le Lac TCHAD est partagé entre les pays suivants :

- Au nord-ouest, le territoire du NIGER A.O.F.
- Au Sud-Ouest, la NIGERIA
- Au Sud, le CAMEROUN
- A l'Est et au nord-est, le territoire du TCHAD, A.E.F.

II - DESCRIPTION DU LAC

Le Lac comporte actuellement :

- a) deux immenses zones d'eaux libres, l'une au nord-ouest, l'autre au sud à l'embouchure du CHARI. Elles sont séparées par la "Barrière" d'orientation nord-est, sud-ouest, dont nous verrons plus loin la nature.
- b) l'Archipel, tout le long de la rive nord-est, séparé des eaux libres du sud par les îlots-bancs.
- c) deux zones de marécages situées respectivement au sud-ouest et à l'est des eaux libres du sud.

La première impression en pénétrant dans le Lac après avoir suivi les sinuosités d'un des bras du CHARI est celle d'une mer intérieure. Du delta aux "îlots-bancs", premiers éléments solides rencontrés en mettant le cap au nord, il y a 30 km d'eau libre. Passé quelques îlots fixes, après être sorti du delta, on ne verra plus aucune terre ferme à l'horizon. Si nous avions navigué vers l'ouest, nous aurions seulement rencontré quelques îles sur un parcours de 75 km puis après le passage de la Grande Barrière, à BAGA KAWA, nous n'aurions pratiquement rencontré aucun îlots sur 100 km.

.....

Nous sommes donc loin du marécage traditionnel. Si les profondeurs sont faibles, ceci est tout relatif. Le quart de la superficie dépasse 5,5 m et, en certains points, se trouvent des fosses de plus de 10 m. Ceci donne l'illusion d'une eau profonde que le vent agite fréquemment sans que les vagues soient amorties par une trop faible profondeur.

Deux zones d'eaux libres, séparées par la "Grande Barrière", sont appelées "Eaux libres" du sud et du nord. L'ensemble est bordé par les deux côtés de l'angle droit que dessine le rivage dans la partie sud-ouest du Lac.

Les "eaux libres" du nord sont beaucoup plus claires que celles du sud. Les eaux grises du CHARI se décantent dans le Lac sud, en particulier au passage des îles végétales qui les filtrent remarquablement.

D'avion, on observe un éventail d'eau boueuse autour du delta du CHARI. En direction du nord-ouest, les trainées d'eau décantée qui se forment derrière les îlots perméables matérialisent la direction et le sens des lignes de courant.

Les eaux du Lac sont constamment en mouvement, le débit du CHARI compensant les pertes en eau évaporée sur toute la surface. Ce courant est bien visible dans la passe étroite de BAGA KAWA, à travers la Grande-Barrière. Dans ce détroit passe le débit compensant l'évaporation du Lac nord.

Les "eaux libres" méritent bien leur nom, par opposition au reste du Lac où la navigation est délicate et quelquefois même impossible.

"L'Archipel" est constitué d'un millier d'îles dont les chapelets sont orientés sud-est, nord-ouest. Nous avons à faire à un réseau dunaire. Cette direction est en effet perpendiculaire aux vents dominants qui soufflent du nord-est en zone désertique. Ces dunes sont fossiles et fixées par des graminées, des callotropis et même des arbres : palmiers doums et acacias ; si le sable est pratiquement nu en saison sèche, une végétation inattendue se développe à la première pluie.

.....

L'altitude générale des ondulations décroît du nord-est au sud-ouest. Les dunes du nord du Lac, sur la route de BOL à MAO, s'élèvent à une vingtaine de mètres et leur pied est sec. A BOL même, le sommet de la dune est à moins de 10 m au-dessus du niveau du Lac, mais les dépressions interdunaires sont largement inondées et les bras atteignent 7 m de profondeur. En pénétrant plus avant dans le Lac, les sommets des dunes émergent tout juste. Ils sont souvent naturellement plans, comme c'est le cas de l'ancien terrain d'aviation de BOL, et, à la faveur des fortes crues, ils sont submergés.

Les sondages par ultra-sons du Lac ont révélé que le réseau dunaire s'étend bien au-delà des derniers témoins visibles que sont les îlots-bancs, et disparaissent, dans la région des eaux-libres, sous des alluvions récentes qui comblent les dépressions interdunaires. Ceci explique la nature du fond où alternent bandes sableuses et argileuses (1). Au cours de son histoire géologique le Lac a donc connu des périodes d'assèchement presque complet et un régime désertique pendant lesquels se sont créées les dunes de l'Archipel, maintenant fossiles, et les dunes du fond du Lac qui ont été, par la suite, rabotées par l'érosion et nivelées par des apports d'alluvions.

Dans l'Archipel sont concentrées toutes les activités économiques, activités qui pourraient être considérablement développées. La première de toute est l'élevage. Les bovins du Lac ont des cornes renflées en forme de bulbe leur servant de flotteur dans la traversée des bras. Les meilleures pâtures se trouvent sur les îles, surtout les plus basses aplanies par l'érosion. La submersion de nombreuses îles par la récente inondation a été de ce fait désastreuse pour l'élevage. Les bêtes disposent de trop peu de place, sont sous-alimentées et sont sensibles aux épizooties. Les fortes crues sont ainsi redoutées des habitants de l'Archipel.

.....

(1) Voir chap. II par. I "Nature des Fonds"

L'agriculture, nous le verrons, se développe dans les "polders" gagnés sur le Lac. Les papyrus décomposés donnent aux terres une grande fertilité, plusieurs récoltes de maïs ou de blé pouvant être faites dans l'année. Les dunes sont également cultivées en saison des pluies : on y sème le petit mil.

La pêche pourrait être très prospère, mais les habitants sont, par tradition, presque tous opposés à cette activité jugée dégradante. D'après M. BLACHE, l'abondance de la faune aquatique est telle que les poissons présentent souvent des signes de dégénérescence. Cette prolifération est d'autant plus troublante que les "eaux libres" sont presque azoïques.

L'exploitation du natron, enfin, dans les ouadis salés du nord, donne lieu à un commerce presque entièrement entre les mains des autochtones.

L'archipel est, du fait de ces ressources, le seul peuplé. Les villages sont établis sur le sommet des dunes, à l'abri des moustiques qui pullulent au voisinage de l'eau dès la tombée du jour. Les chefs-lieux de canton sont de gros marchés où s'échangent le blé des polders contre le sel marin que des caravanes amènent du FEZZAN.

Entre l'Archipel et les Eaux libres du sud se trouvent les "Ilots-bancs" où, sur les hauts-fonds, se sont développés de façon intense les papyrus et les roseaux. Il y a là un barrage végétal qui était infranchissable récemment : pour aller du delta du CHARI à BOL, il était généralement nécessaire de faire un détour par BAGA-SOLA, ce qui doublait la longueur du parcours. M. MOSRIN, Chef de District de BOL écrit à ce sujet :

" Jusqu'en Octobre 1953 et depuis plus de 20 ans, il n'y avait qu'une seule sortie de l'Archipel de BOL par N'GUELEA et SEYROM.

" En Octobre 1953, la passe de N'GORIA s'ouvrit spontanément sur 8 km. 2 km furent ouverts à la matchette.

" En fin 1954 s'ouvrit la passe de N'GREA.

"En fin 1955, celles de MAROSSARAM et YAGOUA (débouchant au sud près "de TCHOUKOU KAAKOU et plusieurs autres en 1956!"

La route directe de BOL est restée facilement praticable en 1957 et 1958 ; mais, cependant, comme cela se passe dans tout l'Archipel, il arrivait que certaines passes soient provisoirement bouchées par les énormes bancs de papyrus dérivants. Il suffisait d'attendre alors que les vents favorables remettent en mouvement les îles flottantes.

C'est aux "îlots-bancs" que s'apparente la "Grande Barrière" séparant les deux lacs. Le passage entre les deux lacs a été de tous temps la "poche de BAGA KAWA" dont l'existence était déjà signalée par le Général TILHO en 1908. A cette époque, il existait à l'emplacement de la Grande Barrière une forêt d'ambadjs, arbres qui croissent en eau peu profonde et dont le bois très léger ressemble au sureau d'Europe.

Cette forêt, qui, d'après M. MOSRIN, s'est maintenue jusqu'en 1953, a complètement disparu lors de la crue de 1955-1956. L'existence de cette forêt est sans doute la réponse à l'énigme suivante : pourquoi le Lac Nord, qui est plus profond que le Sud, s'est-il complètement asséché en 1906-1907, au point que l'on a pu le traverser à pieds secs. Il est probable que la forêt était alors si dense que l'eau n'arrivait plus à filtrer à travers la grande barrière, même par la poche de BAGA KAWA.

Depuis les dernières crues du Lac, ce n'est plus la seule passe ouverte. D'avion on se rend compte que la barrière est devenue fragile. Des chenaux la coupent presque de part en part, mais seul l'un d'eux est praticable sur toute la longueur, à l'opposé de la passe de BAGA KAWA.

Les marécages n'ont plus qu'une extension très faible par rapport à la situation du début de ce siècle. Comme nous l'avons déjà dit, le Lac décrit par le Général TILHO (1907) est très différent de celui que nous avons sous les yeux. Le Lac nord était en grande partie sec, et le Lac sud ne présentait d'eaux libres qu'au voisinage du delta du CHARI. A l'est et à l'ouest s'étendaient

.....

d'immenses marécages que seuls, dit-on, HUART en 1902 et DELAVOYE en 1903 avaient traversés au milieu des ambsdjs et des papyrus ... En 1952, l'aspect n'était pas très différent. Dans le voisinage de l'embouchure du SERBEWELL, près de MAKARI, s'étendait à perte de vue une prairie sèche au sol très inégal, couverte de grosses touffes d'herbe, où les niveaux successifs des eaux étaient matérialisés par la limite de la forêt très dense d'acacias, et des alignements de termitières gigantesques. A l'horizon, on devinait des étendues d'un vert plus tendre où quelques mares étaient encore en eau.

Recouvert maintenant de 2 m d'eau, le paysage n'est plus le même ; en général, vers la rive sud-ouest, les marécages ont disparu au profit d'eaux libres beaucoup plus étendues.

Cependant, l'est du Lac ne semble pas aussi bien dégagé : la végétation des marécages qui existait là s'est adaptée à la plus grande profondeur. Il est toujours impossible de joindre le rocher d'HADJER EL HAMIS par voie d'eau, tant la surface est encombrée.

III - ASPECT DES COTES

L'aspect des côtes est lié à leur genèse. Nous avons vu que des formations éoliennes constituaient l'Archipel. A l'opposé, sur les deux côtés de l'angle droit que dessine le Lac, l'alluvionnement déjà stabilisé de la KOMADOUGOU, du YEDSERAM, d'une part, du CHARI et de ses associés en pleine activité, d'autre part, forment des côtes plates et sans grand accident. Au nord-ouest, une dune longitudinale accentue la rectitude de la côte qui est nettement plus élevée que dans l'angle droit du triangle. C'est dans cette zone que la ceinture de papyrus et de roseaux est la plus étroite, de sorte qu'en quelques rares points, à CORAM par exemple, il est possible d'accoster presque directement depuis les eaux libres.

.....

Nous verrons que le CHARI est le principal tributaire du Lac et son delta est en rapport avec son débit. Un premier bras se détache de ce fleuve à FORT-LAMY, le SERBEWELL, qui n'est peut-être qu'un ancien lit du LOGONE ; pas plus le SERBEWELL que les deux autres grands bras, le TAF-TAF et l'EREDIB, ne sont cependant situés dans le delta à proprement parler. Ces rivières ont des berges franches aux bourrelets insubmersibles, et les régions qu'elles traversent ne sont que temporairement inondées par les pluies ; elles sont encore peuplées.

Le véritable delta commence en aval de DJIMTILO. Le pays est alors très différent : ce sont des marécages profonds, sans aucune terre ferme, où les courants ont ouvert quelques voies praticables au milieu des roseaux. Malgré leurs sinuosités, le fort courant entretient dans ces chenaux une grande profondeur. Ce n'est qu'à l'extrême pointe du delta, et même au delà, dans les eaux même du Lac, que se déposent les boues du CHARI. Avant la crue actuelle, une langue de sable d'une centaine de mètres mémergeait à la sortie du bras Est. La progression annuelle semblait dépasser 50 mètres par an à cette époque. DJIMTILO se trouvait, d'après les cartes du Général TILHO, tout près du Lac, en 1906, alors qu'il en est maintenant éloigné de 20 km.

Le delta de la KOMADOUYOU n'a rien de commun avec celui du CHARI. Le cône d'alluvions déborde à peine sur la côte rectiligne et le débit actuel est insuffisant pour balayer la végétation qui encombre le lit très en amont de l'embouchure. Pourtant, c'est bien aux alluvions de la KOMADOUYOU que la majeure partie de la côte Ouest doit sa formation. Ces alluvions, entre BAGA KAWA et BANGOA, ont été remaniés et forment une dune de sable continue. La direction est la même que celle des chapelets d'îles de l'Archipel : le remaniement est donc vraisemblablement dû aux vents.

La végétation de cette dune s'appauvrit progressivement du Sud au Nord. A N'GUIGMI, les épineux ont presque disparu. Sur la dune se trouvent quelques rares villages.

Les zones les plus déprimées ne sont pas ces deltas, mais les régions situées de part et d'autre. Ainsi, entre BAGA KAWA et l'embouchure de l'EL PEID, en NIGERIA, la plaine côtière est si basse que l'inondation y a pénétré profon-

dément : ces régions, qui n'avaient pas été submergées depuis le début du siècle, avaient pu se recouvrir d'une savane arborée (acacias Soyal principalement) qui a été détruite par l'inondation et présente maintenant le spectacle de désolation de troncs morts plongés dans une boue stérile.

De même, depuis le delta du CHARI jusqu'au BAHR EL GHAZAL, l'extension du Lac est considérable : de grandes surfaces d'un niveau inférieur à celui du Lac sont inondées par des courants provenant de celui-ci. Les rochers de MANI ou d'HADJER EL HAMIS ne sont que des accidents insignifiants dans ce pays uniformément plat. Là aussi, les grandes forêts d'acacias scorpioïdes ont subi les dégâts d'une inondation survenant après une longue période de basses eaux.

Le BAHR EL GHAZAL se trouve dans la zone de transition où les dunes ne sont plus que de molles ondulations, suffisantes cependant pour imprimer aux dépressions alimentées par le Lac la direction caractéristique sud-est, nord-ouest. Au départ, le BAHR EL GHAZAL est une dépression identique à ses voisines ; ce n'est guère qu'à MASSAKORY que le sillon s'individualise en empruntant une direction perpendiculaire à la première. Nous verrons plus loin que cette longue coupure est le reste de la communication entre le Lac TCHAD et les pays bas du TCHAD (EGUEI, KOROTORO).

Entre le BAHR EL GHAZAL et la région de N'GUIGMI s'étend la région de l'Archipel dont les côtes, on le comprend aisément, sont extrêmement découpées. Elles ont été décrites plus haut.

IV - LA FLORE DU LAC

A - 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 le bassin 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 KINDIN-BAGA-KAOUA en 1955 et 1956.

Les papyrus ne peuvent croître 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/h. 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 (la majeure partie de l'année), 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 très variables et viennent alternativement du nord-est et du sud-ouest. 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, nous avons vu au cours des crues 1956 et 1957, de nombreux îlots de papyrus jaunir et s'enfoncer sous les eaux. Ils disparaissent ainsi et forment les limons des polders.

B - Les roseaux (*echinocloa pyramidalis*)

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 N'GUIGMI 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.

C - 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 dernière montée des eaux et les ambadjs en place sont devenus très rares.

V - LA FAUNE DU LAC

Quelques aspects d'ordre biologique et piscicole
par M. Jacques BLACHE, Maître de Recherches de l'O.R.S.T.O.M.

Le bassin du Lac TCHAD, aujourd'hui bassin pratiquement fermé, si l'on ne tient pas compte de la faible fenêtre ouverte sur son flanc W (bassin du MAYO-KEBBI) fut autrefois largement ouvert sur le bassin Nilotique, d'une part par le sillon du BAHR-EL-GHAZAL et sur le bassin Nigérien, d'autre part, par le système MAYO-KEBBI-BENOUE. Les échanges de faune eurent lieu dans le sens NIL-TCHAD-NIGER à des époques encore relativement récentes. Si la barrière faunistique est devenue immense et infranchissable entre le bassin Nilotique et le bassin Tchadien, il n'en est pas de même entre ce bassin et le bassin Nigérien où la seule barrière est constituée par les chutes Gauthiot, infranchissables seulement pour les faunes venant du NIGER (présence d'Arius gigas au pied même des chutes, de Citharidium Ansergei dans la Lac de LERE, etc ...)

C'est dire que la faune Tchadienne est dans sa très grande majorité une faune Nilotique banale appauvrie.

Elle présente d'ailleurs des caractères de transition. Les études approfondies des faunes piscicoles du NIL, d'une part, et du NIGER, d'autre part,

avaient permis de distinguer des sous-espèces nilotiques et nigériennes à caractères suffisamment tranchés. L'étude faite actuellement de la faune tchadienne montre des espèces à caractères participant des sous-espèces nilotiques et nigériennes avec dominance alternée des unes ou des autres, c'est le cas notamment pour *Polypterus bichir* avec tantôt dominance de *bichir bichir*, tantôt de *bichir Lapradei*, d'*Hyperapissus bebe* tantôt *bebe*, tantôt *bebe occidentalis*, de *Petrocephalus bane*, tantôt *bane bane*, tantôt *bane Ansongei*, etc ...

La faune du Lac lui-même ne présente qu'une seule différence avec celle de ses tributaires fluviaux (LOGONE et CHARI) : la présence dans le Lac, alors qu'il est absent dans les fleuves, d'un cichlidae : *Haplochromis Desfontainae*. Les autres différences sont d'ordre uniquement distributif. Les *Alestes dentex* et *baremore* n'y apparaissent qu'au moment de leur migrations de concentration à la fin de la crue ; les Cichlidae sont surtout représentés par *Tilapia Monodi* alors que dans le système fluvial nous avons surtout *Tilapia galilea* et *nicotica*. Les cyprinodontidae (*Epiplatys* et *Aplocheilichthys*) sont très abondants ainsi que les Microcyprinidae avec une douzaine d'espèces du genre *Barbus*.

La monographie de J. Pellegrin "Les poissons du Bassin du TCHAD) Paris 1914, basée sur des récoltes trop clairsemées, trop incomplètes, n'est plus justifiée dans la distinction du bassin Tchadien comme bassin particulier.

Quantitativement, les familles les plus représentées sont dans l'ordre :

- Les Characinidae (*G. Hepsetus*, *Hydrocyon*, *Alestes*,
 (*Micralesves*, *Pertersius*, *Nannaethiops*,
 (*Nannocharax*, *Techlyoborus*,
 (*Distichotus*, *Citharinus*, *Paradistichodus*

- Les Siluridae (*G. Clarias*, *Heberbranchus*, *Schilbe*, *Eutropius*,
 (*Siluranodon*, *Physailia*, *Bagrus*, *Chrysichthys*, *Clarotes*,
 (*Auchenoglanis*, *Synodontis*, *Machochus*, *Andersonia*,
 (*Malopterurus*.

- Les Mormyridae (*G. Hyperopissus*, *Mormyrus*, *Mormyrops*, *Gnathonemus*,
 (*Petrocephalus*, *Marcusenius*

....

- Les Cichlidae (G. Hemichromis, Tilapia, Haplochromis)
- Les Cyprinidae (G. Labes, Barbus, Barilius)
- Les Cyprinodontidae (G. Aphyosemion, Epiplatys, Aplochei, Lichthys).

Nous avons ensuite les Polypteridae, Osteoglossidae, Gymnarchidae, Centropomidae, Anabantidae, Eleobridae, enfin peu répandues, les Nobopteridae, Mastacembrelidae, la première famille avec Xenomystus, Nigri, la seconde avec Mastacembelus Loennbergi.

Si les études de la faune piscicole sont assez avancées, il n'en est pas de même des études d'ordre proprement limnologiques qui sont à peine amorcées.

Le Lac TCHAD avec ses 20.000 km² et sa profondeur moyenne de 1,50 m, maximum 5 m, est un cas limnologique probablement unique au monde.

Ce Lac, par sa superficie, nombre de ses caractéristiques biologiques (plancton à Melosira et Chlorococcales dominantes), cet étang, par sa profondeur et nombre de ses caractéristiques biologiques également (couverture faunistique générale du fond par des larves d'éphémères de sialides, d'odonates) présente un facies dystrophe dans sa zone ouest, sud-ouest encombrée de graminées (Echinochloa Vossia) et de Cyperacees (Cyperus Papyrus surtout) avec une végétation submergée très pauvre (Ceratophyllum) à un facies entrophe dans sa zone Est-Nord-Est, avec une riche végétation submergée et une faible densité de graminées et Cyperacées.

La faune piscicole très abondante dans la zone entrophe (majorité de Cichlidae) paraît pauvre dans la zone dystrophe (quelques Cithacinidae et Mormyridae). Seule la zone deltaïque est un peu plus riche, les apports du CHARI neutralisant dans une certaine mesure les effets de la décomposition en masse des rhyzomes de papyrus.

Ajoutons pour terminer que les activités de pêche dans la zone pourtant si riche des îlots-bancs (zone entrophe) sont extrêmement réduites du fait d'un préjugé défavorable des populations pourtant nombreuses. On observe dans la faune fascicole de cette zone des caractères de surpopulation très nets (formes de famille, dégénérescence et malformations squelettiques, parasitoses intenses) il faut souhaiter qu'une évolution du comportement des populations riveraines vis-à-vis de la pêche se produise, car cette zone pourrait facilement produire au moins 10.000 tonnes annuelles de poissons frais sans compromettre, bien au contraire, l'équilibre de sa faune.

VI - ITINÉRAIRES SUR LE LAC TCHAD

Le Lac évolue au cours des saisons et des ans et les itinéraires possibles pour se rendre d'un point à un autre du Lac sont ainsi très variables.

- Itinéraires dans les eaux libres du sud

Si la topographie de cette zone n'a pas changé depuis 1908 et si tous les itinéraires sont maintenant possibles grâce à des fonds toujours suffisants, la navigation est devenue plus dangereuse ; par contre, depuis quelques années, la profondeur moyenne atteignant maintenant 4 m, permet la formation de vagues plus fortes qu'autrefois.

Si le vent dépasse 10 m/sec., le Lac "moutonne" et les vagues courtes atteignent une amplitude de 1 m à 1,20 m. En 1956, une tempête a provoqué le naufrage de la pinasse du Douanier BOVRIT.

- Itinéraires dans l'archipel

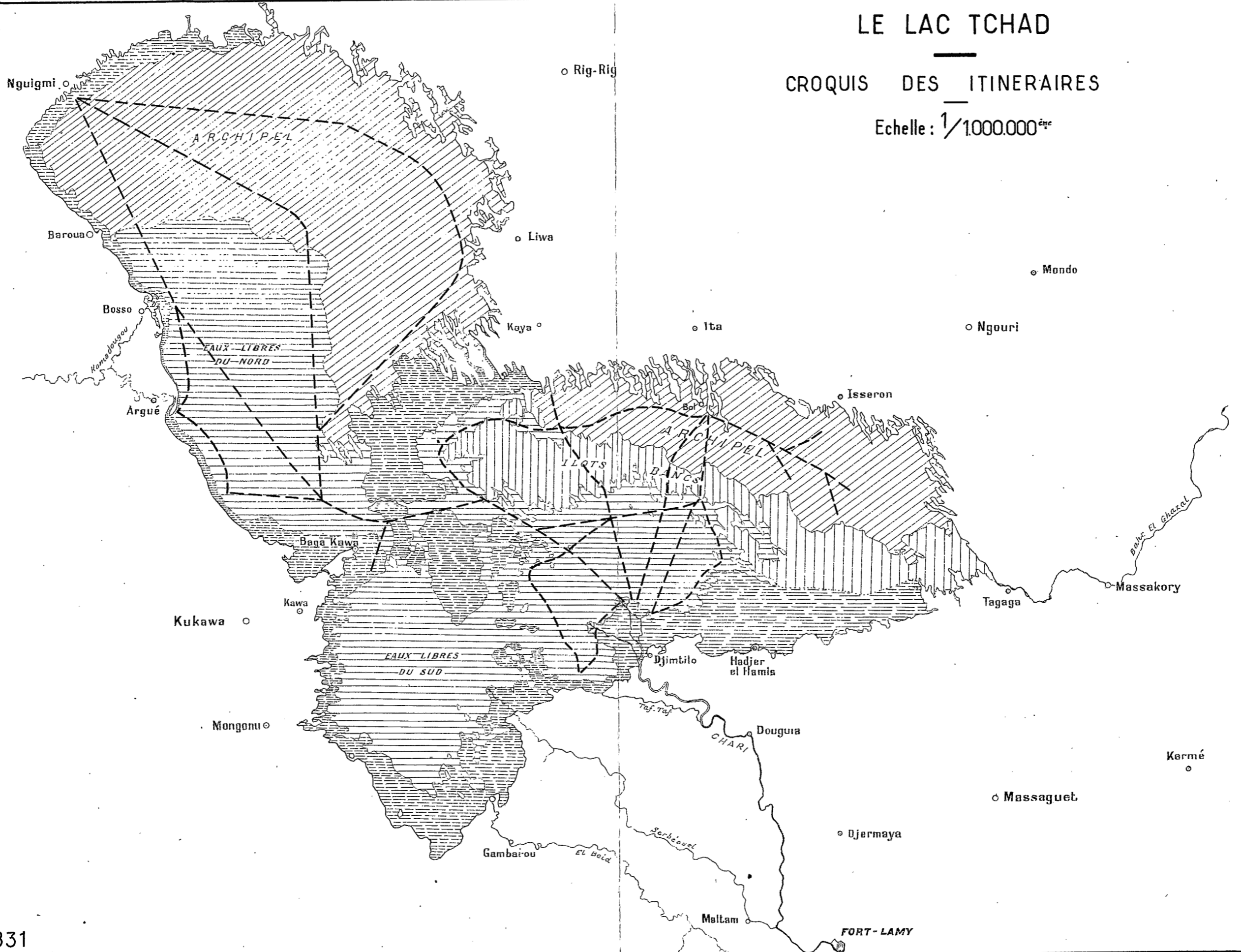
Dans l'archipel, les itinéraires peuvent varier d'une saison à l'autre et même du jour au lendemain, dans le détail, mais ils sont restés cependant, en gros, les mêmes, au cours des années, comme on peut le vérifier par les archives du Général TILHO.

CARTE : II

LE LAC TCHAD

CROQUIS DES ITINERAIRES

Echelle : 1/1.000.000^{ème}



TCH_7831

Les vents poussent les îlots de papyrus le long des îles de sable, obstruant fréquemment le passage entre deux îles. En pinasse, il suffit de contourner l'île et de chercher un passage libre ; les indigènes, plutôt que de faire un long détour en "kadayes" (bateaux léger de papyrus ou de roseaux), préfèrent attendre la saute de vent qui dégagera le bouchon de papyrus.

Il n'est pas rare, dans ces conditions, d'emprunter des itinéraires très différents au cours de voyages faits à quelques jours d'intervalle.

En fin de saison des pluies 1956, pour se rendre de BOL à BAGA-SOLA, on emprunte la route directe de l'archipel, ou le détour par la passe de YAGOUA ou de N'GORIA, au sud de BOL, et de là les eaux libres, où enfin la passe de N'GREA, ce qui double la durée du voyage.

- Itinéraires permettant d'aller des eaux libres du sud dans l'archipel

Entre eaux libres et archipel, la zone des îlots-bancs est difficile à franchir et les itinéraires ont souvent varié.

En 1902 et 1903, AUDOIN et VIGNON, partant de l'estuaire du CHARI, utilisaient la passe de N'GORIA pour se rendre à BOL et celle de N'GREA pour aller à BAGA-SOLA, port d'embarquement du natron.

En 1955, toutes les passes de l'estuaire à BOL étaient bouchées et la seule route contournait les îlots-bancs en passant par SEYOROM. Le trajet estuaire du CHARI-BOL était environ de 180 km (15 heures).

Quelques mois plus tard, la passe de N'GORIA se débouchait et en 1956 on pouvait, comme en 1903, utiliser la route directe et le trajet estuaire-BOL, réduit à 70 km, ne durait plus que 5 heures (voir page 5).

- Itinéraires permettant de passer des eaux libres du sud à celle du nord.

La grande difficulté est ici la "Barrière" qui, nous l'avons vu, est une zone de hauts fonds formée de papyrus, d'herbes et d'ambadjs entre KAYA et BAGA-KAOUA.

En 1904, AUDOIN la traversait à son extrémité nord en allant vers KINDIN.

En 1908, cette passe était fermée et le Général TILHO, en se frayant avec difficulté un passage à travers les papyrus, traversait cette barrière près de BAGA-KAOUA et débouchait dans la poche d'eau de BAGA, suivant l'itinéraire classique maintenant.

En 1950, il y avait une seule passe sur cet itinéraire, elle était large de 10 à 50 mètres au maximum.

Elle était dans le même état en fin Juin 1953. Elle s'est considérablement élargie depuis.

En 1955, M. LEFEVRE reprenait l'itinéraire de 1908 du Général TILHO, mais la passe avait 1 km de largeur. Pour sortir dans la poche d'eau de BAGA et pénétrer dans les eaux libres du nord, la passe avait en Juillet 1955, 500 mètres de largeur.

En Octobre 1955, cette dernière passe avait 2 km et en Avril, 10 km.

La première passe conduisant de la partie sud du Lac à la poche d'eau de BAGA est utilisée par de nombreuses "kadayes" partant de BOL ou de BAGA-SOLA et se rendant en TCHAD-NIGERIA, les kadayes rapportent des tissus, du thé ou du sucre, au mépris de la surveillance de l'unique douanier du Lac.

La passe nord est de nouveau praticable. En Octobre 1956, M. MOSRIN est passé du bassin nord au bassin sud par le bras de AMAI TCHILLOUAN, à l'est de KINDIN, impraticable depuis plus de 40 ans, et en Juin 1957, par la passe de KAALLOM par l'archipel de BOGOUEROM.

- Itinéraires dans le sud-ouest du Lac

Le Général TILHO indique que DELAVOYE, en 1903, partit de l'estuaire du CHARI, traversa les marécages du sud-ouest du Lac pour accoster aux environs de N'GORNOU. Depuis cette date, aucun européen n'avait visité ce secteur à notre connaissance, tout au moins avant la tournée qu'effectuèrent MM. LEFEVRE et GUICHARD, de l'estuaire du CHARI à WULKO en Juin 1957.

- Itinéraires dans le nord du Lac

En 1903, 1904 et 1905, cette partie du Lac a été parcourue en tous sens par d'HUART, AUDOIN et FREYDENBERG.

En 1908, toute la zone au nord du parallèle de BOSSO était asséchée.

En 1955, les eaux libres du nord bien dégagées permettaient de circuler comme en 1904. Depuis, de nouvelles passes s'ouvrent constamment dans l'archipel du nord-est et permettent de pénétrer profondément dans des régions autrefois exondées.

Plus que partout ailleurs, la navigation sur le Lac est fonction de la hauteur d'eau et de la direction des vents.

Un abaissement de niveau fait apparaître un grand nombre de hauts-fonds sur lesquels les îlots flottants de papyrus viennent s'échouer. Des passes sont bouchées et la topographie de vastes zones est modifiée.

Les vents agissent différemment suivant les saisons :

Constants en saison sèche, ils poussent les papyrus qui obstruent certains passages pendant plusieurs mois de suite.

En saison des pluies, les perpétuels changements de direction du vent bouchent ou dégagent les passes, modifient constamment les itinéraires à travers les îlots-bancs ou l'archipel, mais toujours d'une façon provisoire.

C H A P I T R E I I

C A R A C T E R I S T I Q U E S H Y D R O G R A P H I Q U E S D U L A C

I - P R O F O N D E U R D ' A P R E S L E S S O N D A G E S P A R U L T R A - S O N - M A I E T J U I N 1 9 5 7

La Mission LOGONE-TCHAD a commencé en 1957 les sondages systématiques du Lac avec un appareil de type MS 26 F, de fabrication Kelvin-Hugues. Le dépouillement des bandes d'enregistrement est en cours. La longueur total des profils relevés atteint déjà 1.000 km. Cette étude présente certains aspects caractéristiques des profils de sondages (voir les planches I à VI).

N A T U R E D E S F O N D S

Les sondages ont révélé que les fonds étaient généralement constitués de deux sols superposés de compacité très différente, la couche supérieure se laissant traverser par les ultra-sons, et permettant d'atteindre un deuxième étage plus dur. Ces deux étages ont donné des échos séparés sur les bandes. L'étage supérieur est de la vase plus ou moins diluée.

Quelquefois, l'étage inférieur affleure et l'on se rend alors compte de sa nature sableuse.

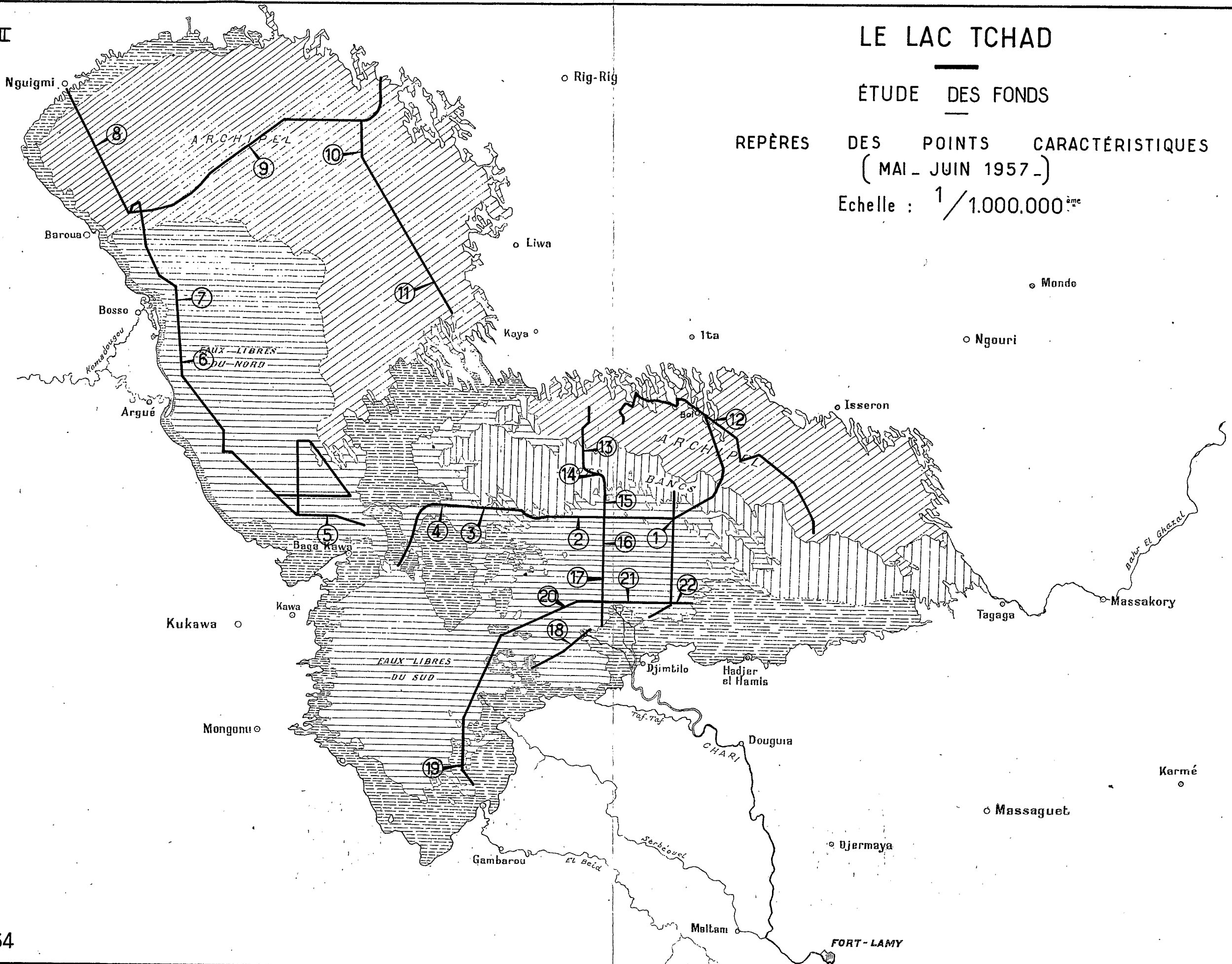
A l'examen des profils, une hypothèse s'impose : l'étage inférieur serait constitué de dunes qui auraient été recouvertes par les alluvions récentes. Vases et limons occupent en effet les intervalles entre-dunes, dont les crêtes affleurent en certains cas.

LE LAC TCHAD

ÉTUDE DES FONDS

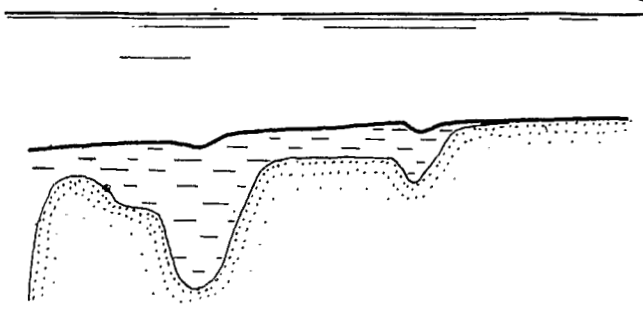
REPÈRES DES POINTS CARACTÉRISTIQUES
(MAI - JUIN 1957)

Echelle : 1 / 1.000.000^{ème}



1

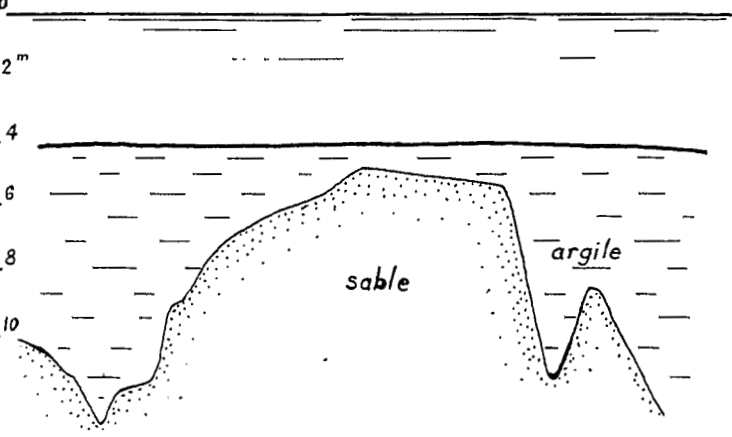
profondeur



17-5-57 à 15 h, 10
 Eaux libres du Sud à 6 km. Sud
 NGOREA.
 L'argile (épaisseur de la couche
 variant de 1 à 5 mètres) fait pla-
 ce au sable.-

2

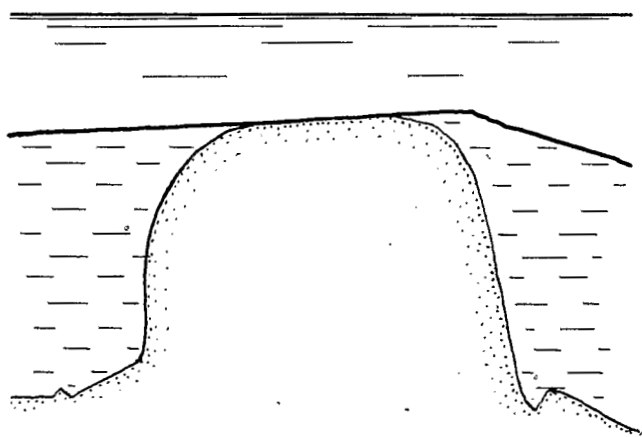
0
2^m
4
6
8
10



19-5-57 à 18 h, 10
 Eaux libres du Sud - G. W.
 Dune sable entièrement recouverte par
 l'argile épaisseur d'argile 9 m. maxi-
 mum.-

3

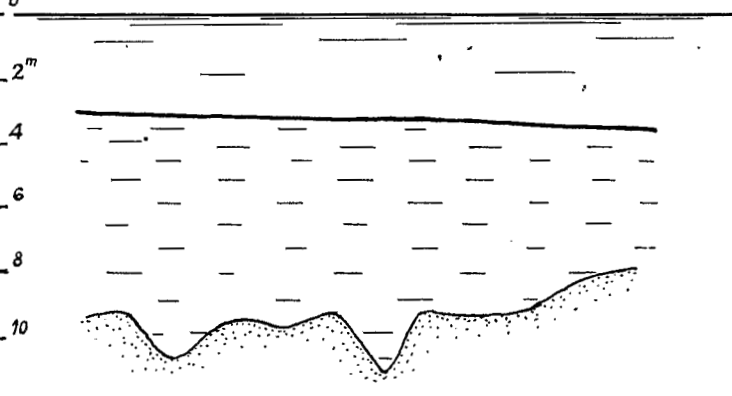
profondeur



20-5-57 à 7h, 38
 G.W.
 Dune de sable arasée au niveau
 du fonds argileux -

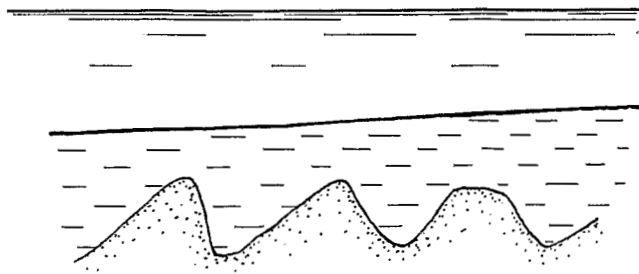
4

0
2^m
4
6
8
10



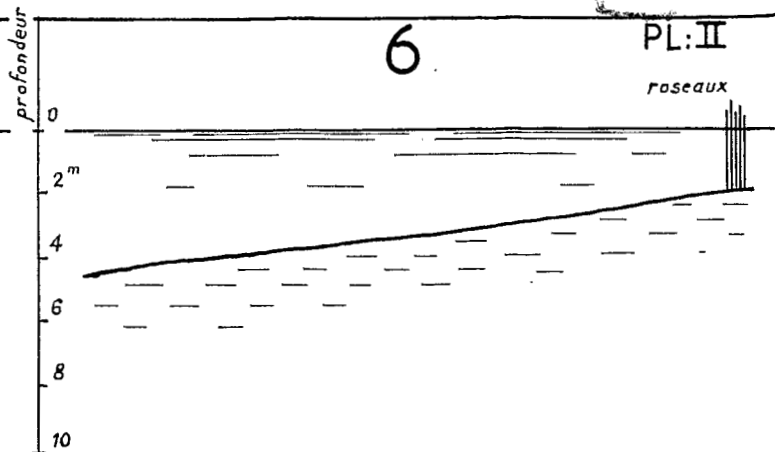
20-5-57 à 9 h, 10
 G.
 Faible ondulation du sable- Impor-
 tance de la couche d'argile 6 à 8 m.

5



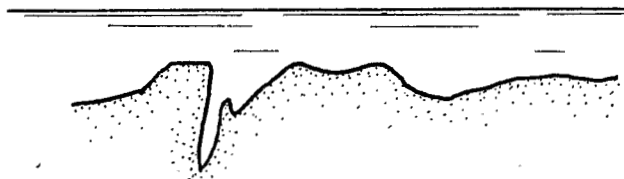
20-5-57 à 15 h, 10
G.W.
au Nord de BAGA KAOUA

6



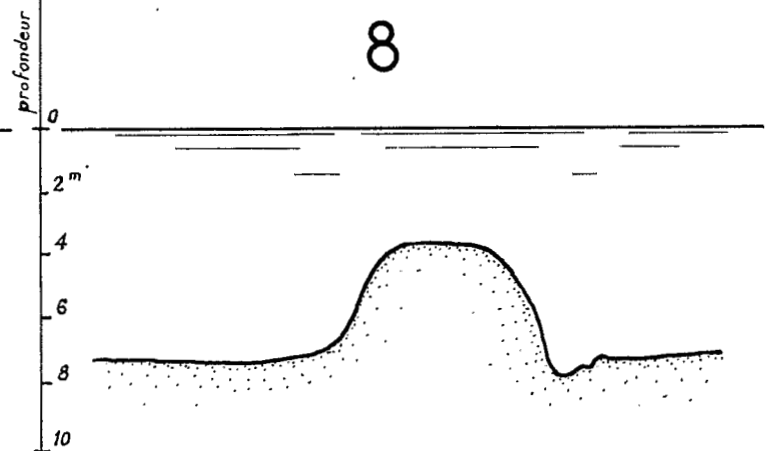
21-5-57 à 8 h, 43
Direction du profil perpendiculaire
à la cote (près de Coram en NIGERIA)
le fonds argileux monte régulière-
ment.-

7



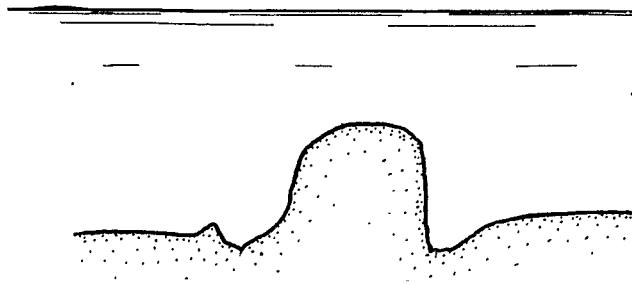
21-5-57 à 12 h, 35
G.N.
au large (500 m.) du DELTA de la
KOMADOUGOU.
Ancien lit de la rivière lorsque ni-
veau du lac plus bas ?

8



23-5-57 à 10h, 25
Zône des roseaux au Sud de NGUIGMI
G. Sud
Ancienne île submergée sommet arasé-

9



24-5-57 à 16 h, 20

G. ENE

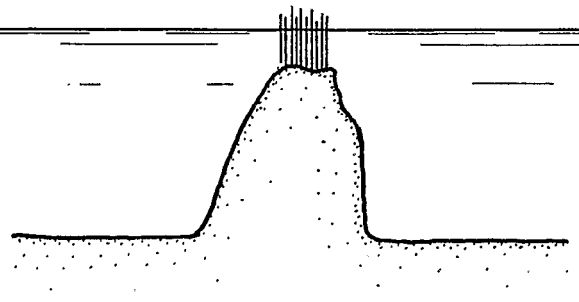
Environ 40 Km. S. W. KIRKAOUA

Ile submergée .

10

PL. III

profondeur

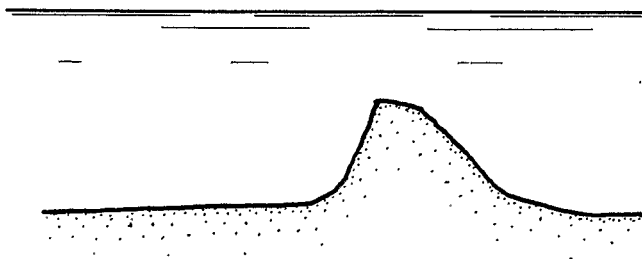
0
2^m
4
6
8
10

26-5-57 à 9h,45

G. SE.

A 22 Km. Sud KIRKAOUA île submergée
Roseaux - sommet arasé -pente forte

11



26-5-57

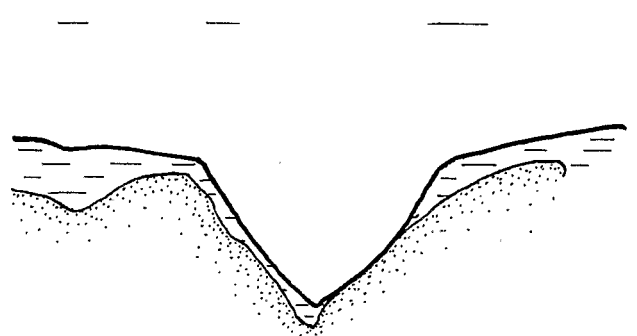
Au Nord-Ouest de LIMBOYE

G.S.E.

Ile submergée

12

profondeur

0
2^m
4
6
8
10

30-5-57 à 9 h,43

Sud île BERIM

Etroit chenal où le courant a for-
tement creusé - profondeur 10,5 m.-

13

profondeur

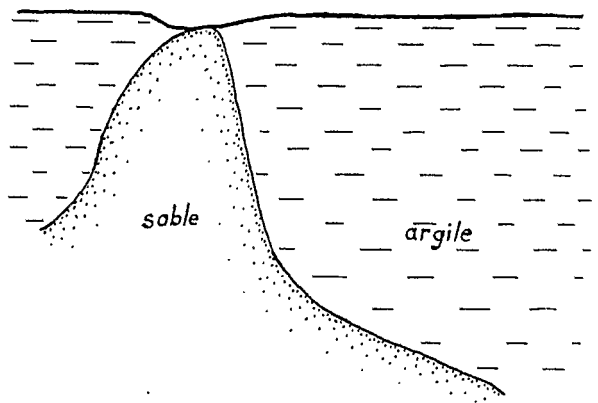
14

PL. IV

0
2^m
4
6
8
10



argile compacte



sable

argile

3-6-57 à II h,05

G. Sud

Passe de NGOREA

Ligne de haut fonds argileux. -

3-6-57 à 12 h,20

G. Sud

Sud passe de NGOREA

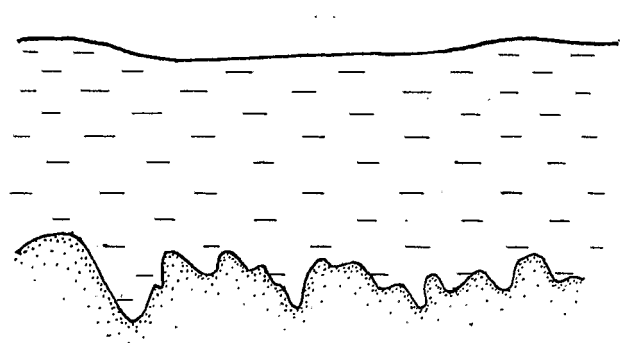
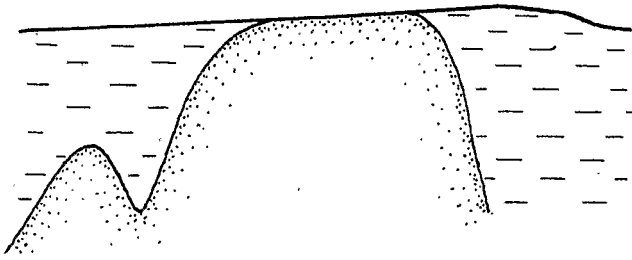
Haut fonds sableux peu large couche d'argile très épaisse.

15

profondeur

16

0
2^m
4
6
8
10



3-6-57 à 13 h,10

G. Sud

Eaux libres au Sud de NGOREA
Sommet de dune arasé.

3-6-57 à 14 h,10

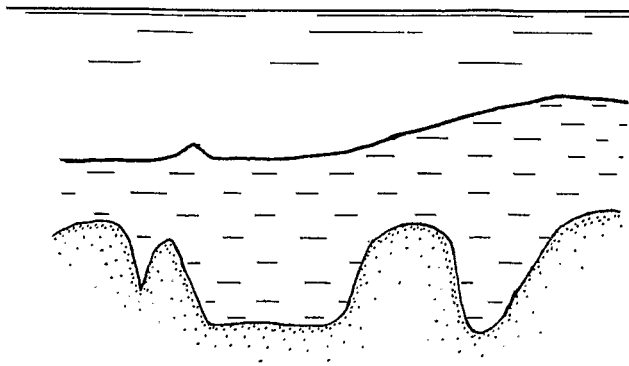
10 Km. au Nord de KILIKOFIA

G. Sud

Sous-sol sableux très dentelé.-

17

profondeur



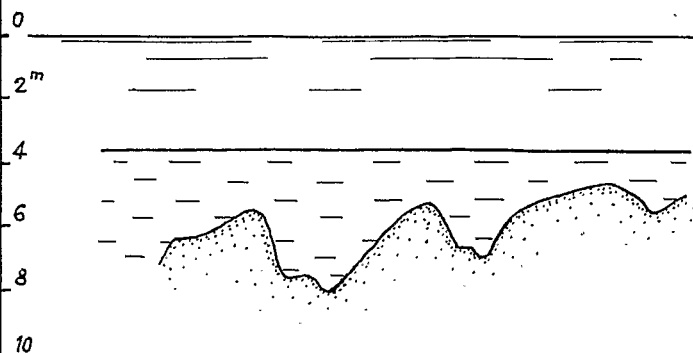
3-6-57 à 15 heures
Nord de KILIKOFIA
G. Sud.

Fonds argileux s'élève en approchant de l'île.-

18

PL.V

profondeur



4-6-57 à 9 h,00

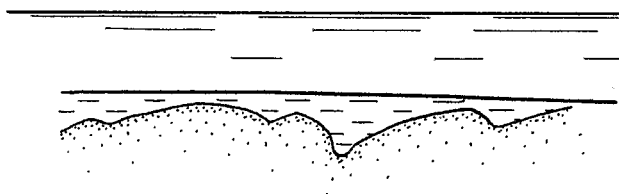
A 10 Km. S.W. - Bras W. Chari.

G.- S.W.

Pente des dunes dissemblables -
Cote, S.W. -Forte inclinaison
Cote N.E. -Faible inclinaison
Influence - vents dominants du N.E.?

19

profondeur

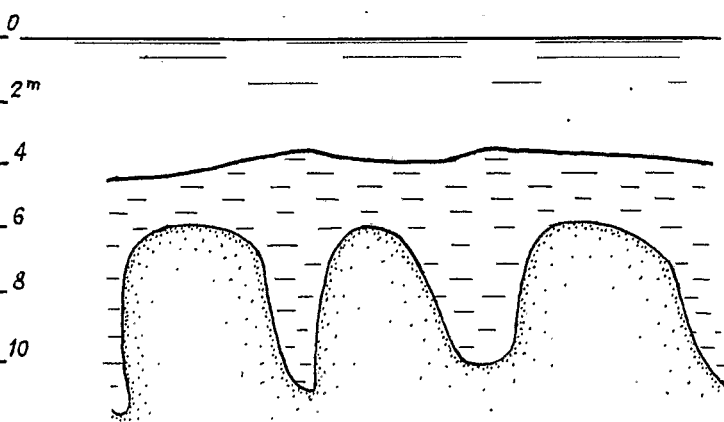


5-6-57 à 6 h,50
à 8 Km. N.W. de WULKO
G. Nord

Faible ondulation des dunes
Faible épaisseur d'argile.-

20

profondeur



5-6-57 à 12 h,45

G. ENE-eaux libres

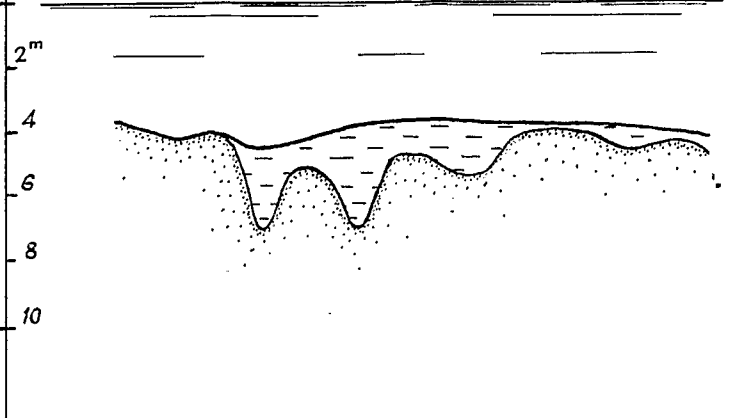
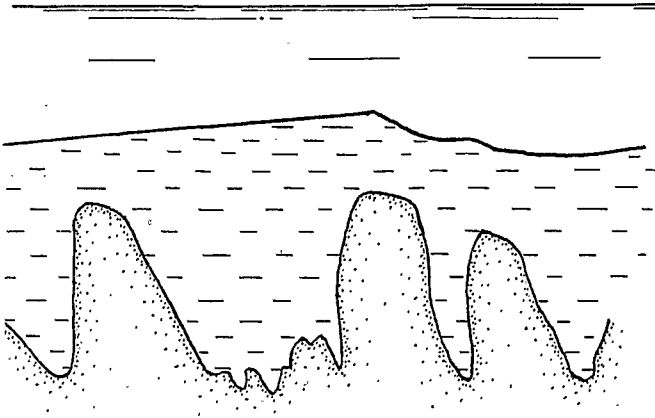
Dunes très prononcées-sommets arasés au même -niveau.-

21

22

PL. VI

profondeur



5-6-57 à 13 h,55
 N.W. Bras Nord Chari
 G. - Est -

5-6-57 à 16 h,02
 2 Km. E. Grande île G.E.



AU NORD DU LAC

L'alluvionnement récent n'existe pas (profils 8, 9, 10, 11) et l'on rencontre partout des fonds sableux.

En 6 et 7, un certain alluvionnement provient de la KOMADOUGOU (les profils ultérieurs préciseront jusqu'à quelle distance de la côte). Cet alluvionnement est sableux au droit du delta actuel et argileux dans un point où la rivière arrivait plus anciennement.

AUTOUR DE L'ESTUAIRE DU CHARI

L'alluvionnement est maximum (points 16, 17, 18, 20, 21) et le fond vaseux déjà presque horizontal recouvre entièrement le sable. En 21, la couche alluviale atteint par place plus de 6 m.

A quelques distances de l'Estuaire (point 1, 2, 14, 15, 19, 22), l'alluvionnement est moins épais et surtout on voit apparaître assez fréquemment en surface les dunes sableuses.

Dans l'Archipel de BOL, il semble que les eaux aient été filtrées à la traversée des îlots-bancs. L'alluvionnement est en effet faible en 10. Ceci est peut-être dû au remaniement de la vase très mobile par un courant. Les alluvions sont ici formées d'une vase très légère due à la décomposition des rhizomes de papyrus.

Les points 3, 4, 5 sont situés le long de la "Barrière" supposée, entre les parties sud et nord du Lac. Ils ne présentent pas un aspect différent de celui des autres points des eaux libres du sud. Il a été reconnu depuis que la vraie "Barrière" est située plus au nord.

Nous donnons ci-après quelques profondeurs dans différentes parties du Lac, correspondant à une cote à l'échelle de BOL variant autour de 282,20 (I.G.N. 1954).

	N°	Profondeur		Epaisseur vase	Remarques
		Vase	Sable		
BORD DU LAC	8		4 à 7	Ile avec roseaux submergés Dune remontant à 3 m.	
	9		4 à 7		
	10		6,5		
	11		6		
ESTUAIRE	16	4	10 à 12	6 à 8	fonds dus aux courants
	17	3 à 5	6 à 10	1 à 5	
	18	3,5	5 à 8	1 à 4	
	20	4	6 à 11	1,5 à 8	
	21	3,5 à 4,5	6 à 11	2 à 9	
EAUX LIBRES DU SUD LOIN DE L'ESTUAIRE	22	4	4 à 7	0 à 3	
	1	3 à 4	3 à 9	0 à 5	
	15	3 à 3,5	3,5 à (15)	0 à (15)	
	2	4	5 à 13	1 à 9	
	3	3 à 4	3 à 12	0 à 9	
	4	3 à 4	10 à 11	7 à 8	
	5	3 à 4	6 à 8	2 à 4	
	19	2,5 à 3	2,5 à 3	0,5 à 2	
ARCHIPEL	12	5 à 10,5	7 à 11	0 à 2	fonds dus aux courants
	13	3	3 à 4	0 à 1	
	14	3	3 à (15)	0 à 12	

Dans ce tableau, il ressort que la profondeur était stabilisée autour de 3,50 m dans les eaux libres du sud, correspondant à une cote de 278,70 pour le niveau 282,20 à l'échelle de BOL, avec toutefois des profondeurs plus grandes quand il y a des courants (4,5 à 5 m. près de l'estuaire du CHARI - soit 277,20 à 277,70).

Ces conclusions sont également valables pour l'archipel où l'on trouve cependant des profondeurs plus grandes dans les "Ouadis" du nord, particulièrement s'ils sont fermés par des goulets étroits (points 12 et 11 mètres au sud de l'Ile BERIM).

Dans les eaux libres du nord, l'alluvionnement n'a pas eu le temps de se constituer ; les profondeurs sont beaucoup plus élevées (7 mètres avec des hauts-fonds de 4 m., soit une cote minima de 275,00).

Il serait sans doute prématuré de tirer des conclusions définitives de ces premiers sondages. On remarquera cependant que l'absence d'envasement dans le nord et le relief accentué du deuxième fond rencontré pourrait signifier :

1°/ que depuis le début de l'alluvionnement récent, les apports sont dûs :

- a) au CHARI, dont le cône d'alluvions d'avance très loins dans le Lac
- b) à la décomposition des papyrus.

2°/ que très fréquemment le nord du Lac a été coupé du sud et privé d'alluvionnement.

3°/ qu'il est probable qu'à une époque très rapprochée à l'échelle géologique des temps et que l'on pourrait calculer approximativement en évaluant le cube de l'envasement postérieur, le Lac a dû s'assécher entièrement. Cette circonstance aurait permis un remaniement du fond par les vents avec création de dunes et élimination des éléments les plus fins, relief que nous retrouvons maintenant sous les alluvions vaseuses récentes.

Cartes bathymétrique -

Il est préférable d'attendre l'achèvement des sondages pour mettre cette carte au point.

Courbe bathymétrique -

Par contre, le nombre de profils relevés à fin 1957 est suffisant pour établir une première courbe bathymétrique donnant les variations de la surface de la cuvette située au-dessous d'une cote donnée. Cette courbe est différente de la courbe de superficie inondée, qui elle tient compte des possibilités pour les apports du CHARI de joindre tous les points de la cuvette située sous le niveau considéré en raison de la présence de seuil.

Cette courbe a été établie en affectant à chaque profil relevé une surface d'influence SA SB SC etc ... Les profils ayant été relevés pour la cote 283. Les sondages ne donnent de renseignements utiles que pour les zones d'eaux libres y compris celles de l'Archipel. Pour les zones de papyrus et de marécages, nous avons tenu compte du fait qu'elles correspondent à de faibles profondeurs, moins de 3 m et qu'à la cote 283, pratiquement tous les marécages sont en eau, on suppose donc une variation régulière de la courbe hypsométrique entre les cotes 280 et 283,00.

Enfin, les zones occupées par les îles émergent et culminent à 5 m au maximum au-dessus du niveau des eaux de 1957 soit à 288.

Le tableau I donne pour chaque profil la répartition des surfaces en-dessous de chaque cote pour les zones d'eaux libres.

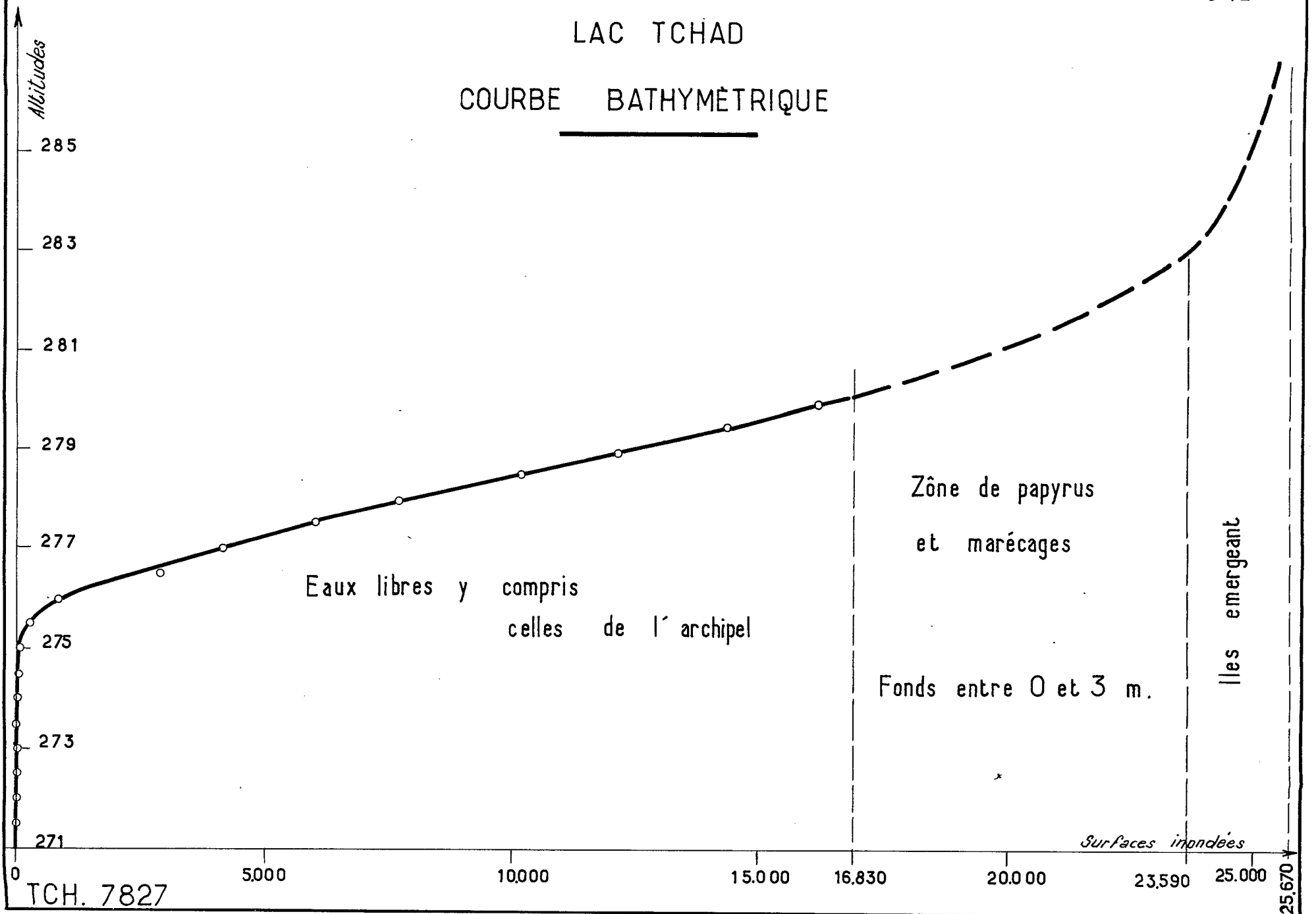
Le tableau ci-dessous précise les mêmes superficies pour l'ensemble du Lac, y compris les zones de marécages et des îles.

On trouvera ci-contre la courbe bathymétrique, courbe N° 1.

.....

LAC TCHAD

COURBE BATHYMETRIQUE



Eaux libres y compris celles de l'archipel

Zône de papyrus et marécages

Fonds entre 0 et 3 m.

Iles émergent

Surfaces inondées

TCH. 7827

25,670

TABLEAU I

Cote	3.600 km ² Eaux libres du Sud				4.010 km ² Ilots bancs du Sud				3.000 km ² Eaux libres du Nord			6.220 km ² Ilots bancs du Nord			Nord	Nord et Sud		
	A	B	C	C1	A1	B1	D	E	Sud	F1	I	J	F2	G			H	
282,00																2.080,00	9.220,00	16.830,00
281,50										1.200,00			2.070,00		2.071,68	9.211,68	16.821,68	
281,00			1970,00						7.610,00	1.170,08			2.061,96	2.070,00	2.067,52	9.169,56	16.779,56	
280,50	650,00		1.955,78	330,00			1.720,00		7.595,76	1.149,68		600,00	2.035,83	2.064,92	2.063,36	9.113,79	16.709,55	
280,00	643,63	650,00	1.601,54	286,00	570,00	570,00	1.686,32	1.150,00	7.147,93	1.098,00	1.200,00	596,20	1.973,52	2.036,98	2.050,88	8.955,58	16.103,51	
279,50	609,96	618,72	789,86	191,40	567,21	555,36	1.288,66	1.147,64	5.758,81	906,24	1.181,64	584,80	1.883,07	1.958,24	2.030,08	8.404,07	14.302,88	
279,00	494,39	574,56	629,66	68,0	198,93	383,44	806,36	1.103,98	4.257,32	570,32	1.144,92	581,00	1.708,20	1.833,78	1.990,56	7.828,78	12.086,10	
278,50	366,99	471,52	394,70	0,0	0,0	325,38	56,92	838,48	2.853,97	389,44	1.000,66	554,40	1.587,45	1.757,58	1.928,16	7.267,69	10.121,66	
278,00	109,46	245,88	58,50				182,80	38,32	401,86	1.074,64	209,92	816,44	512,60	1.473,03	1.896,62	1.863,68	6.570,29	7.644,93
277,50	11,18	4,16	0,0				68,40	27,40	176,50	277,64	72,56	588,00	495,50	1241,83	1.630,58	1.691,04	5.409,51	5.997,15
277,00	0,0	0,0					24,40	20,12	93,90	138,42	0,0	28,02	392,90	681,09	1506,12	1360,32	3.968,45	4.006,67
276,50							15,60	18,30	44,34	78,24		0,0	81,30	466,52	1.226,72	915,20	2.733,74	2.867,98
276,00							8,58	16,48	25,46	50,50			0,0	285,12	274,22	199,68	759,02	809,52
275,50							8,58	14,66	19,56	42,78				55,98	32,92	101,92	190,82	233,60
275,00							6,80	12,84	12,48	32,12				0,0	0,0	0,0	0,0	32,12
274,50							6,80	0,0	12,48	19,28								19,28
274,00							5,04		10,12	15,16								15,16
273,50							5,04		7,76	12,80								12,80
273,00							3,28		7,76	11,04								11,04
272,50							3,28		7,76	11,04								11,04
272,00							0,0		6,58	6,58								6,58
271,50									5,40	5,40								5,40
271,00									0,0	0,0								0,0

COURBE BATHYMETRIQUE AU-DESSUS DE 279,50

Cote	Eaux libres	Zones marécageuses	Iles	Total
285	16.830 km ²	6.760 km ²	2.080	25.670 km ²
283	16.830 km ²	6.760 km ²	0	23.590 km ²
282,50	16.830 km ²	5.574 km ²	0	22.404 km ²
282	16.830 km ²	4.507 km ²	0	21.337 km ²
281,50	16.822 km ²	3.381 km ²	0	20.203 km ²
281	16.780 km ²	2.254 km ²	0	19.034 km ²
280,50	16.710 km ²	1.128 km ²	0	17.838 km ²
280,0	16.104 km ²	0	0	16.104 km ²
279,50	14.303 km ²	0	0	14.303 km ²

(1)

(1) non compris les zones de débordement type BAHR EL GHAZAL

II - SUPERFICIE DU LAC

Nous avons vu que les rives du Lac étaient imprécises. Seule une partie de la côte ouest est rectiligne et bien définie ; les côtes nord-est et est sont très dentelées, quant aux côtes sud et sud-ouest, les zones de marécages ne donnent pas lieu à une rive définie.

a) Surface actuelle du Lac

Nous avons d'abord évalué la superficie de la cuvette du Lac, telle qu'elle se présentait en 1956. Les limites de cette cuvette sont approximativement inscrites dans le polygone ayant pour sommets principaux les points suivants :

N'GUIGMI, frontière A.O.F. - A.E.F. à 12 km au sud de BIR AMAN, 4 km au nord de KISKAOUA, 22 km au sud-ouest de RIG RIG, 5 km à l'ouest de MAYALLA, 4 km au nord de BAGA SOLA, 2 km au sud de N'GARANGOU, ISSEIROM, 10 km au sud-ouest de

....

BOLOSSIDI, 10 km au nord-ouest de TAGAGA, KOULLOUDIA, 10 km au nord-ouest de TOURBA
AM BELITO, HADGER EL HAMIS, DJIMTILO, NGANATIR, ABASSOUNI, 2 km au nord de SCUERAM,
BAGA KAOUA, 6 km à l'est de ARGUE, MAGOUMOURI, 2 km à l'est de BANGOA, N'GUIGMI.

La surface de la cuvette ainsi délimitée a été trouvée égale à
25.670 km².

En 1951, pour un niveau inférieur de 0,75 au niveau de 1956, la superficie de la cuvette définie de façon analogue, peut être évaluée à 24.050 km², soit une différence de 1.620 km² avec celle de 1956.

Cette cuvette comprend trois séries de zones de natures différentes :

1°/ les îles de terre ferme habitées ou couvertes de pâturages (les presque-îles de la zone de l'archipel sont comprises dans cette définition)

2°/ les îlots-bancs, marécages, zones de papyrus

3°/ la surface liquide libre.

Les tournées que nous avons effectuées depuis 1954, les photos aériennes prises en 1951 et 1956, les renseignements obtenus auprès des Chefs de District de MASSAKORY et du Lac ou des autochtones, Kanembous, Boudoumas et Bornous, nous ont permis d'obtenir approximativement les surfaces de chacune des zones suivantes pour les années 1951 et 1956 :

	<u>Niveau : 282,20</u> <u>1951</u>	<u>Niveau : 282,95</u> <u>1956</u>
Surface des îles habitées ou à pâturages	2.450	2.080
Surface des îlots-bancs des marécages, papyrus	7.300	6.760
Surface liquide	14.300	16.830
Emprise totale de la cuvette :	<u>24.050</u>	<u>25.670</u>

en km²

.....

b) Répartition des surfaces sur les différentes cartes existantes

L'absence de cartes précises pour la NIGERIA et la région de N'GUIGMI et l'inexactitude des cartes actuelles au 1/200.000e enlèvent beaucoup de précision à ces résultats que nous devons considérer comme provisoires.

La répartition des surfaces occupées par le Lac sur les différentes cartes est la suivante :

SUPERFICIE DU LAC TCHAD EN 1951

Niveau du Lac : 282,20

<u>Feuille</u>	<u>Surface liquide</u>	<u>Surface des îles habitées ou à pâturages</u>	<u>Surface des îlots de ro- seau, papyrus ou marécages</u>	<u>Total</u>
TOURBA 1/100.000°	40		210	250
HADGER EL HAMIS 1/200.000°	510		1.700	2.210
NIGERIA 1/500.000°	1.000		500	1.500
N'GOURI 1/200.000°	700	550	200	1.450
BOL 1/200.000°	4.080	1.240	2.490	7.810
BOSSO 1/200.000°	5.250		1.500	6.750
RIG-RIG 1/200.000°	1.120	560	200	1.880
N'GUIGMI	1.600	100	500	2.200
	<u>14.300</u>	<u>2.450</u>	<u>7.300</u>	<u>24.050</u>
		(en km2)		

SUPERFICIE DU LAC TCHAD EN 1956

Niveau du Lac : 282,95

<u>Feuille</u>	<u>Surface liquide</u>	<u>Surface des îles habitées ou à pâturages</u>	<u>Surface des îlots de roseaux, papy- rus ou marécages</u>	<u>Total</u>
TOURBA 1/200.000°	60		280	340
HADJER EL HAMIS 1/200.000°	510		1.910	2.420
NIGERIA 1/500.000°	1.000		800	1.800
N'GOURI 1/200.000°	810	700	300	1.810
BOL 1/200.000°	5.230	970	1.690	7.890
BOSSO 1/200.000°	5.950		1.080	7.030
RIG-RIG 1/200.000°	1.470	310	200	1.980
N'GUIGMI	1.800	100	500	2.400
	<u>16.830</u>	<u>2.080</u>	<u>6.760</u>	<u>25.670</u>
		(en km ²)		

c) Variation de la surface inondée

L'élément nous intéressant dans tous les calculs concernant le Lac TCHAD, en particulier l'évaporation, n'est pas "l'emprise totale" mais la "surface inondée". Nous devons soustraire de l'emprise totale la surface des îles émergées et sèches, mais conserver les marécages et les îlots bancs.

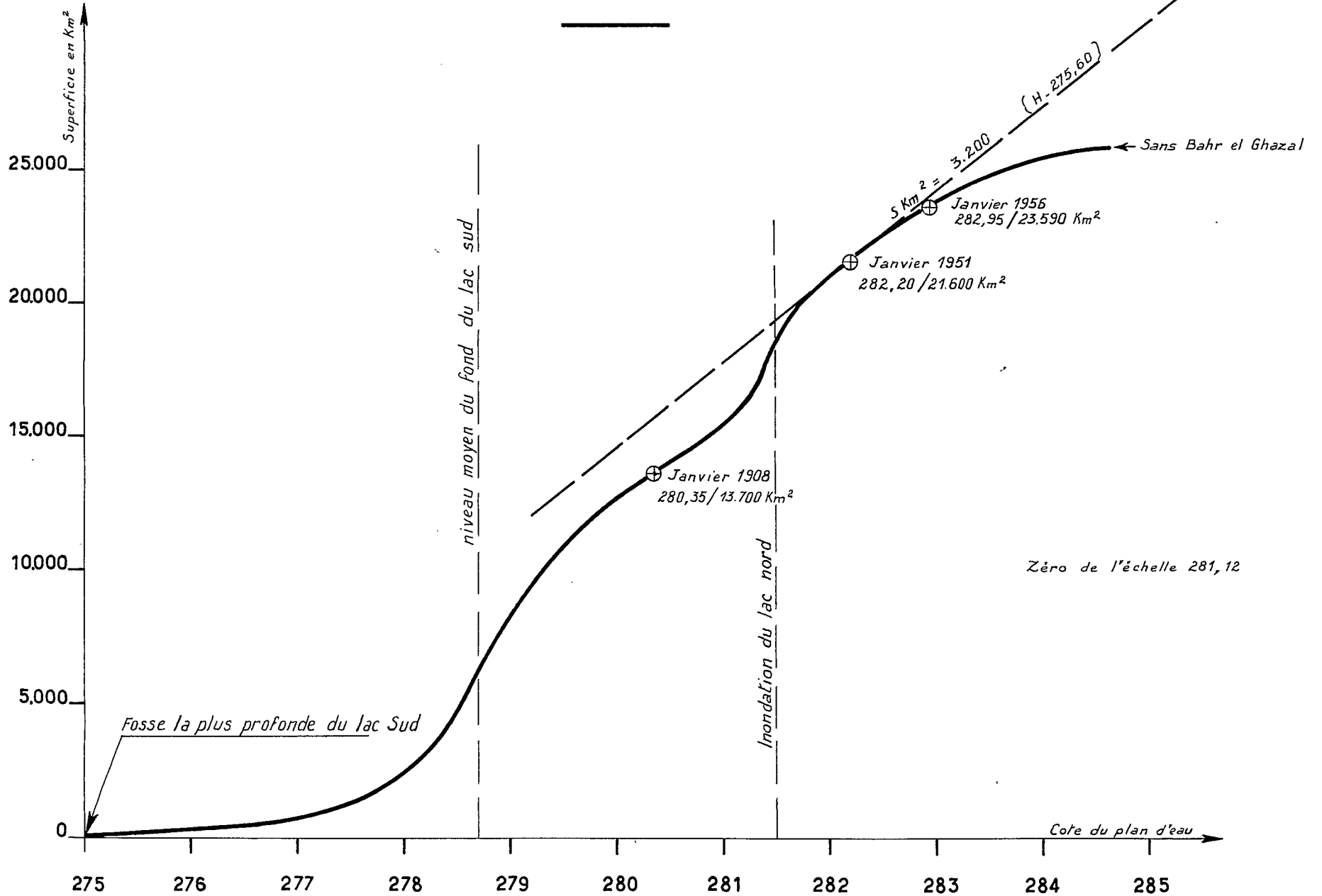
Cette distinction est délicate, car beaucoup d'îles sont à fleur d'eau et il suffit d'une crue de quelques dizaines de centimètres pour les inonder. Ce phénomène est bien visible sur les photos aériennes, car nous disposons d'une série prise au moment du maximum de 1956, que l'on peut comparer à celle de 1953, prise pour une cote très inférieure du plan d'eau.

Dans l'ensemble, la proportion des îles sèches par rapport à la surface totale est peut-être constante, car si les îles de la partie centrale du Lac disparaissent, d'autres se créent dans le nord-est du Lac à mesure que les ouadis se remplissent et que les presque-îles sont coupées de la terre ferme.

Nous pouvons essayer de construire la courbe de variation de la surface inondée en fonction du niveau du plan d'eau (repéré dans le système I.G.N. 54) en utilisant les 3 points connus suivants :

Année	1908	1951	1956
Niveau	280,35	282,20	282,95
Surface eaux libres	12.700	14.300	16.830
Surface marécages et îlots-bancs	1.000	7.300	6.760
Surface totale inondée	13.700	31.600	23.590

SUPERFICIE INONDÉE DU LAC TCHAD



Cette courbe diffère de la courbe bathymétrique pour les cotes inférieures à 282. En dessous, elle ne concerne pratiquement que la partie sud du Lac. On remarquera deux régions de cette courbe où la pente est particulièrement forte vers 278,70 où l'on rencontre le niveau moyen des fonds de la partie sud du Lac, vers la cote 281,50 où le seuil entre les deux parties du Lac est submergé sous une hauteur suffisante pour qu'il y ait communication entre les deux cuvettes, d'où brutale extension de la superficie inondée.

III- LIMNOLOGIE

A - ECHELLES DU LAC

1°/ BOL

a) La première échelle hydrométrique a été posée par le Général TILHO en 1908.

Du 25 Janvier au 18 Juillet 1908, elle a été lue par un caporal de la mission, puis jusqu'au 27 Décembre 1908, par le Lieutenant LANGLOIS, commandant le poste militaire de BOL. Les lectures ont été reprises de 1912 à 1920.

L'échelle n'a pas été rattachée à un repère fixe et il est impossible de transposer avec précision ces observations dans le système actuel de nivellement.

b) Des lectures d'échelle concernant l'année 1932 ont été retrouvées dans les archives du Service Météorologique du TCHAD. Le zéro de l'échelle est inconnu et l'on ne peut pas préciser si les lectures ont été faites sur l'échelle posée par le Général TILHO.

c) Des repères ont été marqués sur un rônier pas le Chef de District, qui permettent de retrouver les cotes des plus basses eaux en Juin 1950 et des plus hautes eaux en Janvier 1951 et Janvier 1953.

d) Une échelle a été posée en Juillet 1953 par la Mission LOGONE-TCHAD. Les lectures ont été assurées :

- par le douanier jusqu'en Avril 1954,
- par le clerc de bureau du District jusqu'en Novembre 1954
- par le conducteur des Travaux Agricoles jusqu'au 31 Décembre 1955
- par la Mission LOGONE-TCHAD à partir du 1er Janvier 1956.

L'échelle est composée de deux éléments de 1 mètre fixés sur un fer cornière.

L'Institut Géographique National a posé une borne en Mai 1954 dans la cour de la résidence de BOL et rattaché l'échelle hydrométrique.

Nous donnons ci-après l'altitude du zéro de cette échelle dans les deux systèmes de nivellement successifs utilisés par I.G.N. :

 système 1953-54
 système 1956.

Borne I.G.N. matricule II	291,71 m
Zéro de l'échelle	281,12 m
(altitude provisoire Juin 1954)	

Borne I.G.N. matricule II	291,462 m.
Zéro de l'échelle	280,872 m.
(altitude provisoire 1956)	

D'après les renseignements fournis en Juillet 1957, cette dernière cote serait confirmée.

2°/ N'GUIGMI

Bien que le poste militaire de N'GUIGMI soit installé depuis plusieurs dizaines d'années, nous n'avons recueilli aucun renseignement sur les variations du niveau du Lac.

La Mission LOGONE-TCHAD a posé en Juillet 1955 une échelle hydrométrique à 3,5 km du poste, cette échelle est lue par un commis du bureau du District.

L'échelle se compose de deux tronçons de 1 mètre, fixés sur des madriers, elle a été rattachée en Mai 1956 à une borne I.G.N. du terrain d'aviation.

Borne I.G.N. N° 51	
du terrain d'aviation, matricule 9	
repère	282,401 m

Zéro de l'échelle	280,69 m
(altitude provisoire 1956)	

.....

Cette dernière cote a été confirmée en Juillet 1957.

3°/ MAGOMERI

Une échelle a été posée en Août 1956 à MAGOMERI, village situé près de l'embouchure de la KOMADOUYOU YOBE.

Il n'y a pas de lecteur et seul le passage de membres de la Mission permet d'avoir quelques cotes.

L'échelle a d'ailleurs été installée pour suivre les variations de la KOMADOUYOU à BOSSO en fonction de la hauteur du Lac, plutôt que les variations du Lac lui-même.

Borne I.G.N. à MAGOMERI	281,75 m
Zéro de l'échelle	
(altitude provisoire 1956)	

4°/ HADGER EL HAMIS

Une échelle a été posée le 16 Septembre 1954 dans l'EL ADDABA à proximité du rocher le plus important.

Elle est formée de deux éléments de 1 mètre. Quelques lectures ont été faites de Septembre 1954 à Août 1955 par le fils du Chef de canton de KARAL.

Borne I.G.N. n° 30, matricule 21	289,414 m
Zéro de l'échelle	280,94 m
(altitude provisoire 1953)	

En Juillet 1957, la cote fournie par l'I.G.N. reste identique à celle de 1953, pour la borne matricule 24 = 291,369 m.

Il en est probablement de même pour la borne n° 30 qui en est proche.

5°/ ESTUAIRE DU CHARI

Deux échelles ont été posées sur le Lac à proximité de l'estuaire du CHARI :

- une près du bras oriental du CHARI en 1953,
- une autre sur la pointe nord du delta en 1954.

Le zéro de l'échelle n'a pas pu être nivelé.

Quelques lectures ont été faites aux passages de la Mission.

Au cours des déplacements d'îlots de papyrus, ces deux échelles ont été détruite et n'ont pas été remplacées.

Remarque importante - Nous verrons plus loin que les lectures faites à BOL et HADGER EL HAMIS semblent indiquer qu'en pratique le système de nivellement définitif 1957 est nettement plus défectueux que l'ancien système 1953-1954. On trouve, en effet, une différence systématique de 0,25 m pour laquelle nous ne trouvons aucune explication d'ordre hydrologique, alors que les cotes étaient parfaitement cohérentes dans le système 1953. Il faut voir là probablement un méfait de la compensation des erreurs de nivellement.

B - VARIATIONS ANNUELLES DES NIVEAUX

On trouvera ci-après les relevés de l'échelle de BOL de 1908 à 1920 et de 1953 à 1957. La variation annuelle est régulière : montée des eaux de Juillet à Décembre ou parfois Janvier lorsque le lac couvre une grande superficie, maximum en Décembre et en Janvier, baisse des eaux de Décembre, Janvier jusqu'au minimum de Juillet. Nous analyserons au chapitre suivant "Hydrologie du Lac TCHAD" les causes de ces variations de niveau. Précisons simplement pour faciliter la compréhension des paragraphes suivants que la montée du Lac est due principalement aux apports du CHARI et la baisse des eaux à l'évaporation après la fin de la crue du CHARI.

L'évaporation varie assez peu d'une année à l'autre, mais les apports du CHARI et des précipitations directes sur le Lac étant très variables, on conçoit que le diagramme annuel présentera des amplitudes assez différentes les unes des autres et que la position des maxima ou minima peut s'abaisser ou s'élever graduellement suivant l'hydraulicité des périodes d'observations.

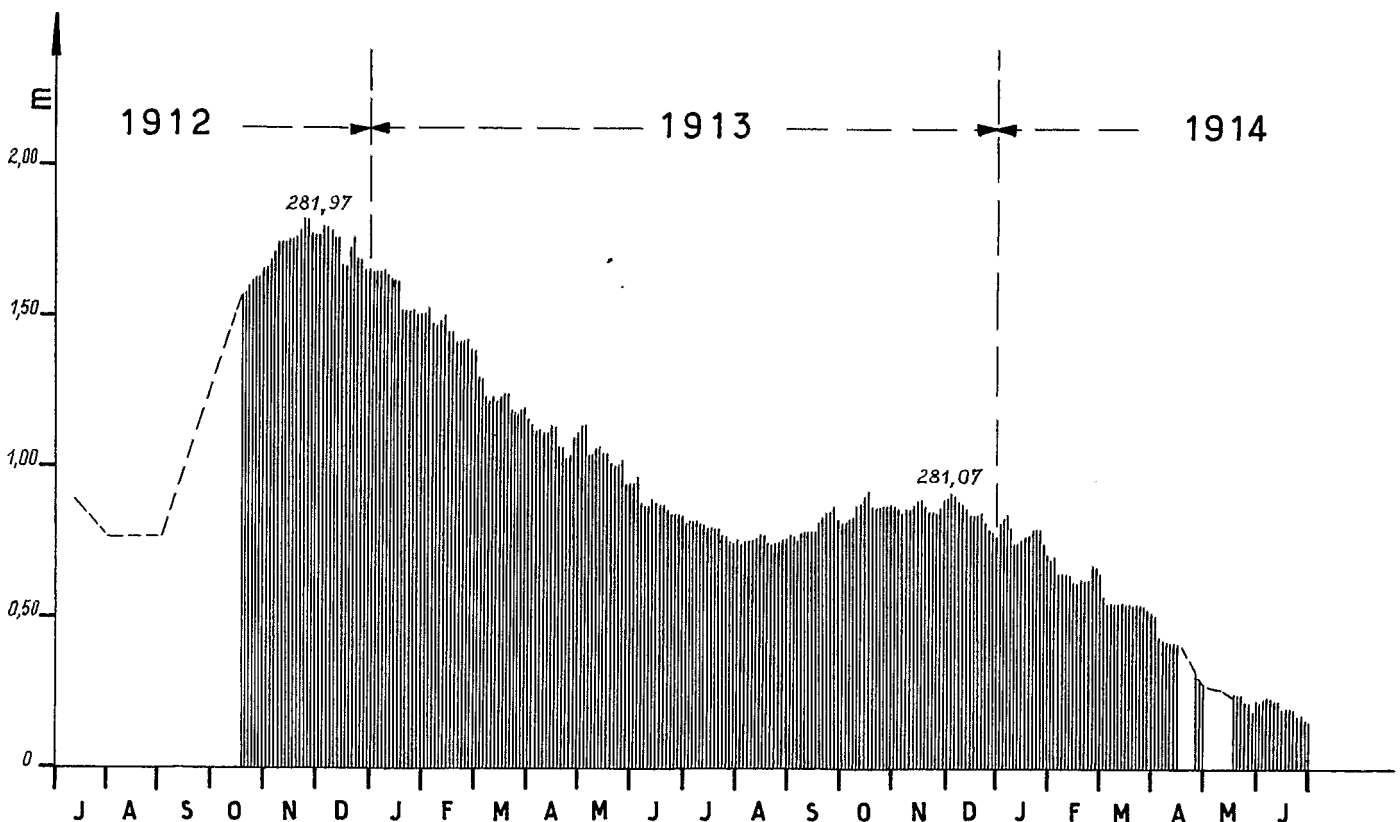
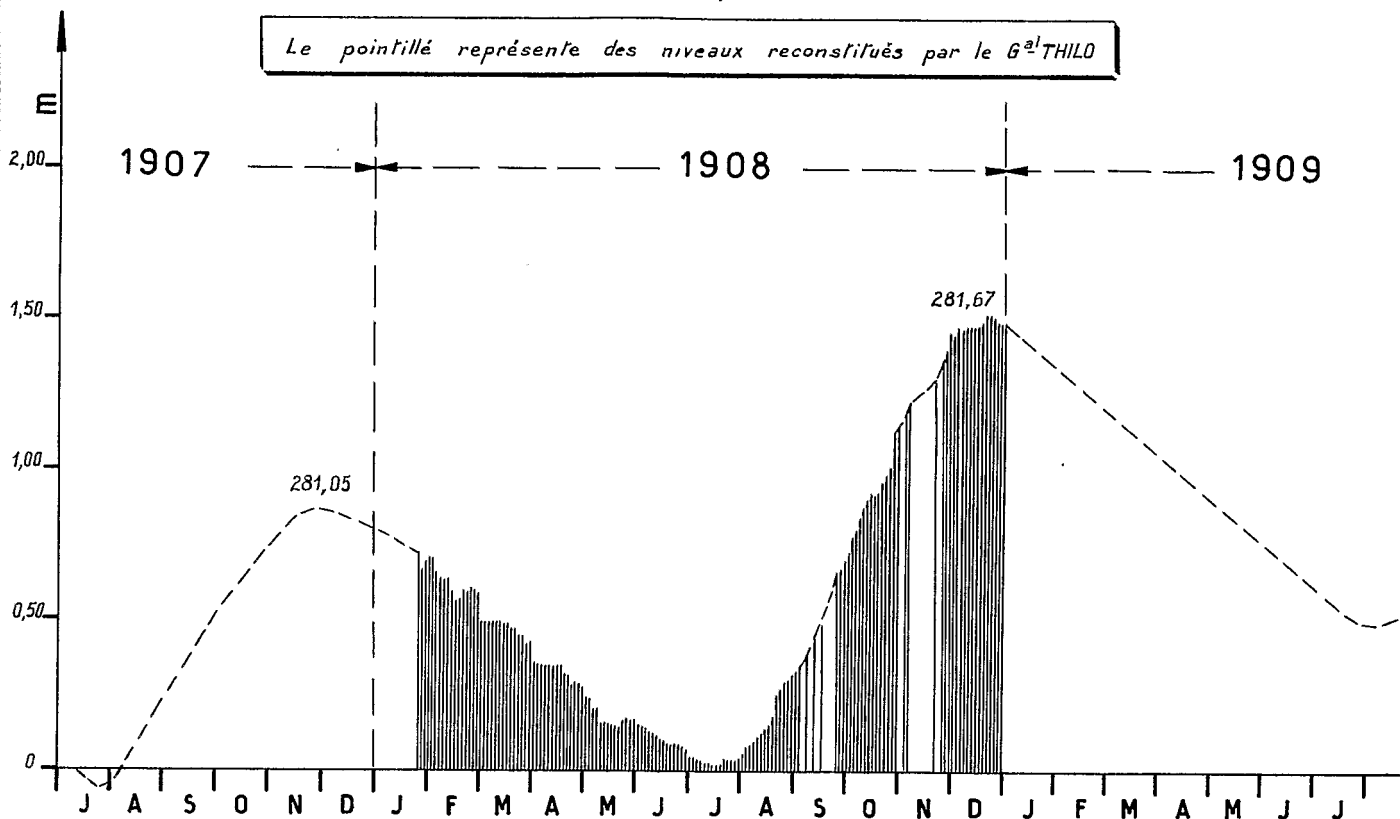
NIVEAU A L'ÉCHELLE DE BOL

D'après les documents du G^{al}THILO

Gr. III

Zéro : 280,17

Le pointillé représente des niveaux reconstitués par le G^{al}THILO

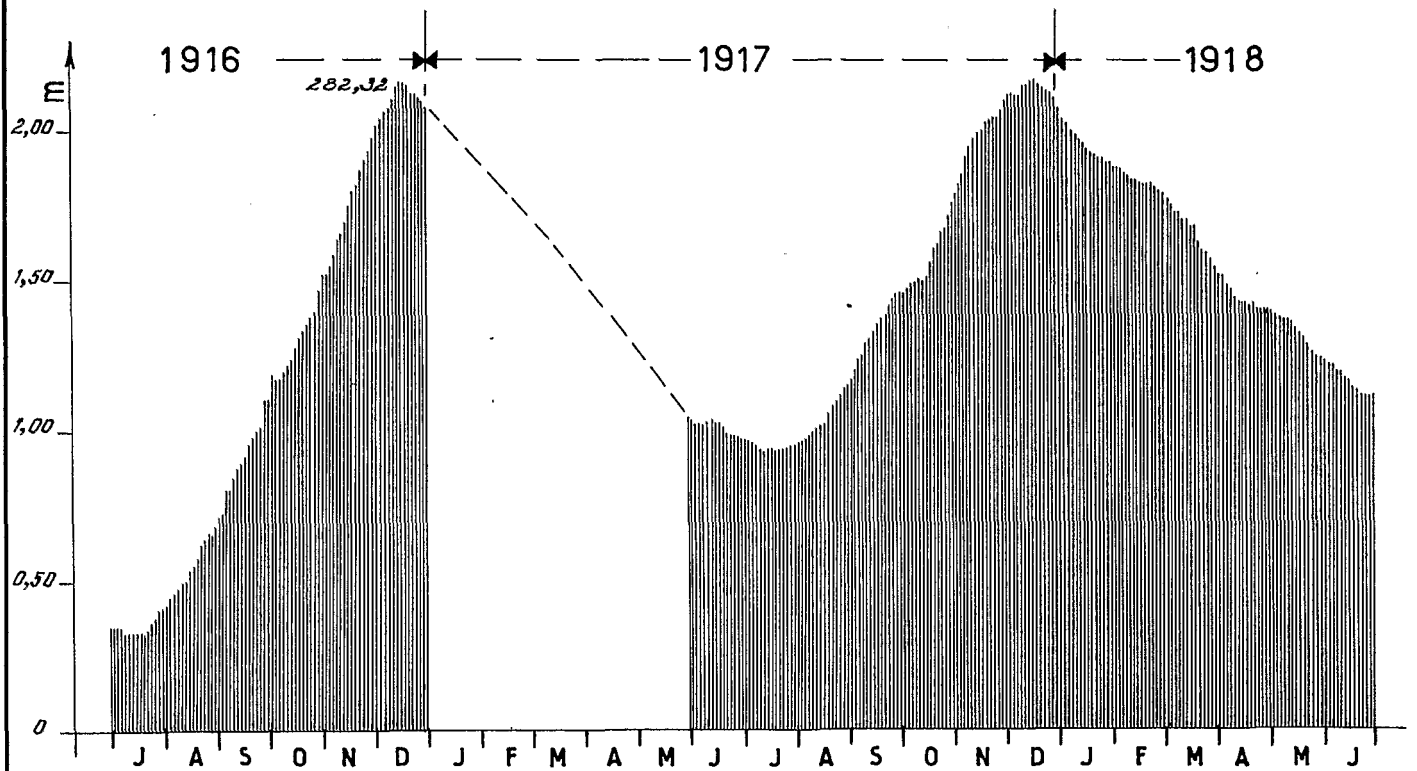
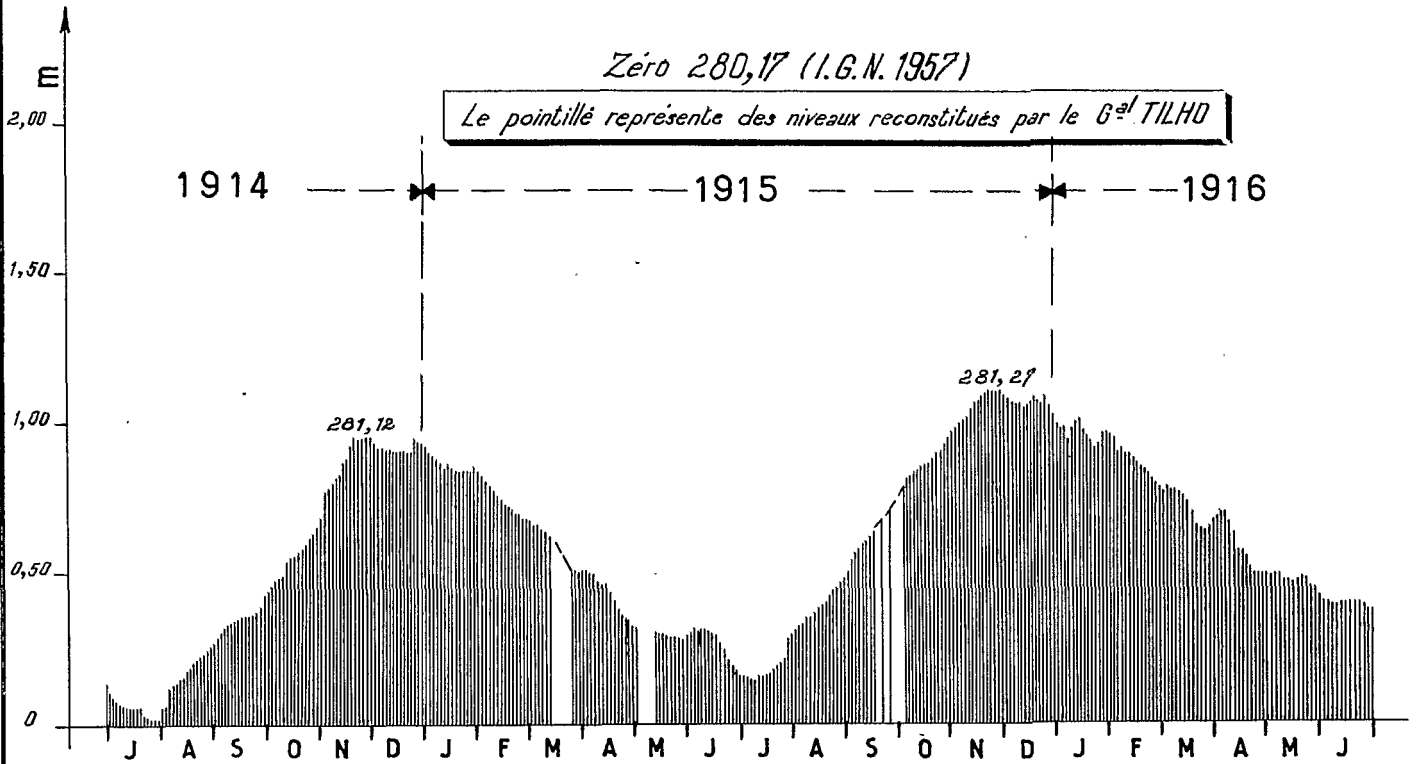


TCH_7811

NIVEAU A L'ÉCHELLE DE BOL

Gr IV

D'après les documents du G^{al} THILO



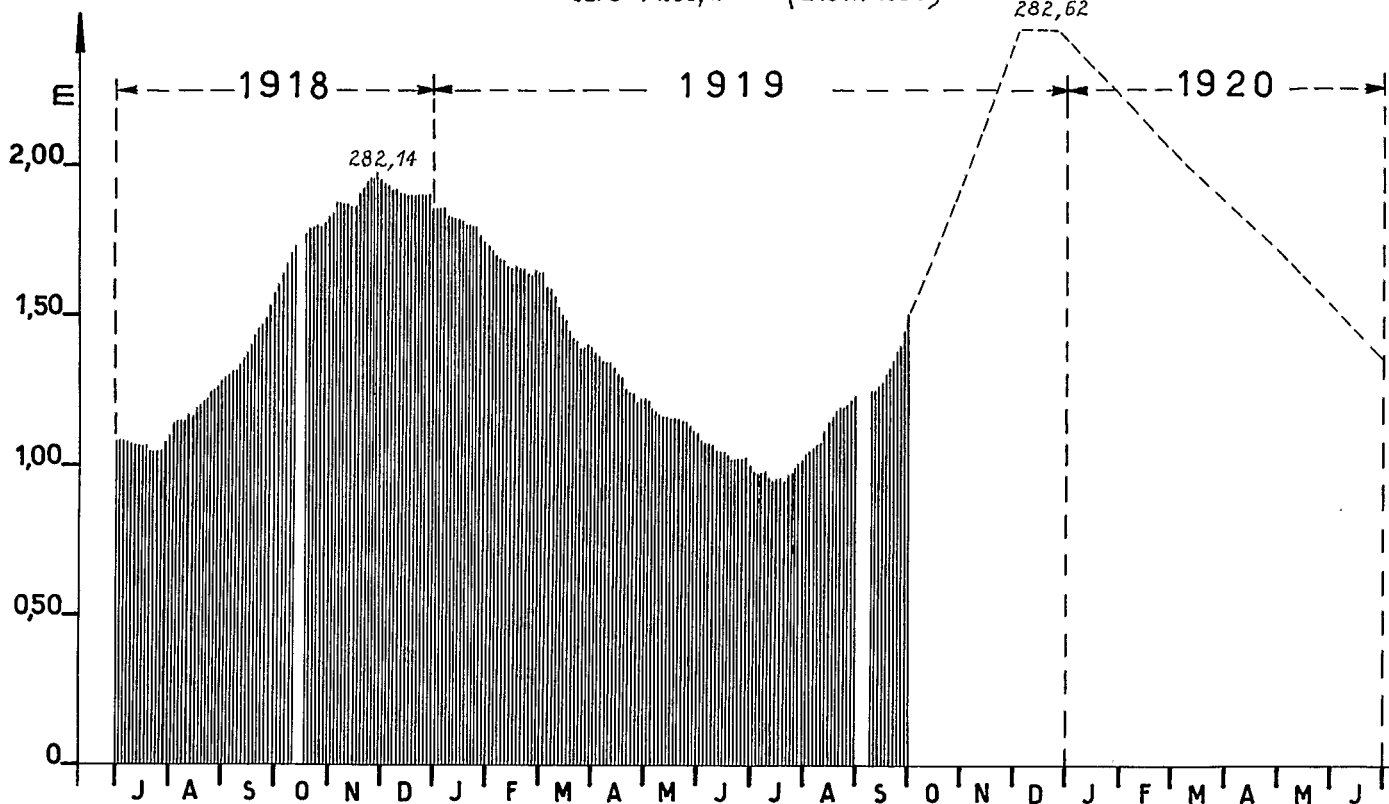
TCH. 7818

NIVEAU A L'ÉCHELLE DE BOL

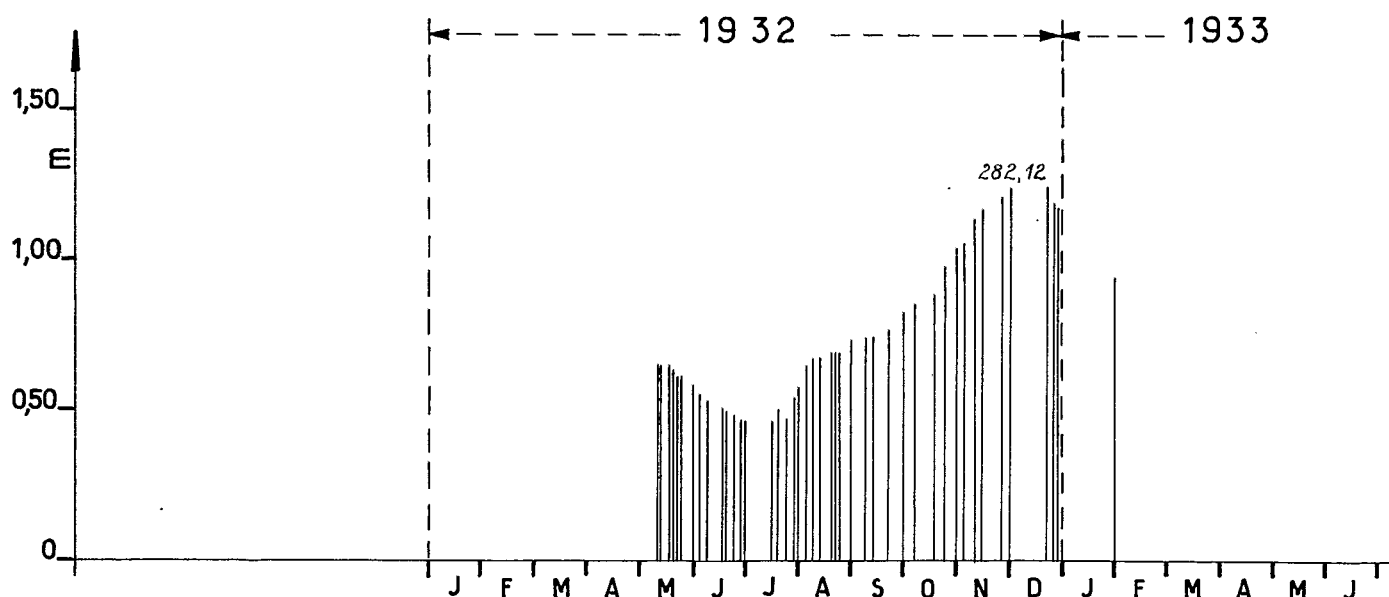
D'après les documents du G^{al} THILO

Gr. V

Zéro : 280,17 (I.G.N 1954)



Zéro : 280,87 (Borne I.G.N. 291,462)

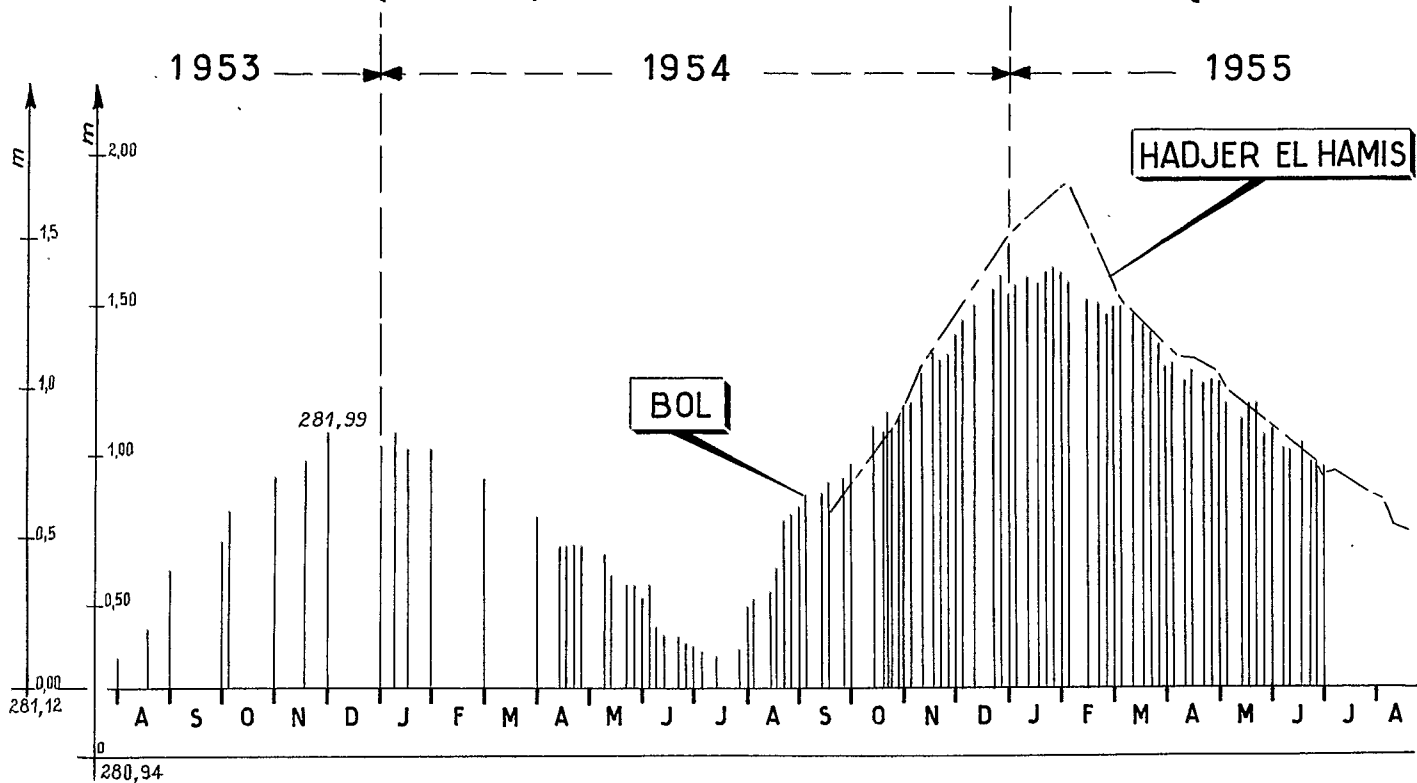


TCH_7808

NIVEAUX DU LAC

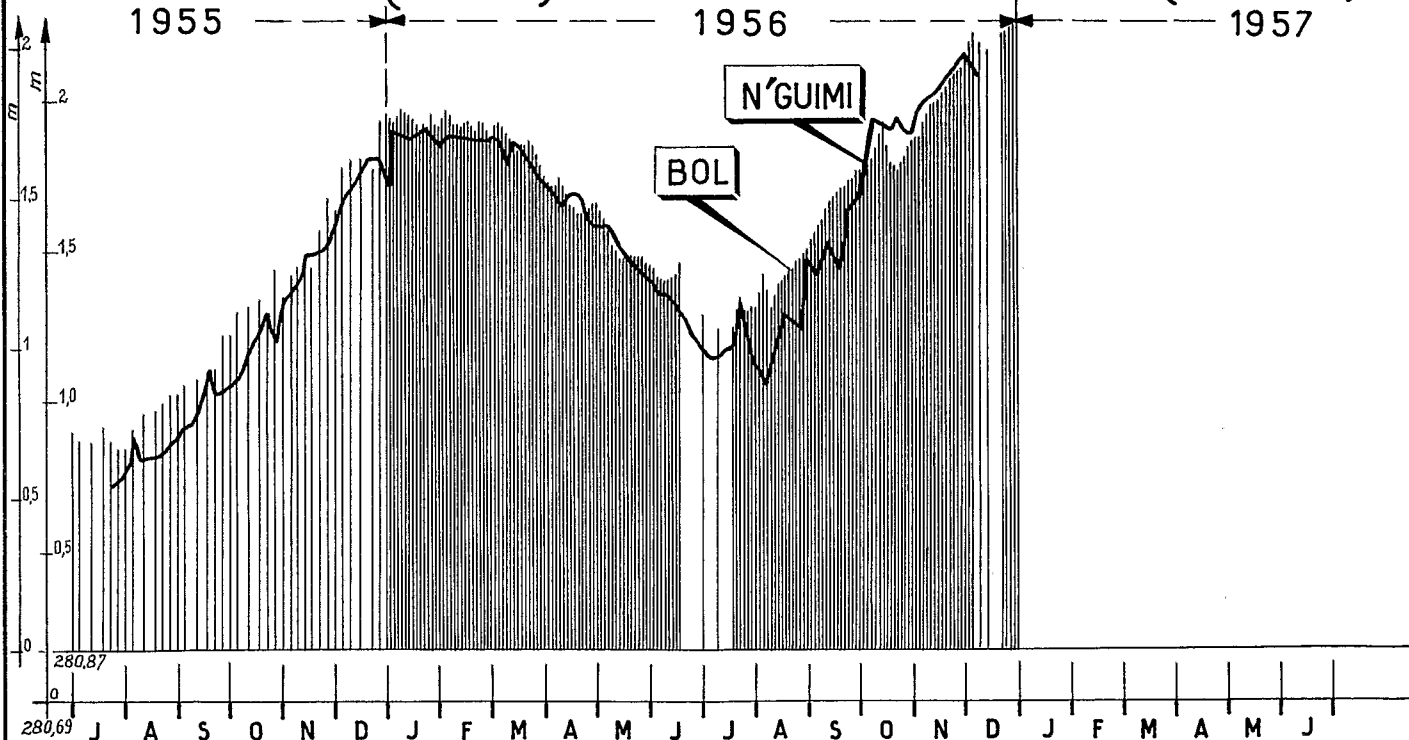
BOL_Zéro à 281,12 (I.G.N 1954)

HADJER EL HAMIS_Zéro à 280,94 (I.G.N 1953)



BOL_Zéro à 280,87 (I.G.N 1956)

N'GUIGMI_Zéro à 280,69 (I.G.N 1956)



TCH_7810

C - VARIATIONS INTERANNUELLES

On ne dispose que l'éléments très imprécis concernant les anciens niveaux du Lac.

Par l'étude pédologique des rives du TCHAD, il a été possible d'en déterminer le niveau maximum : une dizaine de mètres au-dessus du niveau actuel.

Depuis plus de cent ans, divers explorateurs ont visité le Lac. Leurs rapports présentent un très grand intérêt pour l'étude des variations du Lac.

Les niveaux sont repérés grâce à l'observation de deux phénomènes caractéristiques :

- a/ - degré d'inondation de la partie nord du Lac au voisinage de N'GUIGMI,
- b/ - degré d'inondation de la vallée du BAHR-EL-GHAZAL.

Mais c'est seulement ces toutes dernières années que sont suivies avec précision les variations sur des échelles limnimétriques rattachées au nivellement général.

1°/ Transgression et régression du Lac TCHAD à la fin de l'ère tertiaire et au quaternaire par M. J. PIAS, Maître de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

L'histoire géologique de la cuvette tchadienne est avant tout celle du Lac TCHAD dont plusieurs avancées sont visibles. Ces avancées, suivies de régressions, font penser à des alternances de climat que certains auteurs (1) supposent en rapport avec les différentes glaciations du quaternaire. La répercussion de ces glaciations en Afrique se serait traduite par des périodes de forte pluviométrie marquées par des avancées du Lac ; tandis que les périodes interglaciaires auraient donné lieu à des climats très secs (assèchement des lacs, remaniement éolien des séries sableuses).

....

(1) J. ABADIE et H. FRANZ - Contribution à la connaissance de la stratigraphie et climatologie du quaternaire dans le bassin tchadien (document inédit).

L'histoire géologique récente de la partie sud de la cuvette tchadienne semble facile à reconstituer en fonction de documents ou d'observations que nous avons recueillis. Son passé est lié au Lac TCHAD dont 4 transgressions importantes sont visibles.

1 - Mer paléo-tchadienne (1) - La série des sables de KELO

La première transgression, la plus ancienne et la plus importante que nous connaissions date du continental terminal - fin tertiaire - Les argillites, les grès trouvés dans le sud (région de LAI, GUIDARI ...) ou dans le nord (ENNEDI, TIBESTI), donnent l'étendue d'une mer paléo-tchadienne qui occupait une partie du Sahara actuel, s'étendait en NIGERIA (2) et allait dans le sud du TCHAD jusqu'aux contreforts de l'ADAMAOUA. S'agissait-il d'une mer intérieure d'eau douce comme le Lac actuel ou d'une étendue d'eau salée en communication avec les océans ? Il est difficile de la préciser. Dans le cas d'une mer intérieure, il convient d'admettre qu'un régime très humide régnait alors dans cet immense bassin et que les sols qui se formaient alors dans les parties oxonnées allaient du type ferrugineux tropical au type ferrallitique.

A ce premier sédimentaire lacustre succède la première série fluviatile connue au TCHAD : celle des sables de KELO (3). Elle apparaît comme due à une surrection de l'arrière-pays. Cette surrection, accompagnée d'une reprise de l'érosion, amène l'ablation du manteau de sols et leur dépôt dans la cuvette tchadienne. A partir de cette époque, le Lac se retire plus au nord, soit par assèchement, soit par subsidence. Au dépôt de cette série de sables rouges et beiges aurait succédé une période climatique sèche marquée par un régime de vents

-
- (1) TILHO (G.I.J) Sur l'aire probable d'extension maxima de la mer Paléotchadienne G.R. Académie Sciences Paris 9 Novembre 1925 t CLXXXI p 643-646
- (2) RAEBURN (C.) and JONES (B) - The Chad Basin Geology and Water Supply. Bull. Geol. Survey Nigeria. London 1934, n° 15, 61 p.
- (3) E. ROCH - Itinéraires géologiques dans le nord du CAMEROUN et le sud-ouest du territoire du TCHAD - Bulletin du Service des Mines n° 1, Territoire du Cameroun, Paris -Imprimerie Nationale, 110 p.-

intenses et par l'absence de couvert végétal qui va permettre le remaniement des sables et la formation de dunes d'orientation nord-est - sud-ouest dans le sud de la cuvette (région YAGOUA - KALFOU ... OUAZA). Le Lac subit à cette époque un assèchement partiel.

2 - La seconde transgression

Elle est marquée par la présence de la série argilo-sableuse à nodules calcaires. Cette sédimentation semble le résultat d'une avancée lacustre en même temps que de puissants mayos déposaient dans les eaux du Lac des sédiments sableux assez grossiers. Cette seconde transgression est la conséquence de nouvelles conditions climatiques : (grande humidité, recrudescence des pluies). Les fleuves de cette époque débouchent dans le Lac, sur la ligne jalonnée par NIELLIM, GOUNDI, GUIDARI, LAI, GOUNOU, GAYA, FIANGA, YAGOUA, MAROUA, MORA.

A la période de dépôt de l'argilo-sableux, a succédé un nouveau changement climatique marqué par des conditions plus arides et un nouveau retrait du Lac.

3 - La troisième transgression

- Premiers tracés du système hydrographique actuel - Dépôt de la série sableuse récente

A la suite d'un troisième pluvial, le Lac va s'étendre de nouveau vers le sud. Au début de cette phase, d'importants mayas viennent mettre en place, dans la partie sud de la cuvette, la série sableuse récente tandis que s'ébauchent les premiers tracés de l'actuel système hydrographique : premier tracé du LOGONE en aval de BONGOR, du CHARI en aval de NIELLIM. Ce dernier se scinde en de nombreux bras. Un très important, dont l'embouchure fossile dans le Lac actuel se situe au nord de MASSAGUET vers TOURBA, est encore visible. Ce fleuve est à l'origine des sables de cette région. Un second bras du CHARI constituait le BARH ERGUIG actuel et le rejoignait à BOUGOUMENE. Il a laissé des sédiments sableux qui se superposent à ceux de la seconde transgression au nord de

MAILAO - LOGONE GANA et vers ZYMADO. De même, au nord de FORT-LAMY, des ramifications du CHARI déposent la série sableuse récente.

De cette époque dateraient les sédiments sableux du nord et de l'est du Lac. Ils auraient pu être épandus en nappe par un BARH-EL-GHAZAL et divers autres mayos coulant du nord-est vers le sud-ouest, entre la fosse des bas-pays et le Lac actuel. Ces dépôts auraient été arrachés au sédimentaire ancien déjà éclisé. Le caractère uniformément grossier des sédiments donne l'importance du charriage.

- Formation du cordon sableux YAGOUA-LIMANI - Dépôt de la série argileuse récente

Dans le sud de la cuvette tchadienne, le cordon sableux côtier YAGOUA-LIMANI (1) se forme à cette époque. Il donne la limite sud d'extension de cette troisième fosse tchadienne marquée aussi par la série argileuse récente déposée pendant l'avancée lacustre. L'existence de ce cordon sableux commande, dans le sud du TCHAD et le nord CAMEROUN, toute l'hydrographie. Il a des rapports étroits avec le sillon des Lacs de FIANGA-TIKEM et les vallées de la LOKA, de la KABLA. Ces voies servaient alors d'exutoire au Lac TCHAD vers l'Atlantique pendant les crues.

- Formation des dunes des bordures nord et est du Lac et du BAHR-EL-GHAZAL

La Lac TCHAD va ensuite se replier vers le nord en même temps qu'un nouveau régime climatique, beaucoup plus sec, s'instaure dans tout le bassin. Il semble s'être retiré au-delà des limites actuelles et s'être presque asséché, laissant des lacstémoins disséminés dans l'intérieur des terres. Cette période sèche est marquée par un régime de vents très intenses qui sera à l'origine du remaniement de la série sableuse précédente et donnera naissance au système dunaire observé au nord et à l'est du Lac TCHAD.

(1) J. PIAS et E. GUICHARD - Origine et conséquences de l'existence d'un cordon sableux dans la partie sud-ouest de la cuvette tchadienne - Compte-rendus des séances de l'Académie des Sciences - t. 244 p. 791-793.

4 - La quatrième transgression

- Le cordon sableux nord. Formation des bourrelets des fleuves. Dépôts des alluvions récentes : limoneuses, argilo-limoneuse

Un nouveau et dernier pluvial, moins important que les précédents va se traduire par une quatrième transgression du Lac dont la limite est donnée par un cordon sableux discontinu observé du nord de NGOUMA au sud-est de TOURBA et par la cote de la série sablo-argileuse, limono-argileuse trouvée à mi-pente des dunes sur la bordure du Lac TCHAD et dans le BAHR-EL-GHAZAL (cote 287 m). A cette époque, les eaux envahissent les interdunes des régions nord et est du Lac. Elles remontent les cours de l'ancien fleuve débouchant à TOURBA, du CHARI, du BAHR-EL-GHAZAL et font communiquer à nouveau les bas-pays du nord-est avec le Lac actuel.

Dès le début de cette quatrième phase pluvieuse, les débits du LOGONE et du CHARI augmentent notablement. Un système très important de défluent découpe par leurs bourrelets argilo-limoneux l'ancienne étendue lacustre de la troisième transgression au nord de FORT-LAMY.

De cette dernière avancée lacustre à nos jours, le Lac a dû subir des fluctuations saisonnières ou périodiques de moindre importance dont une très récente. Il en est fait mention dans les traditions locales. Le BAHR-EL-GHAZAL semble avoir servi de nouveau d'exutoire au Lac TCHAD qui a emprunté son cours dans ces cent dernières années.

2°/ Niveaux du Lac entre 1823 et 1908

Le rapport de la Mission TILHO nous donne les renseignements suivants :

- le 4 Février 1823, le Major Anglais DENHAM a aperçu les eaux du TCHAD un peu avant d'atteindre N'GUIGMI,

- en 1851, les docteurs BARTH et OVERWE ont vu également les eaux du TCHAD aux environs de N'GUIGMI. Peu avant de rentrer en Europe, BARTH accompagné de VOGEL

....

a visité à nouveau N'GUIGMI : le village avait dû fuir devant l'inondation et l'emplacement qu'il occupait en 1851 était submergé depuis l'hiver 1853-1854 ;

- le 20 Novembre 1866, l'allemand ROHLFS, longeant la rive ouest du Lac, a constaté que ce dernier avait atteint un niveau supérieur à tous ceux constatés antérieurement et en particulier celui repéré par DENHAM en 1823 (ROHLFS ajoute qu'un puissant fleuve coulant au nord de N'GUIGMI se déversait dans le Lac) ;

- en 1870, NACHTIGAL a observé un niveau sensiblement égal à celui de 1866, le BAHR-EL-GHAZAL inondait une centaine de kilomètres de son lit ;

- en 1873, la crue a été plus faible, car NACHTIGAL a retrouvé le sillon du BAHR submergé jusqu'à 80 km du Lac seulement ;

- en Mai 1874, le BAHR-EL-GHAZAL a atteint REMELE près de MOUSSORO, battant tous les records antérieurs et à venir .

- en 1900, FOUREAU observe le même niveau que BARTH en 1851. Les eaux du Lac avaient inondé le BAHR-EL-GHAZAL jusqu'à BIR-ACHIM près de MASSAKORY ;

- en 1903, le lieutenant de vaisseau AUDOIN passe avec une baleinière à 1,2 km au sud de N'GUIGMI ;

- en 1904, le capitaine TILHO accoste à 3,2 km au sud-est de N'GUIGMI ;

- en 1905, le capitaine FREYDENBERG constate que le Lac est divisé en 2 nappes distinctes nord et sud ;

- fin 1907, la mission TILHO trouve la partie nord du Lac asséchée jusqu'à la latitude de la KOMADJUGOU ;

- de 1908 à 1920, l'échelle de BOL est lue avec quelques interruptions ;

.....

- d'après des renseignements indigènes, l'année 1925 aurait été remarquable par le niveau très bas des eaux. A. KOULOUDIA, le bras ouvert sur le Lac était alors absolument sec, or ce bras est actuellement sous 2 à 3 m d'eau.

3°/ Essai de détermination de la cote du plan d'eau pendant la période 1908-1920

En Février 1908, le Capitaine TILHO a fait un relevé bathymétrique de la poche d'eau de BAGA (niveau de l'échelle de BOL : 0,66).

Les sondages au même emplacement ont été repris le 22 Mars 1956, alors que le plan d'eau était de 282,83 (système I.G.N. 1954), l'échelle de BOL indiquant 1,71.

Le fond a été trouvé très régulier et variant seulement entre 3,85 et 4,05 sur de grandes distances.

Il y aurait donc, en moyenne, 2 mètres d'eau de plus qu'en Février 1908.

On trouve ainsi que la cote du plan d'eau devait être en Février 1908 : 280,83, alors que la hauteur à l'ancienne échelle était de 0,66 m, par conséquent le zéro de l'ancienne échelle :

$$280,83 - 0,66 = 280,17$$

Nous avons encore un autre point de recoupement.

En 1920, au mois de Janvier, les eaux étaient sur le point de pénétrer dans les dépressions latérales, du type BAHR-EL-GHAZAL.

La situation était donc intermédiaire entre celle de Février 1955 et Février 1956. La cote du Lac en Décembre 1919 - Janvier 1920 devait être voisine de 282,67 (Système 1953).

Le niveau à l'ancienne échelle ayant atteint 2,50 m; d'après le Général TILHO, le zéro de cette échelle serait à la cote :
 $282,67 - 2,50 \text{ m} = 280,17.$

Nous admettrons donc, pour rattacher les niveaux de 1908 à 1920, que le zéro de l'ancienne échelle est à la cote 280,17 (Système 1953). La régularité du fond de la poche de BAGA nous fait supposer que l'erreur ne peut pas être importante, à condition que l'envasement soit resté faible, ce qui est très vraisemblable dans ce secteur du Lac.

Cette période 1908-1920 comporte les plus bas niveaux connus en 1907 et 1914 ; le niveau a remonté en 1916 et surtout en 1920 qui correspondrait plutôt à une hydraulité assez forte.

4°/ Niveaux du Lac entre 1920 et 1932

Nous verrons à la fin du chapitre III que l'étude des crues du NIL donne sur le niveau du Lac des indications peu précises, mais assez sûres.

Cette période a présenté, dans son ensemble, une hydraulité médiocre : aucune année de forte hydraulité, mais aucune année de très faible hydraulité. On se reportera au graphique n° VII qui donne approximativement les cotes des divers maxima annuels de cette période.

5°/ Niveaux du Lac entre 1932 et 1953

Ils ont été reconstitués de façon assez précise à partir des relevés de débits du CHARI à FORT-LAMY, comme nous le verrons au chapitre III.

Le niveau du Lac était assez élevé au début de cette période, jusqu'en 1938 (crues de 1936 et 1938). Les faibles débits de la période 1940-1950 ont donné lieu à des niveaux assez bas, mais nettement supérieurs cependant à ceux de 1907 et 1913-14.

La crue de 1946 a fait remonter le Lac à un niveau comparable à ceux de 1932 - 1936 - 1938.

6°/ Niveaux du Lac à partir de 1953

Ils ont été observés directement à nouveau. L'hydraulicité a été forte en général et même très forte pour certaines années.

Les observations précédentes permettent d'établir le tableau ci-contre où les années sont classées par altitude décroissante. On voit que l'amplitude des variations de niveau est de 3,50 m entre les maxima et de 4,40 m entre maximum le plus élevé et minimum le plus bas.

REGAPITULATION DES DONNEES CONNUES

SUR LES NIVEAUX DU LAC TCHAD

Cote	Années	Position du lac par rapport à N'GUIGMI	Avancée des eaux du B. E. G.
284,50	1874		Rémélé
284,25	1866 - 1870	Maximum de ROHLFS et niveau égal de NACHTIGALL.	Sur 100 km
284,00	1854 - 1873		Sur 80 km
283,50	1900		FOUREAU et BARTH
	1892		
283,30	1851		Jusqu'à BIR ACHIM près MASSAKORY
283,22	Janv.1957 (max.)		4 km de MASSAKORY 45 km du lac
282,92	Janv.1956 (max.)		30 km du Lac
282,70	Janv.1937 (max.)		
282,67	Janv.1920 (max.)		Début d'inondation
282,65	1947 (max.)		
282,52	Janv.1955 (max.)		Pas d'inondation
282,22	1951 (max.)		
282,12	1932 (max.)		
282,05	Janv.1953 (max.)	AUDOIN 1903 1,2 km de N'GUIGMI	
282,00	1904 (1923)	TILHO 1904 : 3,2 km de N'GUIGMI-DENHAM (1923)	

RECAPITULATION DES DONNEES CONNUES

SUR LES NIVEAUX DU LAC TCHAD
(suite)

Cote	Années	Position du lac par rapport à N'GUIGMI	Avancée des eaux du B. E. G.
281,97	Janv. 1953		
281,67	1909 (max.)		
281,50	1905	En 1905 lac divisé (FREYDENBERG)	
281,05	Nov. 1907 (max.)	En 1907 partie nord du lac asséchée	
280,35	Juin 1908	Sondage TILHO à BAGA donne fonds inf. de 1,90 à ceux d'oct. 1955	
280,17	Juil. 1908 (min.)		
280,17	Juil. 1914 (min.)		
280,12	Juil. 1907 (min.)		

NOTE IMPORTANTE.

Toutes les cotes de plan d'eau sont données dans la suite du rapport dans le système I.G.N. de 1954, soit pour BOL :

Zéro de l'échelle 281,12

Borne I.G.N.
mat. II 297,71

Cette cote est actuellement cohérente avec le système du CHARI et H. EL HAMIS alors que celle de 1956 est déformée par une compensation importante ; par contre, le système 1956 est cohérent sur le parcours BOL - N'GUIGMI et on le conservera pour comparer les échelles du nord-ouest.

.../...

7°/ Loi périodique des variations de niveau du Lac.

En considérant les crues du Lac depuis un peu plus de cent ans, on a été tenté d'en déduire une périodicité.

D'après le rapport de la Mission TILHO, plusieurs explorateurs ont essayé de formuler une loi. Le capitaine HARDELLET a admis, sur la foi des renseignements indigènes, une période de 70 à 80 ans.

D'autre part, le Capitaine FREYDENBERG donne une période de 20 ans aux petits mouvements du Lac, avec toutes les 4 ou 5 périodes, un assèchement presque complet. Mais cette loi se trouve plusieurs fois en défaut, en 1866, 1870 par exemple.

La variation des apports des tributaires du Lac sont la cause essentielle des fluctuations du Lac ; or, il n'a pas encore été constaté de périodicité dans les crues du CHARI ou dans les précipitations intéressant le Lac. Les années humides ou sèches se groupent par période de durée inégale ; on peut rencontrer une année très sèche au milieu d'années humides ou vice-versa. En conclusion, il est bien hasardeux de formuler une loi périodique, en particulier en fonction de l'activité des taches solaires à laquelle on a rattaché de nombreux phénomènes naturels avec plus ou moins de succès.

.../...

D) VARIATION JOURNALIERE.

1) Influence du vent.

Que ce soit à la crue ou à la décrue du Lac, on devrait observer une variation journalière des niveaux inférieure au centimètre en moyenne.

Or, à l'échelle de BOL, on constate à quelques heures d'intervalle, des différences de niveau qui peuvent atteindre une dizaine de centimètres.

Ce phénomène est attribué au vent, provoquant une légère inclinaison du plan d'eau :

Les vents du nord-est provoquent un abaissement du niveau sur la côte nord-est et une élévation sur la côte sud-ouest.

Ces variations de niveau peuvent être très rapides avec l'arrêt ou la reprise du vent et donner lieu à des effets spectaculaires. Ainsi, le 18 novembre 1956, à 18 heures, la hauteur du Lac à l'échelle de BOL sur la côte est était de 1,88 m et un vent violent (10 m/s) soufflait du nord-est.

Dans la nuit du 18 au 19 novembre à 3 heures du matin, les eaux du Lac passaient sur la langue de terre reliant le village de Bol au barrage de BERIM, et commençaient à se déverser dans le polder de BOL, dont le niveau est 4 ou 5 mètres en-dessous des eaux du Lac. L'échelle indiquait 1,96 m. Cette montée correspondait exactement à l'arrêt du vent. Le 20 novembre, le niveau était redescendu à 1,90 grâce à une reprise du vent.

Inversement, sur la côte ouest, nous avons vu en avril 1956 le vent faire monter le niveau du Lac d'une dizaine de centimètres environ pendant la nuit, ce qui a nécessité des précautions particulières pour éviter l'échouage de la pinasse.

.../...

2) Seiches.

En plus des mouvements des plans d'eau du Lac dus aux vents, il existe peut-être des seiches dues aux mêmes causes que les marées.

Nos enregistrements de niveaux sont encore trop sommaires pour le vérifier.

.../...

C H A P I T R E I I I

HYDROLOGIE DU LAC TCHAD

1) ANALYSE DES FACTEURS DE VARIATION DU NIVEAU DU LAC.

Le lac TCHAD est une cuvette fermée. On pourrait penser que le BAHR-EL-GHAZAL fait fonction de déversoir. Il n'en est rien ainsi que nous le verrons au chapitre V.

La variation de niveau du Lac est donc le résultat d'un équilibre constant entre les apports de différentes rivières et des précipitations, d'une part, et des pertes par évaporation, infiltration et du stockage, d'autre part.

Certains éléments sont faciles à évaluer : les apports des rivières et le stockage. Par contre, les pertes ne peuvent être atteintes qu'en bloc. Par comparaison avec des mesures faites, d'autre part, il est cependant possible de prouver que l'évaporation est prédominante.

A) APPORTS DES RIVIERES.

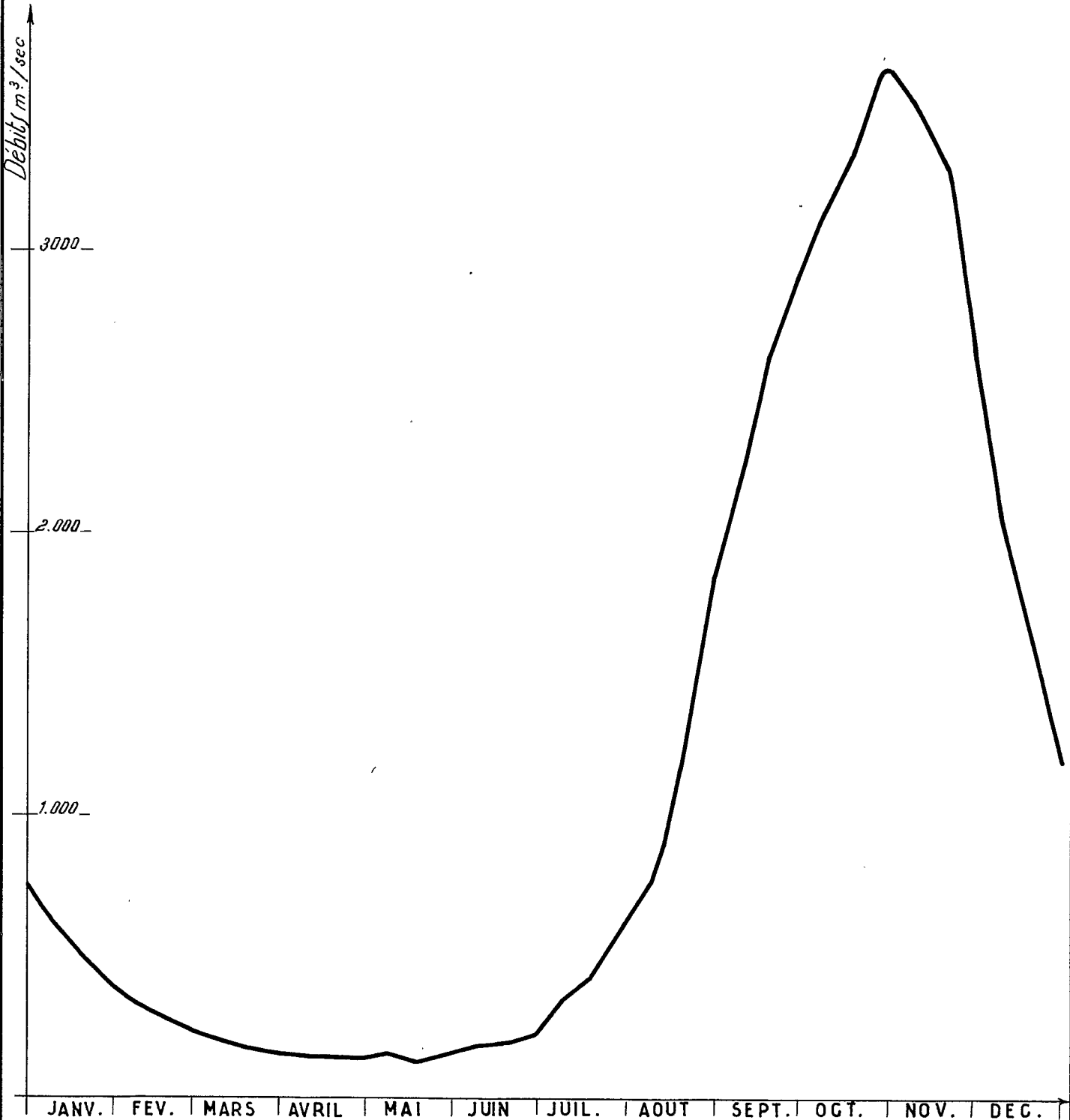
1^o/ Le Chari.

Les apports du CHARI peuvent être déterminés de façon assez précise à l'aide des relevés de FORT-LAMY, car ils ne subissent pas de modification très sensible entre cette station et l'embouchure du CHARI dans le Lac TCHAD.

Les observations hydrométriques de FORT-LAMY qui remontent à 1933, montrent que le régime du CHARI appartient au type tropical, caractérisé par une crue annuelle bien individualisée et un étiage prolongé. Cependant, sous l'influence de différents facteurs, il se distingue du régime tropical pur :

DÉBITS DU CHARI A FORT LAMY EN 1943

(Année voisine de l'année moyenne)



a) La plupart des branches méridionales du Haut-CHARI et du Haut-LOGONE (BAMINGUI, GRIBINGUI, OUHAM, PENDE, M'BERE, WINA) sont du type "tropical de transition" qui tend à se rapprocher du régime équatorial : des précipitations annuelles assez fortes, généralement supérieures à 1.300 mm, donnent lieu à une saison des hautes-eaux plus prolongée et à un étiage moins sévère que dans le régime tropical pur.

b) De très vastes zones d'inondation qui recouvrent une part importante du bassin du CHARI et de celui du LOGONE inférieur, contribuent à accroître sensiblement le déficit d'écoulement mais jouent également un rôle régularisateur très accentué.

Il en résulte pour le CHARI inférieur une crue annuelle relativement étalée, qui se caractérise par une montée puis une décroissance des débits très progressive.

Bien que comportant d'assez nombreuses lacunes, les relevés de FORT-LAMY, de 1933 à 1957, permettent d'évaluer avec précision le module annuel. Il est de 1.200 m³/s correspondant à environ 38 x 10⁹ m³ écoulés par an. La répartition des débits mensuels est la suivante :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
821	461	271	192	187	247	507	1.210	2.393	3.327	3.322	1.840

Le graphique ci-joint donne la courbe de variations des débits journaliers en 1943, année très voisine de la moyenne.

Nous n'aborderons pas ici l'irrégularité interannuelle du CHARI ; cette question sera développée plus loin à propos des variations interannuelles du niveau du Lac.

2°/ L'El Beid.

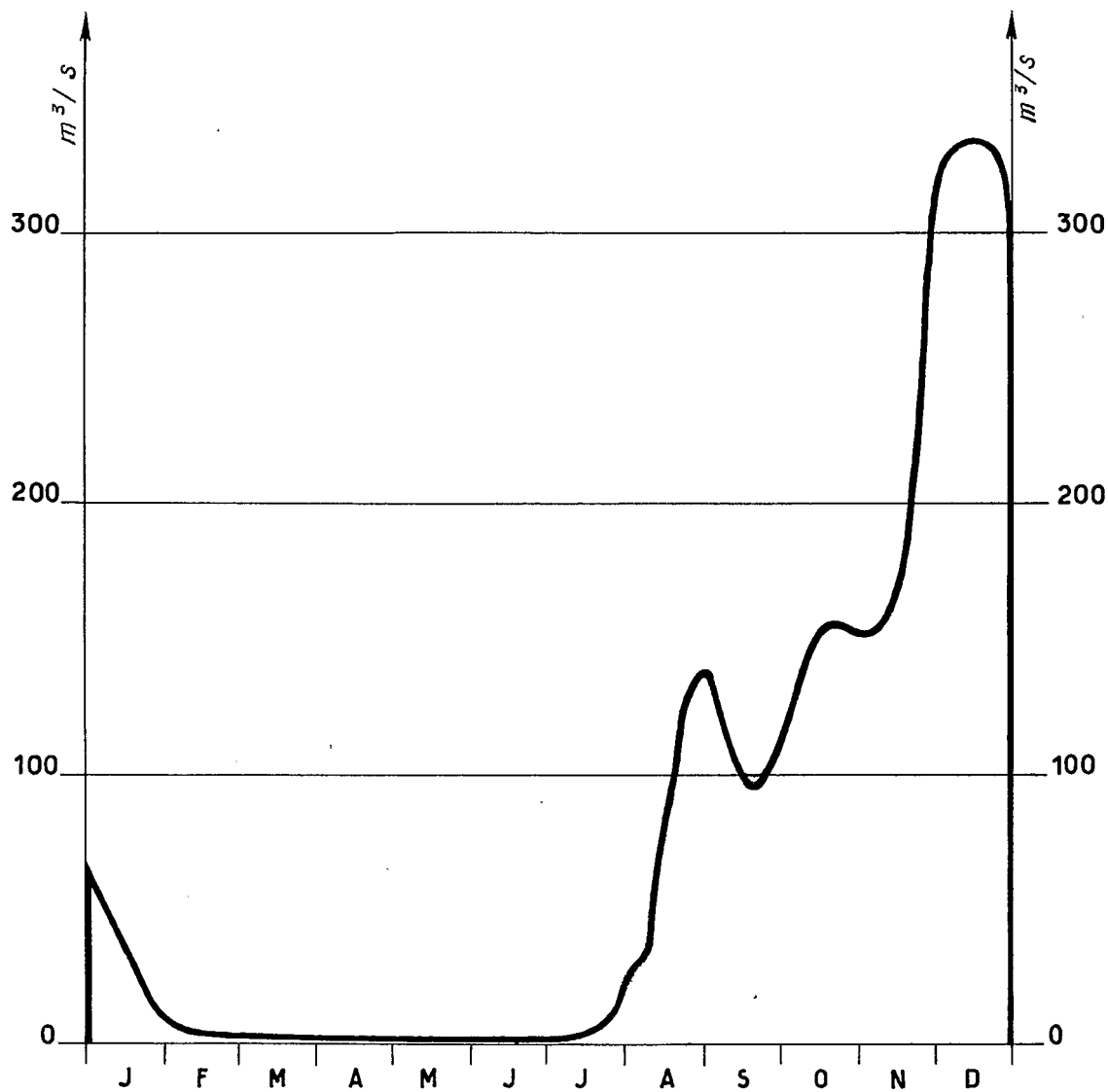
Les apports de l'EL-BEID peuvent être connus de façon approximative grâce aux observations de la station de GAMBAROU mise en service en 1953.

Le régime de cet émissaire du Lac TCHAD est très complexe. Il

DÉBITS DE L'EL BEÏD A GAMBAROU

ANNÉE 1954

(ASSEZ FORTE HYDRAULICITÉ)



draine, en effet, une zone de marécages (YAERE) qui reçoit, d'une part, les déversements du CHARI et surtout du LOGONE (respectivement par l'intermédiaire du BAHR MAROKO et de la LOGOMATIA) et, d'autre part, les apports de plusieurs "mayo" du Nord-CAMEROUN (TSANAGA, MOTORSOLO, RANEO, MANGAFET, OUDEMI). Malgré l'effet régulateur des zones d'épandage, la période de hautes-eaux est marquée par plusieurs pointes successives qui sont dues aux causes suivantes, dans l'ordre chronologique :

- a) précipitations sur l'étendue du "YAERE" et sur tout ce qu'on peut appeler le bassin de l'EL BEID à l'aval du YAERE
- b) apport des "mayo" du Nord-CAMEROUN (influence très peu sensible)
- c) déversements du LOGONE
- d) déversements du CHARI.

En fait, on distingue deux groupes de pointes bien distinctes, celui correspondant aux facteurs a et b et celui résultant des déversements, le plus important.

Les relevés de GAMBAROU pour la période 1953-1955 permettent d'estimer à 67 m³/s le module de l'EL BEID, ce qui représente un volume annuel de 2,1 x 10⁹ m³.

La répartition des débits mensuels est la suivante :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
162	69	8	1,3	0	1	6,2	63	63	71	131	222

On peut estimer que sur une période de longue durée le module de l'EL BEID serait voisin de 50 m³/s correspondant à un volume annuel de :

1,6 milliards de m³.

Ces apports notables sont dus pour la presque totalité aux déversements du LOGONE qui jouent directement en Novembre, Décembre et Janvier et indirectement en Août, Septembre et Octobre, en créant un bassin de réception partiellement saturé qui offre aux précipitations de s conditions de ruissellement favorables.

3°/ LA KOMADOUGOU YOUBE

La KOMADOUGOU YOUBE, seul affluent du Lac TCHAD dans la partie nord, est un fleuve qui coule de l'ouest vers l'est. Long de mille kilomètres environ, la KOMADOUGOU possède un bassin versant aussi important que celui du CHARI.

Ayant sa source en NIGERIA et coulant pendant les 4/5e de son parcours dans ce territoire, la KOMADOUGOU constitue la frontière entre le NIGER français et la NIGERIA sur une longueur de 150 kilomètres, de KANAMA à son embouchure dans le Lac TCHAD.

- Aspect du fleuve à BOSSO -

Le bassin versant important de ce fleuve laisserait supposer un débit en conséquence. Il n'en est rien :

La régime sahélien caractéristique de cette zone frontière donne lieu, dans ces régions à pentes généralement faibles, à des cours d'eau qui, presque tous, subissent la dégradation totale dès qu'ils entrent en plaine, tel le GOULBI de MARADI, par exemple. Sur un grand nombre d'affluents théoriques, seuls certains privilégiés amènent de l'eau en saison des pluies, jusqu'au Lac TCHAD. A noter la présence d'immenses marécages qui contribuent à régulariser le régime.

A BOSSO, la KOMADOUGOU, au cours très sinueux, a un lit principal de 5 à 10 mètres de largeur, alors que le lit majeur, encombré d'herbes varie de 50 à 100 mètres.

Le lit mineur est sableux et présente en saison sèche une succession de mares et de seuils ; ses berges sont franches et hautes de 2 mètres côté plaine d'inondation et de 3 à 5 mètres du côté des terres exondées.

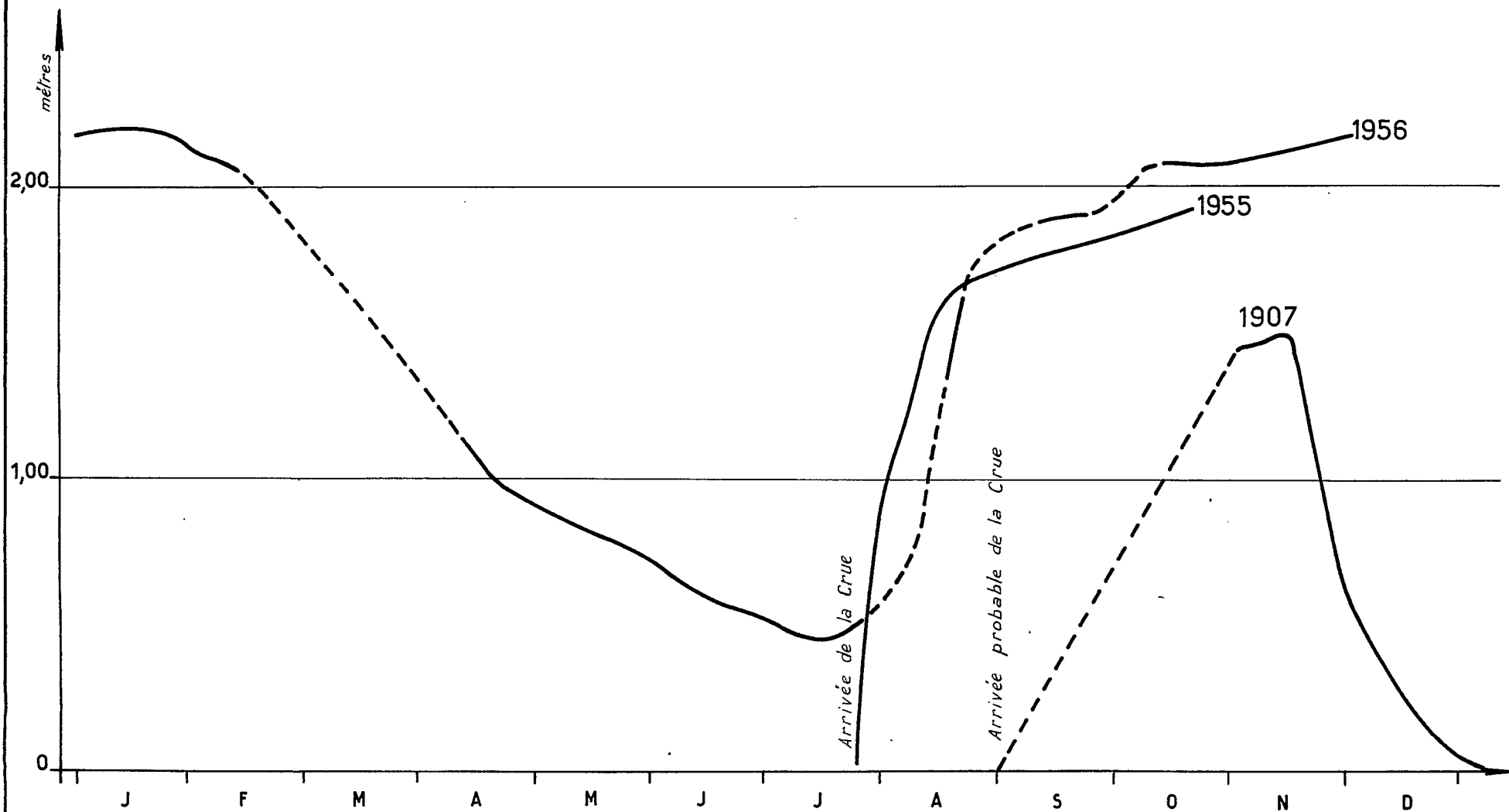
En saison des pluies, il n'y a du courant que dans le lit mineur, les herbes et les roseaux denses obstruant la plaine d'inondation.

....

KOMADOUGOU YOUBE

Gr. IX

COURBES DES VARIATIONS DE NIVEAU A BOSSO EN 1907-1955-56



- Aspect du fleuve à l'embouchure

Il ne nous a pas été possible de descendre en bateau la KAMADOUGOU depuis BOSSO jusqu'à son embouchure dans le Lac TCHAD.

Seule une reconnaissance en bateau pneumatique fut faite mais dû être abandonnée avant l'embouchure : à 4 km en aval de BOSSO, la KOMADOU-GOU divague de plus en plus, son lit majeur s'élargit aux dépens du lit mineur obstrué par les herbes.

- Régime de la KOMADOUGOU

La KOMADOUGOU est une rivière à écoulement temporaire de cinq mois environ, d'Août à Janvier.

Lorsque le Lac a une cote inférieure à 282,00 m. (Bol IGN, 1954), les eaux du Lac ne remontent pas dans le lit de la KOMADOUGOU. Tout le lit mineur n'est que mares et seuils. Un peu après le début des pluies, l'eau arrive brusquement dans la rivière, remplit une mare, s'arrête quelques temps devant un seuil, le franchit et continue sa progression saccadée. Le Capitaine GONDAIMA signale qu'en 1908 le flot arrivait le 8 Août à ASSAGA et seulement le 18 au soir à BOSSO, à 120 kilomètres plus loin ; la vitesse de propagation est d'une dizaine de kilomètres par jour.

En 1955, le flot arrivait à BOSSO le 29 Juillet, alors qu'en 1956, il fallait attendre le 14 Août.

Durant les premiers jours de la crue, l'eau monte très rapidement, plus de 10 centimètres par jour, pour se stabiliser une quinzaine de jours après.

D'après les lectures effectuées par la Mission TILHO en 1907 (le Lac TCHAD, très bas, n'avait pas d'influence sur les variations de niveau de la rivière) le maximum à BOSSO est atteint vers le 15 Novembre. La décrue,

....

rapide durant la deuxièmequinzaine de Novembre (3 cm par jour) avait cessé le 9 Janvier 1908.

Sur les courbes de variations de niveau des années 1955 et 1956, on ne peut déterminer le maximum du débit, l'influence du Lac étant beaucoup trop importante.

- Débit annuel approximatif

Le Général TILHO a estimé le volume annuel des eaux de la KOMADOUGOU pour l'hivernage 1907-1908 à 131 millions de mètres cubes.

En comparant les maxima des années antérieures à GAEDAM (NIGERIA), le Général TILHO a admis que 1907 étant une année de crue moyenne, le débit moyen annuel à BOSSO pouvait être évalué à 131 millions de mètres cubes.

Pour les années 1955 et 1956, nous avons seulement 2 mesures de débit (6 et 12 m³/s) qui, par suite du niveau très élevé du Lac, ne nous permettent pas un étalonnage de la station de BOSSO.

Seul l'étalonnage de la station de GUESKEROU pourra nous donner avec précision le débit annuel de la KOMADOUGOU.

4°/ LE YEDSERAM

Ce cours d'eau situé entièrement en territoire nigérian présente un bassin versant extrêmement allongé. Seul, le sud de ce bassin autour de la petite localité de MULI est susceptible de fournir des apports appréciables. Le régime, sur le cours supérieur, est celui des mayos du nord-CAMEROUN. Par analogie avec la TSANAGA à MAROUA, on peut estimer à moins de 300.000.000 de m³ les apports dans le cours supérieur. Jusqu'à DIKOUA, il ne rencontre aucun affluent notable et comme il est de règle dans ces régions, le volume annuel doit décroître fortement. A partir de DIKOUA, il traverse une zone marécageuse susceptible de réduire encore le module.

En définitive, les apports parvenant au Lac TCHAD doivent être inférieurs à ceux de la KOMADOUGOU. Peut-être 100 000 000 m³ au grand maximum.

En conclusion : Sur un total moyen de 40 milliards de m³ apporté chaque année au Lac TCHAD, le CHARI en fournit 95 % environ, l'EL BEID 4%, la KOMADOUGOU et le YEDSERAI moins de 1%.

NOTA : " Depuis 1957 les relevés limnimétriques et l'étalonnage provisoire de la station de BAGARA permettent d'évaluer approximativement à 20 m³/s le débit moyen annuel de la KOMADOUGOU à cette station qui est située à une centaine de kilomètres de l'embouchure. Les apports de la KOMADOUGOU dans le Lac seraient ainsi voisins de 600 millions de mètres cubes par an, mais il faudrait tenir compte des pertes par débordement en aval de BAGARA, pertes qui sont encore mal connues. Il semble bien toutefois que le volume annuel admis pour la station de BOSSO d'après les données du Général TILHO (130 millions m³/an) , soit largement sous-estimé. L'incidence de cette erreur sur le bilan du Lac est négligeable " .

RELEVES DE HAUTEURS D'EAU
SUR LA KOMADOUYOU A BOSSO

---:---:---:---:---:---:---:---

1955

Echelle de crue

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1								116/117	173	184		
2								117				
3								119				
4								123				
5								126				
6								130				
7								130	174	185		
8								130				
9								135				
10								140	176			
11								143				
12								152				
13								155				
14								157	177			
15								158	177	190		
16								160	178	191		
17								161	179			
18								165	180			
19								166	180			
20								167	181			
21								167				
22								167		191		
23								167	182			
24								167				
25								167				
26								167				
27								Pose échelle	167			
28								pas eau	167	184		
29								52 - 63	167			
30								70 - 87	170			
31								90 - 102	172			

RELEVES DE HAUTEURS D'EAU
SUR LA KOMADOUYOU A BOSSO

---:---:---:---:---:---:---:---

1956

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	210	210			92	74	50				210	
2												
3												
4					94							
5					91	69	50				212	
6					90							220
7	212				92							
8	212				88							
9	213											
10	210					67	47				213	
11					89							
12					88							
13					86							
14					85			arrivée crue			214	
15		210			83	62	45			210		
16				109								
17				109								
18				108					188			
19				107				132				
20				106	80	59	45	135			214	
21				104					189			
22				103					189			
23				102					190			
24				101				163	190			
25				100	77	54	46		191		215	
26				100								
27				98								
28				95								
29				94								
30				92	74	59	59			210	215	

B) APPORTS DES PRECIPITATIONS

Pour déterminer la moyenne des précipitations annuelles sur le Lac, il aurait fallu un réseau assez dense de pluviomètres répartis sur toute sa surface.

Jusqu'en 1955, nous ne disposions que des résultats des stations de N'GUIGMI (depuis 1921) et de BOL (1908, 1939, 1939 et depuis 1946 sans interruption).

Ces deux stations ne peuvent suffire à déterminer les isohyètes du Lac TCHAD.

Des résultats sont exposés dans le tableau ci-dessous.

a) PLUVIOMETRIE AU LAC TCHAD

en 1956

N'GUIGMI	376 mm	Service Météorologique de l'A.O.F.
GUESKEROU	324 mm	" " "
WULGO	535 mm	Service Météorologique de NIGERIA
DIKOA	541 mm	" " "
MIAO	271 mm	Service Météorologique de l'A.E.F.
MOUSSORO	434 mm	" " "
MASSAKORY	437 mm	" " "
FORT-LAMY	607 mm	" " "
RIG-RIG	285 mm	O.R.S.T.O.II.
KAYA	375 mm	"
BOL	376 mm	"
TAGAGA	455 mm	"
DOUGULA	623 mm	"
KOUKAOUA	550 mm	"
MAIDUGURI	636 mm	"

La pluviométrie moyenne du Lac TCHAD est de 420 mm pour 1956 ;
elle est donc plus forte pour cette année sur l'ensemble du Lac qu'aux postes de BOL et de N'GUIGMI.

On trouvera ci-joint la carte des isohyètes pour l'année 1956.

.../...

b) PRECIPITATIONS MOYENNES INTERANNUELLES SUR LE LAC TCHAD

Il est assez hasardeux de déduire des moyennes interannuelles à partir de la carte d'isohyètes d'une seule année.

On peut affirmer cependant que la hauteur de précipitation annuelle croît du Nord au Sud du Lac. Les tableaux suivants permettent de calculer avec de nombreuses interpolations les précipitations pour les stations de N'GUIGMI, BOL et MAIDUGURI, pour une période de 40 ans environ : on trouve respectivement 215 mm, 310 mm et 645 mm. Cette période qui comprend à la fois des années sèches et des années humides doit donner lieu à des moyennes très semblables à celles qui seraient obtenues sur une longue période. Etant donné la situation respective des trois stations, ceci tend à bien indiquer que la moyenne des précipitations sur le Lac est nettement supérieure à la valeur obtenue pour BOL. Pour l'année 1956, on trouve que la hauteur moyenne sur le Lac est sensiblement égale à la moyenne pondérée qui serait obtenue en donnant aux stations de BOL et de N'GUIGMI le poids 1 et le poids 0,5 à celle de MAIDUGURI. Pour les 4 années 1953, 1954, 1955, 1956, cette moyenne est sensiblement équivalente à la moyenne arithmétique de BOL et de N'GUIGMI majorée de 25 %.

Dans ces conditions, la hauteur de précipitations annuelles serait en moyenne de 330 mm.

Ce chiffre est supérieur de 10 % environ à la moyenne de BOL.

On voit, d'après les tableaux de distribution concernant les stations de BOL et de N'GUIGMI, que l'irrégularité interannuelle est forte.

c) REPARTITION ANNUELLE DES PLUIES

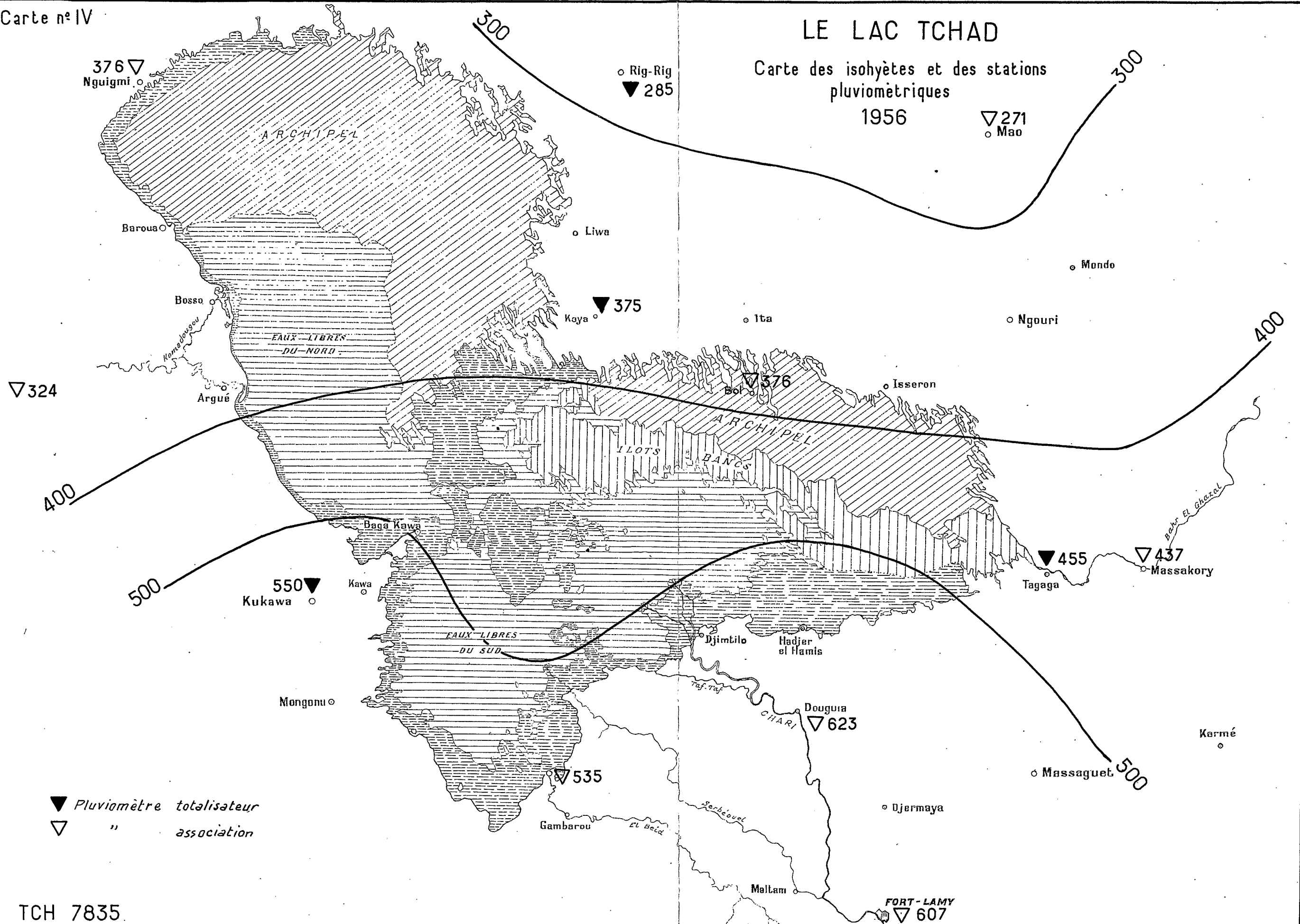
Elle peut être représentée par le tableau de la page 66 qui précise la répartition mensuelle des pluies à BOL.

La pluie ne tombe que de Mai à Octobre, mais elle est presque négligeable en Mai-Juin et Octobre. En Août tombe plus de la moitié des précipitations de l'année.

.../...

LE LAC TCHAD

Carte des isohyètes et des stations pluviométriques
1956



▼ Pluviomètre totalisateur
 ▽ " association

VARIATIONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES A BOL
ET A N'GUIGMI

Années	Précipitation N'GUIGMI	Précipitation BOL	Moyennes à N'GUIGMI	Moyennes à BOL
1921	154 mm	1908 - 193,5 mm	<u>1921 - 1930</u> 183 mm	
1922	352 mm			
1923	124 mm			
1924	225 mm			
1925	165 mm			
1928	42 mm			
1929	108 mm			
1930	192 mm			
1931	229 mm	287,5 mm	<u>1931 - 1940</u> 223 mm	
1932	323 mm			
1933	265 mm			
1934	237 mm			
1935	202 mm			
1936	285 mm			
1937	236 mm			
1938	176 mm			
1939	176 mm			
1940	98 mm			
1941	167 mm	281,7 mm	<u>1946 - 1950</u> 226 mm	<u>1946 - 1950</u> 277 mm
1942	187 mm			
1943	268 mm			
1944	187 mm			
1945	164 mm			
1946	286 mm			
1947	216 mm			
1948	174 mm			
1949	68 mm			
1950	388 mm			
1951	115 mm	233 mm	<u>1951 - 1956</u> 278 mm	<u>1951 - 1956</u> 385 mm
1952	308 mm			
1953	352 mm			
1954	325 mm			
1955	189 mm			
1956	376 mm			

TABLEAU DE DISTRIBUTION

DES HAUTEURS ANNUELLES

	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	» 400
Fréquence N'GUIGMI	1	2	3	11	6	4	3	4
Fréquence à BOL	1		1	2	5	2	1	2

REPARTITION MENSUELLE DES PLUIES A BOL

	1908	1938	1939	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
JANVIER														
FEVRIER														
MARS														
AVRIL														
MAI	0	0	28,0	0	0	//	23,1	14,9	5,0	5,0	27,4	4,7	11,8	19,1
JUIN	1,1	7,0	1,0	0,5	5,5	//	3,0	2,5	//	1,0	25,2	20,0	20,4	73,5
JUILLET	32,1	114,7	21,0	47,3	34,0	78,0	//	119,0	45,0	48,0	60,4	134,3	27,9	177,5
AOUT	134,3	141,8	136,0	141,6	82,1	161,2	56,0	260,0	116,0	281,0	189,5	546,7	143,9	85,1
SEPTEMBRE	27,1	24,0	43,0	85,3	144,8	13,0	10,7	62,0	61,0	31,0	11,0	6,7	34,1	20,4
OCTOBRE	4,3	0	3,0	7,0	33,0	0	0	0	6,0	8,0	0	5,1	57,5	0
NOVEMBRE														
DECEMBRE														
Nombre de jours	193,5	287,5	232,0	281,7	299,4	252,2	92,8	458,4	233,0	374,0	313,5	717,5	295,6	376,0
				29	20	15	-	29	25	20	23	31	31	36

STATIONS AU SUD-OUEST DU LAC

Stations	WULGO		DIKWA		MAIDUGURI	
Latitude N	12 ° 28 '		12 ° 02 '		11 ° 51 '	
Longitude E	14 ° 11 '		13 ° 55 '		13 ° 05 '	
Moyennes portant sur	5 ans		5 ans		40 ans	
	R	N	R	N	R	N
Janvier	0	0	0	0	0,2	0
Février	0	0	0	0	0,2	0
Mars	0	0	0	0	0,3	0
Avril	0	0	0	0	0,6	0
Mai	21,3	3	25,1	2	39,6	5
Juin	78,5	5	75,4	5	72,9	9
Juillet	168,1	8	185,7	10	178,1	13
Août	238,3	13	279,7	11	221,5	17
Septembre	94,2	8	60,2	5	108,5	11
Octobre	34,8	2	17,5	2	22,9	2
Novembre	0	0	0	0	0,3	0
Décembre	0	0	0	0	0	0
Totaux annuels	635,2	39	645,6	35	645,1	57

R = Hauteur d'eau en millimètres

N = Nombre de jours de pluie.

c) - PERTES PAR EVAPORATION, PREDOMINANCE DE CES PERTES SUR LES PERTES PAR INFILTRATION

L'évaporation sur le Lac peut être déterminée soit par la loi de Dalton à partir de la température de l'eau du Lac et de l'état hygrométrique de l'air ambiant, soit à partir des relevés des bacs évaporatoires installés sur la rive et dans les îles, en tenant compte de coefficients de correction convenables, soit enfin à partir du bilan hydrologique.

Contrairement aux apparences, c'est cette dernière méthode la plus sûre. Dans de nombreux cas d'études de réservoir, le volume perdu par évaporation est un terme secondaire par rapport aux apports, de sorte qu'en définitive il est presque du même ordre de grandeur que les erreurs faites dans les estimations de volumes arrivant à l'entrée du réservoir ou en sortant. Dans le cas du Lac TCHAD, au contraire, le volume évaporé est au moins égal aux apports des cours d'eau tributaires. D'autre part, l'étude du bilan effectuée mois par mois nous montrera que l'effet des pertes par infiltration est faible. Les conditions sont donc favorables pour déterminer la hauteur d'eau évaporée à partir du bilan.

Les bacs évaporatoires donnent des résultats moins précis, car nous n'avons que fort peu de données vraiment valables sur le coefficient de correction à utiliser pour passer à un réservoir de surface infinie.

Dans ces conditions, nous déterminerons la hauteur d'eau annuelle évaporée à partir du bilan hydrologique, puis nous vérifierons que l'application de la loi de Dalton conduit à des chiffres semblables.

En comparant avec les données fournies par les bacs évaporatoires nous pourrions avoir une idée du coefficient applicable à une retenue de surface infinie.

1°/ Calcul de l'évaporation à l'aide du bilan hydrologique.

Le bilan est relativement simple, comme nous l'avons vu au début du présent chapitre. Il peut se traduire par 4 éléments :

.../...

- a) Les variations de niveau
- b) Les apports du CHARI (qui est pratiquement le seul tributaire du Lac)
- c) Les précipitations
- d) Les pertes par évaporation et infiltration.

Il y a peut-être aussi des apports par infiltration.

Ces pertes sont inséparables, mais le parallélisme entre les variations de l'évaporation déterminée par le bilan hydrologique et les relevés mensuels des bacs évaporatoires, montre que les pertes par infiltration sont très peu importantes. Nous essaierons de les séparer des pertes par évaporation grâce aux observations que nous avons faites de la salinité du Lac, par une méthode originale.

Connaissant les apports du CHARI, les précipitations et les variations de niveau, il est facile de déterminer les pertes totales et c'est ce que nous avons fait pour les années 1953, 1954, 1955 et 1956. Ces pertes totales donneront une approximation par excès de l'évaporation.

Dans les tableaux 4 et 5, on trouvera les calculs relatifs aux opérations mensuelles :

a) - Variations mensuelles du niveau

C'est l'élément le moins précis du calcul. En effet, nous avons pour ces dernières années une lecture par jour et pour une seule station, BOL. Or, le niveau peut varier de plus de 10 cm dans la journée, par suite de l'influence du vent.

Dans notre bilan, 10 cm représentent 2 milliards de m³. On voit donc à quelle précision doivent atteindre ces mesures. L'installation d'un limnigraphe, maintenant réalisée, était indispensable.

D'autre part, les variations de niveau à BOL, HADJER-EL-HALIS et N'GUIGMI ne sont pas tout à fait synchrones. Un certain courant traverse constamment le Lac, du sud au nord, puisque l'alimentation se fait pour 95 % par le CHARI.

.../...

Il y a donc toujours un niveau plus élevé à HADJER-EL-HAMIS qu'à N'GUIGMI. De plus, les vents soufflant avec une direction à peu près constante pendant de longues périodes créent également de faibles dénivellations (indépendamment des variations de niveau de courte durée correspondant à de forts coups de vents).

COMPARAISON DES VARIATIONS DE NIVEAU MENSUELLES

A N'GUIGMI - HADJER EL HAMIS ET BOL

	1955				1956			
	BOL	N'GUIGMI		HADJER EL HAMIS		BOL	N'GUIGMI	
	△ H	△ H à l'échelle	△ H	△ H à l'échelle	△ H	△ H	△ H à l'échelle	H
Janvier	+ 8			180 - 190	+ 10	+ 1	190 - 188	- 2
Février	- 11			190 - 160	- 30	- 6	188 - 191	+ 3
Mars	- 20			160 - 125	- 35	- 12	191 - 175	- 16
Avril	- 5			125 - 110	- 15	- 10	175 - 159	- 16
Mai	- 15			110 - 95	- 15	- 24	159 - 144	- 15
Juin	- 13			95 - 85	- 10	- 12	144 - 118	- 26
Juillet	- 6					+ 8	118 - 112	- 6
août	+ 18	0,75 - 0,85	+ 10			+ 14	112 - 146	+ 34
septembre	+ 19	0,85 - 105	+ 20			+ 24	146 - 172	+ 26
octobre	+ 12	105 - 132	+ 27			+ 7	172 - 189	+ 17
novembre	+ 29	132 - 160	+ 28			+ 37	189 - 215	+ 26
décembre	+ 33	160 - 190	+ 30			+ 7		

△ H = Différence de niveau entre le 1^{er} du mois en référence et le 1^{er} du mois suivant.

Il s'agit ici des lectures brutes correspondant à la courbe irrégulière affectée par les sautes de vent, et non des lectures utilisées plus loin et qui correspondent à une courbe débarrassée de tous les accidents correspondant à des causes secondaires.

Dans notre bilan, c'est évidemment la variation mensuelle du niveau moyen que nous devrions considérer, que l'on approchera en faisant la moyenne des stations de BOL, HADGER EL HAMIS et N'GUIGMI, beaucoup plus qu'en n'utilisant seulement BOL.

On trouvera dans le tableau ci-dessus la comparaison des variations de niveaux aux trois stations en 1955 et 1956. Malheureusement, les lectures à HADGER EL HAMIS et N'GUIGMI sont incomplètes et la confrontation des variations n'a pu être faite que sur peu de mois.

Constations cependant que les irrégularités se compensent d'un mois à l'autre et notons également que la crue du Lac, provenant de la crue du CHARI, débutant en Juin-Juillet, se fait sentir un mois plus tard à N'GUIGMI qu'à BOL.

b) - Apports des tributaires

Nous avons vu que les apports des tributaires secondaires correspondaient à 5 % du total. C'est l'ordre de grandeur des pertes par évaporation dans les bras du delta du CHARI et dans les plaines d'inondation entre FORT-LAMY et le Lac. En prenant comme base de calcul les débits du CHARI à FORT-LAMY au lieu de la totalité des apports au Lac, nous faisons peut-être une erreur de 1 à 2 %, puisque dans le calcul, les apports de la KOMADOUYOU, du YEDSERAM et de l'EL BEID interviennent en sens contraire des pertes par évaporation entre FORT-LAMY et le Lac.

En égard à l'imprécision avec laquelle sont connues les variations de niveau, cette erreur est admissible.

Notons qu'en saison sèche, au maximum de la crue du Lac, le débit du CHARI devrait compenser exactement l'évaporation, ce qui devrait permettre une évaluation de l'évaporation journalière à cette époque.

En fait, la date du maximum n'est pas très bien déterminée, l'étale dure plusieurs semaines et ne se produit pas à la même date à BOL et à N'GUIGMI, par suite de la durée de propagation des apports du CHARI jusqu'à l'extrémité du Lac et il peut en résulter certains écarts entre les diverses estimations. Cependant, le

.../...

tableau ci-dessous montre bien le même ordre de grandeur : 4,5 mm pour 4 années consécutives.

Date du maximum à BOL	Niveau	Surface corresp.	Débit du CHARI	Evaporation Journalière
7 Janvier 1954	0,86 281,73	19 800	1 100	4,8
25 Janvier 1955	1,40 282,27	21 900	909	3,6
8 Janv. - 4 Fév. 1956	1,80 282,67	22 980	425	4,3
28 Décembre 1956	2,10 282,97	23 700	1 533	5,6

Les apports du CHARI sont portés dans les colonnes 4 en cm de surélévation.

c) - Précipitations

La hauteur moyenne est assez mal connue, par suite du peu de stations d'observations et de la difficulté de les atteindre. La plupart des pluviomètres sont des totalisateurs relevés une fois l'an.

La précision est cependant suffisante, les pluies ne représentant que 10% des apports.

Pour réduire les erreurs pouvant résulter, soit d'observations erronées, soit de précipitations particulièrement élevées à BOL, nous porterons dans la colonne 6 en cm les précipitations mensuelles correspondant à la moyenne pondérée des trois postes de BOL, de N'GUIGMI et MAIDUGURI, établie comme il a été indiqué à la page 63.

CALCUL DE L'EVAPORATION MENSUELLE DU LAC TCHAD

A PARTIR DU BILAN HYDROLOGIQUE

1953

Mois	Cote Echelle BOL	D Différence cm	Apport CHARI m ³ /s	G Apport CHARI cm sur Lac	P Pluie cm(1)	C + P - D EVAPORATION cm
Juillet	0,10					
Aout	0,10 - 0,37	+ 27	1 384	22	19,6	14,6
Septembre	0,37 - 0,57	+ 20	2 264	30,3	3,1	13,4
Octobre	0,57 - 0,71	+ 14	3 359	44,1		30,1
Novembre	0,71 - 0,84	+ 13	3 560	44,4		31,4
Décembre	0,84 - 0,86	+ 2	1 527	19,4		17,4

1954

Janvier	0,85 - 0,77	- 8	709	9,05		17
Février	0,77 - 0,70	- 7	(370)	4,35		11,3
Mars	0,7 - 0,55	- 15	(260)	3,42	0,2	18,6
Avril	0,55 - 0,43	- 12	(170)	2,25	0,6	14,8
Mai	0,43 - 0,31	- 12	134	1,97	1,1	15
Juin	0,31 - 0,15	- 16	329	5,1	4,5	25,6
Juillet	0,15 - 0,27	+ 12	749	12,15	12,5	12,6
Août	0,27 - 0,62	+ 35	1 422	19,75	34,3	19
Septembre	0,62 - 0,78	+ 16	2 675	33,6	1,5	19,1
Octobre	0,78 - 0,97	+ 19	3 944	49,8	0,7	31,5
Novembre	0,97 - 1,15	+ 18	4 362	52,3		34,3
Décembre	1,15 - 1,37	+ 22	2 858	34,8		12,8

(1) Moyenne sur le Lac.

.../...

1955

Mois	Cote Echelle BOL	D Différence	Apport CHARI m ³ /s	C Apport CHARI cm sur Lac	P Pluie cm (1)	C + P - D EVAPORATION
Janvier	1,34 - 1,38	+ 4	1 073	12,9		8,9
Février	1,38 - 1,26	- 12	635	7		19
Mars	1,26 - 1,12	- 14	288	3,54		17,5
Avril	1,12 - 0,99	- 13	224	2,69		15,7
Mai	0,99 - 0,86	- 13	274	3,46	1,3	17,8
Juin	0,86 - 0,74	- 12	354	4,41	4,7	21,1
Juillet	0,74 - 0,70	- 4	782	10,15	6,2	20,3
Août	0,70 - 0,88	+ 18	1 564	20,1	17	19,1
Septembre	0,88 - 1,05	+ 17	2 837	34,4	4,1	21,5
Octobre	1,05 - 1,25	+ 20	4 133	51	3,1	34,1
Novembre	1,25 - 1,52	+ 27	4 564	54		27
Décembre	1,52 - 1,78	+ 26	3 192	37,4		11,4

1956

Janvier	175 - 177	+ 2	1 378	15,9		13,9
Février	177 - 175	- 2	769	8,3		10,3
Mars	175 - 162	- 13	521	6		19
Avril	162 - 150	- 12	367	4,20		16,2
Mai	150 - 128	- 22	249	3		25
Juin	128 - 110	- 18	310	3,7	1,9	23,6
Juillet	110 - 115	+ 5	692	8,5	7,4	10,9
Août	115 - 135	+ 20	1 495	18	17,8	15,8
Septembre	135 - 160	+ 25	2 733	31,4	8,5	14,9
Octobre	160 - 172	+ 12	3 849	45	2	35
Novembre	172 - 195	+ 23	4 299	47,2		24,2
Décembre	195 - 208	+ 13	2 595	28,8		15,8

(1) Moyenne sur le Lac

.../...

1953 - 1956

M O I S	1953		1954		1955		1956		Moyennes
	Mens.	Cumul	Mens.	Cumul	Mens.	Cumul	Mens.	Cumul	
JANVIER			170	170	89	89	139	139	132
FEVRIER			113	283	190	279	103	242	135
MARS			186	469	175	454	190	432	184
AVRIL			148	617	157	611	162	594	156
MAI			150	767	178	789	250	844	193
JUIN			256	1 023	211	1 000	236	1 080	234
JUILLET		1 180	126	1 149	203	1 203	109	1 189	146
AOUT	146	1 326	190	1 339	191	1 394	158	1 347	171
SEPTEMBRE	134	1 460	191	1 530	215	1 609	149	1 496	172
OCTOBRE	301	1 761	315	1 845	341	1 950	350	1 846	327
NOVEMBRE	314	1 075	343	2 188	270	2 220	242	2 088	292
DECEMBRE	174	2 249	128	2 316	114	2 334	158	2 246	143
							TOTAL.		2 285 mm

EXAMEN DES RESULTATS -

Il convient de signaler, qu'en raison des nombreuses variations de niveau dues au vent, il est difficile de déterminer à moins de 2 cm près le niveau du Lac, même en éliminant les pointes horaires. L'évaporation mensuelle n'est donc connue qu'à 2 ou 3 cm près. Mais l'erreur absolue est la même sur la hauteur d'évaporation annuelle.

Les chiffres obtenus s'expliquent bien par l'évaporation. On retrouve également un faible minimum en Janvier, mois très froid sous cette latitude et le minimum de saison des pluies. Le maximum de Juin est normal. Ce qui l'est beaucoup moins, c'est le léger fléchissement observé en avril ou mai et la très forte pointe d'octobre. Il semble qu'il s'agisse là d'un basculement de la surface du Lac dû au renversement des vents entre saison sèche et saison des pluies et vice-versa. Le changement dans la direction du vent se produit au début de mai ou en fin avril (stations météorologiques de MAO et de FORT-LAMY), de façon légèrement progressive. Par contre, le changement inverse est très brutal en Octobre : le vent qui soufflait du Sud-Ouest en saison des pluies tourne brusquement au Nord-Est. Un tel changement justifie une différence de niveau de 10 cm, car nous avons observé des phénomènes de même importance dans le courant d'une journée.

Ce phénomène fait sous-estimer la décrue du Lac en Avril et la crue en Octobre.

D'ailleurs, on constate en comparant BOL et N'GUIGMI que les variations des niveaux d'Avril et Octobre sont plus fortes à cette dernière station qu'elles ne le sont à BOL :

En Octobre 1955 crue de 27 cm contre 20 à BOL
En Avril 1956 décrue de 16 cm contre 16 à BOL
En Octobre 1956 crue de 17 cm contre 12 à BOL

Avec les dénivellations de N'GUIGMI on obtiendrait des valeurs plus vraisemblables des évaporations d'Avril et Octobre.

Les évaporations totales annuelles sont remarquablement cohérentes : .../...

1954 : 2 316
1955 : 2 334
1956 : 2 246

Compte tenu des indications fournies pour l'année 1953, il semble que la moyenne serait de :

2 280 mm

A titre de vérification, nous allons comparer les valeurs des pertes que nous venons de calculer (évaporation + infiltration - récupération par infiltration) aux valeurs de l'évaporation telles qu'elles peuvent être déterminées par des formules empiriques établies à partir des observations faites à BOL et dans le territoire du TCHAD.

2°/ Calcul de l'évaporation du Lac à partir de la Loi de DALTON

Connaissant la température moyenne de l'eau du Lac et l'état hygrométrique de l'air ambiant, nous avons calculé l'évaporation mensuelle à l'aide de la formule de DALTON, en choisissant pour constante la moyenne de celles obtenues par nos mesures à notre station météorologique principale de LAI, à BOGO, à BOL, à DOUGUIA et à FORT-LAMY, soit 0,33 (les tensions étant exprimées en millibars).

Ce coefficient n'est qu'une valeur moyenne, pour certains mois il peut donner des écarts notables avec les valeurs réellement observées, mais même dans ce cas, l'ordre de grandeur des résultats obtenus avec la formule reste valable.

Les calculs sont consignés dans le tableau ci-après et reportés sur le graphique X

NOTA :

" Dans une note de Mars 1964, intitulée " Résultats récents des mesures d'évaporation au TCHAD ". Ch. RIOU a calculé l'évaporation du Lac par la formule de PENMAN. Il aboutit à un total annuel très voisin de 2 200 mm, qui confirme bien les résultats obtenus par le bilan hydrologique du Lac. Par contre, les évaporations mensuelles sont quelque peu différentes et d'ailleurs plus vraisemblables. L'évaporation maximale se produit en Avril et Mai (7,3 mm / jour) et l'évaporation minimale en Décembre (4,5 mm / jour). Le fléchissement de l'évaporation en Avril

.../...

et la forte pointe d'Octobre donnés par le bilan du Lac s'expliquent par le changement de la direction du vent qui faisant légèrement basculer la surface du lac fausse les calculs basés sur les relevés limnimétriques de la seule station de BOL ".

CALCUL DE L'EVAPORATION DU LAC

M O I S	Lac Température Moyenne	Tension de vapeur satu- rée corres- pondante	Tension de vapeur DOUGUIA	F - f	E = 0,33 (F - f)	Bilan du Lac (Tableau 5)
Janvier	19,5	22	9	13	131	132
Février	20,0	23	9,5	13,5	124	135
Mars	27,1	35	13,2	21,8	220	184
Avril	28,0	37	15,2	21,8	214	156
Mai	28,6	39	14,0	25,0	253	193
Juin	30,8	45	20,5	24,5	240	234
Juillet	29,0	39	23,7	15,3	156	146
Août	28,6	39	25,5	13,5	136	171
Septembre	29,7	41	23,5	17,5	172	172
Octobre	28,0	37	14,0	23,0	232	327
Novembre	25,0	33	12,5	20,5	200	292
Décembre	22,0	25	8,5	16,5	166	143
	26,4	33,8	15,0	18,8	187	190

F = Tension de vapeur saturée à la température de l'eau du Lac

f = Tension de vapeur partielle moyenne calculée à DOUGUIA

$$E = \frac{2 \cdot 260}{365} = 6,2$$

m/m par jour

$$K = \frac{6,2}{18,8} = 0,33$$

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont assez concordants, sauf en avril-mai et en Octobre-novembre. Nous en avons donné l'explication plus haut par un léger basculement du Lac au renversement des vents dominants.

Le fait que les pertes totales évaporation + infiltration évoluent au cours de l'année, parallèlement aux facteurs météorologiques de l'évaporation, prouve bien que les pertes par évaporation sont prépondérantes.

.../...

Les pertes par infiltration ne dépendent que du niveau du Lac, or c'est précisément au moment où le niveau est le plus élevé, en Janvier, que les pertes sont les plus faibles. La valeur trouvée en Janvier est même si faible qu'un volume total de pertes mensuelles par infiltration égal à 1 mm/ jour, soit 3 cm par mois et probablement 30 cm par an est exclu. En Juin et Juillet, les valeurs déduites du bilan devraient être trop faibles, alors qu'elles sont exactement les mêmes que celles provenant de l'application de la formule. Le bilan hydrologique fournit donc une valeur par excès de l'évaporation avec une précision qui est probablement de 10% au moins.

Ces résultats sont très importants. Le Lac TCHAD constitue un réservoir expérimental de premier ordre qui permet d'approcher l'évaporation sur nappe d'eau libre de très grande étendue en zone soudanienne. Le bilan est tel que l'évaporation peut être calculée avec une précision suffisante. La tranche d'eau évaporée serait de 2,28 m par an. Nous avons constaté que la loi de DALTON appliquée avec le coefficient 0,33 était valable pour un réservoir de cet ordre.

3° / Comparaison des pertes du Lac avec les mesures d'évaporation sur bac colorado faites à BOL.

Comparons à titre de vérification cette valeur avec les données des bacs Colorado situés presque dans les eaux Lac de celles provenant d'un bac absolument soustrait au climat particulier qui résulte précisément de la quantité d'eau évaporée par cet immense réservoir.

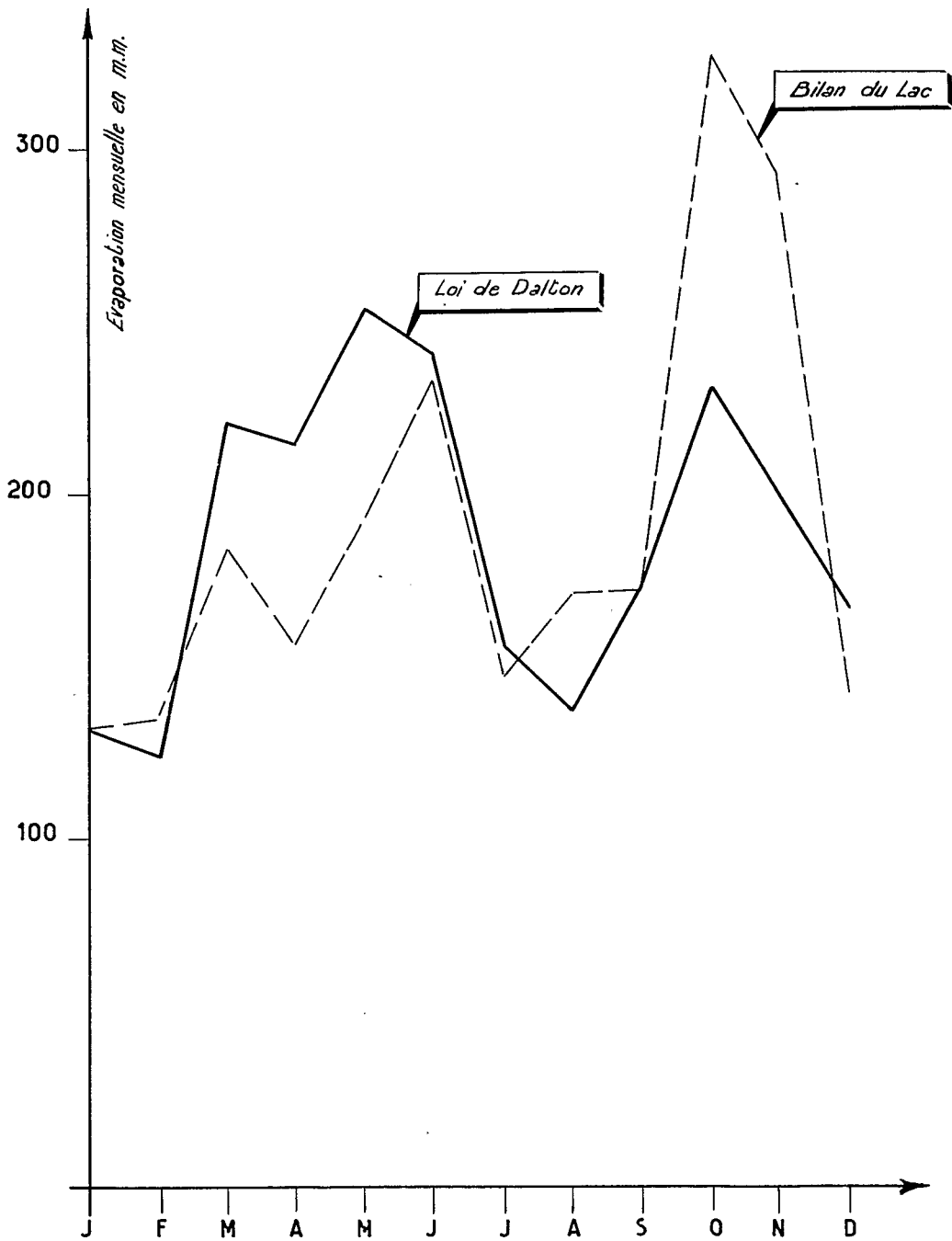
Les résultats à BOL sont consignés dans le tableau ci-dessous, en mm par jour.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BOL (dune)	9,8	10,1	12,2	10,8	11,9	8,5	6,9	5,2	5,6			
1956												
1957		10,8	12,1	12,6	9,6	9,6	7,8	8	7,8	9,7	9,9	9,6
BOL (île)												
1957	6	7,1	7,7	9,0	7,5	8,4	7,2	6,5	4,7	6,7	6,8	6,7
Lac (Bilan)												
1956	4,3	4,8	5,9	(5,2)	6,2	7,8	4,7	5,5	5,7	(10,5)	(9,7)	4,6

.../...

HAUTEURS D'EVAPORATIONS MENSUELLES SUR LE LAC TCHAD

Calculées par 1°) La loi de Dalton
2°) Le bilan hydrologique



Les hauteurs d'eau évaporées annuellement sont les suivantes:

BOL (Dunes)	3 460 mm
BOL (île)	2 560 mm
Lac	2 280 mm

La comparaison entre évaporations mensuelles telles qu'elles résultent du bilan du Lac et évaporation du Bac BOL (île) rappelle beaucoup celle que nous avons effectuée avec les évaporations calculées.

Les variations sont parallèles sauf les deux anomalies d'avril, mai et octobre-novembre qui correspondent aux changements de direction des vents. (En fait, pour une année, donnée, l'anomalie porte sur 2 mois et non deux groupes de deux mois).

On constate qu'entre Bac Colorado installé dans le climat du Lac et le Lac, l'écart des évaporations est de l'ordre de 15 %, chiffre assez voisin de celui que nous avons trouvé au MALI.

Par contre, avec un bac situé en dehors de tout micro climat humide comme celui de BOL (dune), l'écart est de 50%. Autrement dit, le coefficient de réduction pour un bac présentant une telle situation serait de 66%.

Nous signalons qu'à la station de TIN ADJAR, dans la boucle du NIGER, nous avons trouvé sur bac Colorado une hauteur d'évaporation annuelle de 3 300 mm pour un climat légèrement moins aride que celui des dunes situées derrière BOL, le bac étant situé en dehors de tout micro climat humide.

On constate donc que pour le climat correspondant au 13 ° parallèle, au TCHAD, et au 14 ° parallèle, au NIGER, et 16° - 17° parallèle au SOUDAN et en MAURITANIE, il conviendrait de prendre pour passer des relevés sur Bac COLORADO à ceux obtenus sur un réservoir de surface infinie, un coefficient de réduction de 66% pour un Bac COLORADO situé en dehors de tout micro-climat humide et de 85 à 90 % pour un Bac COLORADO situé en micro-climat très humide toute l'année.

Ce coefficient est encore plus voisin de 1 s'il s'agit de retenue de faible superficie.

C'est précisément la difficulté du choix de ce coefficient, lequel suppose une connaissance parfaite des conditions d'implantation, qui est à l'origine de la mauvaise réputation de ces appareils.

Une première application de ces données a été la reconstitution des niveaux du Lac TCHAD depuis 1932 en utilisant les relevés de crue du CHARI à FORT-LAMY et les précipitations à BOL et N'GUIGMI.

4°/ - Variations annuelles des facteurs de l'évaporation

a) Température du Lac

En 1908, le Général TILHO a relevé la température du Lac à BOL. Les plus basses températures ont été observées en Janvier à 6 Heures (15°) et les plus fortes en Septembre à 18 Heures (33,6°).

Depuis le 15 Janvier 1956, le lecteur de la station météorologique de BOL mesure la température des eaux du Lac à 6 - 12 et 18 heures.

La température superficielle est relevée à une distance du rivage telle que la profondeur soit supérieure à 1 mètre. Les lectures, interrompues à partir du 1^{er} Octobre, ont repris en Février 1957.

Les plus basses températures ont été enregistrées en Janvier (minimum 15 ° à 6 h) et les plus fortes en Juin (maximum 33,2° à 12 H).

La température du Lac reste en toutes saisons relativement modérée. Ceci est dû à la forte perte de chaleur par évaporation qui est favorisée pendant la saison la plus chaude par les vents très secs du Nord-est.

.../...

B O L

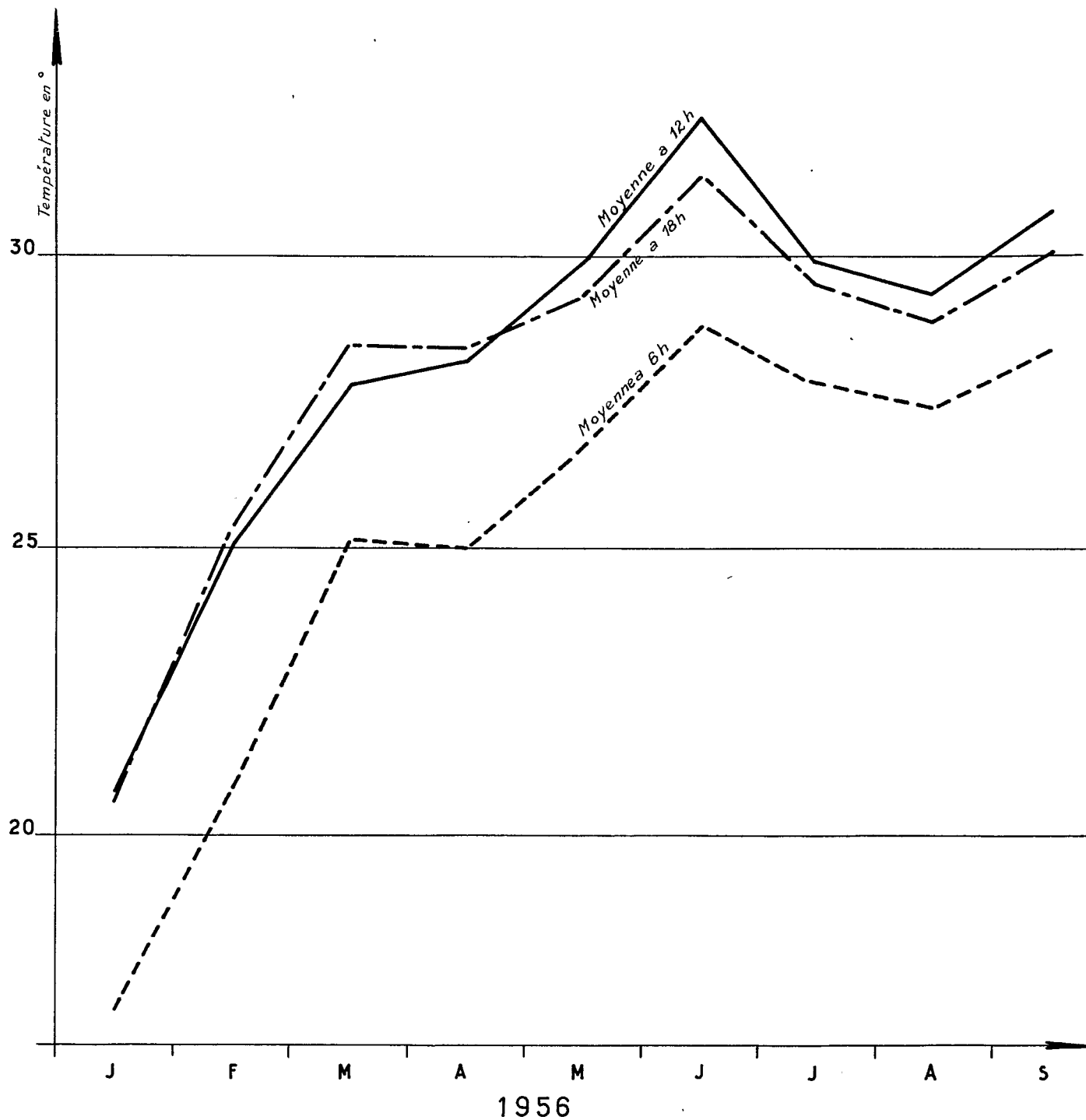
MOYENNE DE TEMPERATURE - EAU DU LAC

1956

MOIS	6 H	12 H	18 H	Minimum absolu	Maximum absolu	Moyenne Amplitude Journ.
JANVIER	17,0	20,8	20,7	15°	22,5°	3,8°
FEVRIER	20,8	25,0	25,2	17°	28,8°	4,4°
MARS	25,1	27,8	28,4	23°	30°	3,3°
AVRIL	25,0	28,2	28,4	23,6°	30,2°	3,4°
MAI	26,7	29,9	29,3	25°	33	3,2°
JUIN	28,8	32,4	31,4	27,2°	33,2°	0,6°
JUILLET	27,8	29,9	29,5	27°	32,5°	2,1°
AOUT	27,4	29,4	28,9	26°	31,5°	2,0°
SEPTEMBRE	28,4	30,8	30,1	26°	32°	2,4°

VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU DU LAC TCHAD

Gr. XI



b) - Vents

Ils ont été étudiés au poste météorologique de BOL. Nous présentons ci-après le tableau donnant les fréquences des jours de vent pour les huit secteurs et pour les trois observations journalières à 6 h. 12 h. et 18 h.

Un tableau récapitulatif donne la somme des fréquences correspondant à ces trois observations.

Sur deux autres tableaux, nous avons reporté, d'une part, les vitesses moyennes journalières et, d'autre part, les vitesses maxima.

Il ressort de l'examen des deux premiers tableaux que deux catégories de vents se superposent :

- un vent local : brise venant du Lac qui se lève le soir, sauf en Janvier et Février
- les vents dominant dans ces régions sahéliennes :
- l'harmattan de secteur nord-est, en novembre, décembre, janvier, février, mars et avril.
- la mousson de mai à octobre de secteur sud-ouest. Le passage de l'harmattan à la mousson s'est effectué dans le courant du mois d'avril en 1957. L'arrivée de l'harmattan a eu lieu courant octobre en 1957.

Ce sont ces deux passages entre vents dominants qui donnent lieu à un léger basculement de la surface du Lac, basculement auquel se superposent de courtes variations locales du niveau dues à des coups de vent de courte durée.

Les vitesses du vent ont fait l'objet de deux tableaux. L'un, celui des moyennes journalières, est peu significatif ; ces moyennes journalières varient entre 3 et 7,2 m/sec. Ces moyennes sont très éloignées des moyennes réelles telles qu'elles ressortiraient de l'examen des relevés d'un enregistreur : les périodes de calme sont probablement situées en dehors des trois observations journalières. Cependant, la moyenne telle qu'elle est calculée montre que les vents soufflent régulièrement tous les jours avec des vitesses assez fortes. Le site de BOL (dune) serait excellent pour une centrale éolienne. Cette grande fréquence des

vents avec des vitesses notables explique la valeur élevée trouvée pour le bac évaporatoire installé sur la dune.

Le second tableau donne les maxima journaliers. Ils se produisent généralement vers le milieu de la journée avec des vitesses variant de 8 à 13 m/sec en saison sèche. De façon générale, les maxima sont moins élevés en saison des pluies; mais on y rencontre quelques valeurs isolées très fortes correspondant aux tornades.

Les maxima sont faibles en Novembre. Notons que la plupart des pointes violentes mais de très courte durée échappent à ces observations.

DIRECTION DES VENTS
A LA STATION DE BOL (Dunes)
EN 1957

Observations brutes - fréquences

M O I S	6 H								12 H								18 H								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
JANVIER																									
FEVRIER	1	22	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	3	14	0	0	0	3	0	1	65
MARS	3	22	1	2	0	0	0	2	3	20	0	5	0	0	0	3	3	8	0	1	15	0	0	3	93
AVRIL	1	19	0	2	0	2	2	1	0	6	1	11	0	9	0	3	0	4	0	0	0	12	9	3	90
MAI	0	1	0	3	1	9	6	4	0	0	0	2	4	19	4	2	1	0	0	1	3	16	2	1	93
JUIN	0	0	0	3	3	18	5	1	0	0	0	0	1	17	10	1	0	0	0	1	17	6	1	90	
JUILLET	0	0	0	2	3	13	8	5	1	0	0	0	0	14	6	10	0	1	0	2	1	13	6	3	93
AOUT	1	0	0	1	2	13	5	5	0	1	0	0	1	11	10	7	0	1	0	0	1	6	4	8	93
SEPTEMBRE	0	2	0	3	2	14	0	0	0	0	0	1	3	20	2	0	0	1	0	0	5	8	4	2	90
OCTOBRE	1	9	1	0	2	10	0	2	1	4	2	6	0	17	0	0	0	2	0	1	2	21	2	1	93
NOVEMBRE	4	20	2	0	2	0	0	2	0	14	1	13	0	2	0	0	2	2	0	1	0	14	10	1	90
DECEMBRE	3	17	0	1	0	0	0	8	4	20	0	5	0	1	0	1	6	8	0	0	0	12	2	3	93

DIRECTION DES VENTS
A LA STATION DE BOL (Dune)

EN 1957

Récapitulation des trois lectures journalières

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Nul	Total
JANVIER										
FEVRIER	4	56	0	0	0	3	1	1	0	65
MARS	9	50	1	7	1	15	0	8	2	93
AVRIL	1	29	1	13	0	23	11	7	5	90
MAI	1	1	0	6	8	44	12	7	14	93
JUIN	0	0	0	4	5	52	21	3	5	90
JUILLET	1	1	0	4	4	40	20	18	5	93
AOUT	1	2	0	1	4	30	19	20	16	93
SEPTEMBRE	0	3	0	4	10	42	6	2	23	90
OCTOBRE	2	15	3	7	4	48	2	3	9	93
NOVEMBRE	6	36	3	14	2	16	10	3	0	90
DECEMBRE	13	45	0	6	0	13	2	12	2	93

MOYENNE JOURNALIERE DE
 LA VITESSE DU VENT A BOL (Dune)
 EN 1957

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		6,1	2,7				4,4	4,2	4,2	4,1	4,2	4
2		5,4	2,1				4,2	6,8	4,4	8,6	4,8	4,1
3		5,9	3,2				3,8	5,6	6,3	5,6	3	4
4		6	3,4				4,8	5,4	5,3	5,1	2,7	4,8
5		4,9	4,5				4,1	4,3	6	5	4,9	5,5
6		4,6	5,3				4,6	5,2	4,3	5	4,7	5,1
7		4,8	4,2				4,8	5,9	3,7	4,2	4,9	5,3
8		6,3	3,3				5,3	5	4,4	4,3	4,7	5,1
9		6	3,7				5,3	7,2	3,8	5,1	3,9	5,5
10		6	3,7				6,2	6,8	3,2	6,2	3,6	5
11		5,1	2,9				5,7	5,2	5,4	4,5	5,4	5,2
12		5	2,8				5,1	5	3,3	4,4	4,4	5,4
13		5,2	3,6				5,5	4,8	4,7	5,1	5	4,3
14		5,3	4,3				5,3	5,2	6,3	4,3	4,8	5,4
15		4,7	4,8				5,1	5,4	4,4	4,4	4,5	4,8
16		3,5	3,8				5,5	5,5	3,7	4,8	4,6	4,4
17		3,9	3				5,7	5,3	4,4	4,7	4	4,2
18		4,8	5,1				4,4	4,9	4,3	4,7	3,9	5,1
19	3	4,2	5,3				4,8	4,8	4,7	4,4	3,7	5,6
20	3	4,9	3				6	5,1	3,4	4,6	4,5	5,2
21	4,6	3,5	3,9				6,3	5,3	4	4,9	4,6	5,5
22	4,8	4,1	4,7				5,5	5,4	5	4,7	4,5	6
23	3,9	4	5				5,8	4,5	4,2	4	4,1	5,9
24	4	4,8	4,7				6,3	4,9	3,6	4,6	4,2	6,7
25	3,7	4,9	5				5,8	4,6	4,1	3,6	4,2	5,1
26	2	4,1	3,5				5	5,1	3,3	3,7	4,3	4,6
27	2,9	3,5	3,5				5,3	4,8	4,1	4,4	4,5	4,9
28	4,2	3,1	3,5				4,1	6,2	5,5	4,3	4,1	5,5
29	3,9		4,9				3,7	4,4	4,7	4,8	4,1	4,3
30	4,4		4,9				3,5	6	3,6	4,6	4,6	3,9
31	6		4				4,7	4,6		4,6		4,1

VITESSE MAXIMA DU VENT

A BOL (Dune)

en 1957

Jours	J	F	M	A	M	J	J	Λ	S	O	N	D
1		12,3	5,9				4,8	5,5	5	6,5	4,3	4,2
2		9,9	6,6				4,5	8	5,5	17	6	5
3		9,1	7,7				4	6,5	10,2	11,5	3,7	4
4		12,1	7,8				6	6	8	6	4	6
5		10,1	8				4,7	5	10	7	8	6,8
6		9	9,8				5,4	6	6	6	7	6
7		9	8,8				5,5	6,6	4,4	5	6,7	7,7
8		11,3	7,5				6	5,2	5	5	5,3	7
9		11,9	9,1				5,8	10	4,0	6	4	6,6
10		13,7	8,8				8	10	3,3	7,5	4	7
11		11,1	6,7				6,7	5,6	9	5	9	6,5
12		10	6,9				6,5	5,2	4	4,7	4,4	6,2
13		9,5	9,3				6,2	4,8	6	5,3	7	4,4
14		9,9	9				5,5	5,9	9	4,7	6	8,2
15		9,2	8,4				5,8	5,7	5,2	5,4	6	6,3
16		7,4	8				6,4	6,5	4,6	6,6	4,6	4,5
17		8	6,6				6	5,5	5	5,4	4,5	4,3
18		8	9				4,8	5	5	5,6	4,3	6,7
19	5,7	7,7	10,7				5,3	5,2	6	4,7	3,7	7
20	9	8,6	7,5				6,5	5,4	4,1	5	6	7
21	10	9	7,8				6,7	5,5	4,5	6,2	6	7,8
22	9,6	8,2	11,3				6	6,5	6	6,2	6	8,7
23	7,1	7,5	12,9				7,3	4,8	5,5	4,2	5	8,4
24	9	10	9,1				7	5,5	5	5	6	9,1
25	7,7	9,5	11				7	5	6	4	4,6	6,8
26	3	9,5	8,5				7	5,5	3,7	4,5	5,3	5,8
27	7,1	9	6,1				7	5	5,5	4,5	5	6
28	7,8	7,5	7				5	8	7,4	4,6	4,8	8,2
29	8,8		8,0				5	5	4,8	6	5	4,4
30	8,2		7,8				5,6	7,6	5	6	6,2	4
31	10,3		7,2				5,5	5		5		4,4

c) Nébulosité

Elle est assez bien représentée par les relevés de MAO, poste assez voisin dont nous donnons ci-dessous les relevés correspondant à l'année 1953, des jours à ciel clair et à ciel couvert.

NEBULOSITE

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert
6 H	13	0	18	0	5	0	12	0	3	0	3	0
12 H	13	1	19	0	9	1	10	0	1	2	1	1
18 H	17	0	16	0	11	0	99	0	2	2	1	0
	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert	Ciel clair	Ciel couvert
6 H	1	3	0	5	0	0	2	0			10	0
12 H	0	1	0	2	1	0	3	0			9	0
18 H	0	1	0	4	0	0	0	0			33	0

La nébulosité est très faible sauf pendant la saison des pluies - (Juillet et Août) - Le minimum de nébulosité se produit en Février.

II) ESSAIS DE RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC TCHAD DEPUIS 1870 -
VARIATIONS DE L'HYDRAULICITE -

L'existence du Lac TCHAD résulte d'un équilibre entre les pertes par évaporation et les apports du Lac TCHAD augmentés des précipitations sur le lac lui-même. Dans le chapitre précédent, nous avons examiné comment variaient les différents facteurs de cet équilibre. Connaissant ces divers éléments, il nous est donc possible, par le bilan hydrologique, de reconstituer les niveaux du Lac en dehors des périodes d'observation. Nous pourrions ainsi, avec une période d'observation plus longue, étudier les variations de l'hydraulicité du Lac.

A) EXAMEN DES TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE

a) Evaporation :

L'étude de l'évaporation a montré que les variations annuelles sont faibles, alors que les trois années étudiées correspondent à des niveaux très différents du Lac et à des proportions différentes d'eaux libres et de zones encombrées de végétation. Les études sur Bac Colorado ont montré que l'influence de la végétation est faible ; si elle est vigoureuse, l'évaporation est plus forte que sur nappe d'eau libre ; si par contre la végétation est de faible hauteur, l'évaporation est probablement plus faible. Il y a donc des compensations qui conduisent à des résultats semblables " avec ou sans végétations ".

D'autre part, les mesures de températures du Lac faites par le Général TILHO en 1908 pour un niveau du Lac très bas, conduisent aux mêmes moyennes que celles effectuées en 1958. Ceci prouve que les conditions climatiques ont peu changé depuis 50 ans et que la température superficielle du Lac n'est pas sensible aux variations de niveau.

On peut donc admettre que la hauteur de la tranche évaporée sur le Lac est constante et égale à 2 m28.

b) Précipitations sur le Lac :

Ce n'est que pour 1956 que nous disposons de données précises grâce à 10 Stations réparties sur le Lac. Antérieurement, n'existaient que les

.../...

relevés de BOL et de N'GUIGMI. MAIDUGURI ne peut être utilisé que pour effectuer des corrections. Un certain nombre de relevés de BOL manquent. Or, une seule station est insuffisante ; indépendamment des erreurs d'observation, des précipitations de caractère insolite, très localisées, risqueraient de fausser les calculs. Il est évident, par exemple, que les précipitations extraordinaires de 1954 (717 mm à BOL) n'ont intéressé qu'une surface très restreinte. Enfin, les précipitations n'ont pas été relevées antérieurement à 1908 pour BOL, 1921 pour N'GUIGMI.

Nous pouvons, sans grand risque d'erreur, comme nous l'avons vu plus haut, admettre que les précipitations sur le Lac correspondent à 125 % de la moyenne arithmétique de BOL et de N'GUIGMI.

Pour les périodes où seuls existent les relevés de N'GUIGMI, on peut admettre que les précipitations à BOL sont égales à 142 % de N'GUIGMI, de sorte que la hauteur moyenne de précipitation sur le Lac serait de 121×125 , soit 151 % celle de N'GUIGMI. Mais ce chiffre n'est basé que sur une seule station, c'est à dire que sa valeur moyenne sur un bon nombre d'années serait acceptable, par contre les valeurs isolées sont données sous toutes réserves.

Pour le cas où seuls existent les relevés de BOL, on peut admettre que la hauteur de précipitation sur le Lac est égale à 110 % de celle de BOL.

Enfin, en l'absence de tous renseignements, nous ne pouvons utiliser que la valeur médiane des précipitations sur le Lac, soit 280 mm, nettement inférieure à la valeur moyenne : 330 mm. L'emploi de la médiane est préférable pour la période 1900-1932. Pour la période antérieure, il est préférable de prendre 330 mm (il serait encore mieux pour ces années de très forte hydraulicité d'adopter la moyenne 1953-1956, soit 440 mm).

Les résultats seront assez aléatoires pour les derniers cas : relevés à une seule station ou pas de relevés. Mais le fait d'utiliser des données pluviométriques imprécises ne peut pas avoir de très graves conséquences, puisque les précipitations sur le Lac ne représentent que 12 % des apports.

c) Les apports des tributaires :

Nous avons vu plus haut que nous pouvions baser notre étude uniquement sur les résultats du CHARI à FORT-LAMY.

Suivant le volume de la crue et la surface du Lac (donc de son niveau), la tranche correspondant aux apports varie de 1,60 m à 2,50 m.

Pour équilibrer exactement l'évaporation déjà compensée pour les pluies, on voit d'après les chiffres précédents que cette tranche d'eau devrait être : (0,28, valeur médiane des précipitations).

$$2,28 - 0,28 = 2 \text{ m}$$

Cette tranche correspond à un apport d'eau du CHARI différent suivant le niveau du Lac, volume que l'on peut rapporter au débit maximum, car les crues du CHARI étant très régulières, il y a un rapport sensiblement constant entre ces deux caractéristiques.

Nous donnons ci-dessous les valeurs de ce débit, en fonction de différentes cotes.

NIVEAU D'EQUILIBRE DU LAC
EN FONCTION DU DEBIT DE CRUE DU CHARI

Niveau	Volume	Débit maximum	Surface du lac en Km ²
281,00	34 × 109	3 240 m ³ /s	17 000 Km ²
281,50	39,2 "	3 740 "	19 600 "
282,00	42 "	4 000 "	21 000 "
282,50	45 "	4 290 "	22 500 "
283,00	47,2 "	4 500 "	23 600 "
283,50	48,4 "	4 600 "	24 200 "

.../...

B) ETUDE CRITIQUE DES CRUES DU CHARI DE 1933 à 1955

Le contrôle des résultats obtenus à l'aide des relevés limnimétriques peut être effectué à partir de trois ensembles de données indépendantes de ces relevés.

1°) Les témoignages directs et parfois chiffrés sur l'importance des crues.

2°) Les relevés limnimétriques relatifs aux principaux affluents

3°) Les relevés pluviométriques.

1°) La première catégorie de documents particulièrement intéressante n'intervient guère que pour la crue de 1938 pour laquelle un rapport administratif fournit des éléments de comparaison précieux avec la crue de 1946.

2°) Les relevés aux stations de MOUNDOU ou LAI, MOISSALA et FORT-ARCHANBAULT ont permis d'effectuer à partir de 1953 des études très poussées sur le régime du LOGONE et du CHARI. Ces études comportaient des comparaisons du régime de l'amont à l'aval. Ces bilans ont permis d'effectuer toutes vérifications utiles sur les relevés du CHARI à FORT-LAMY.

De 1950 à 1953, les relevés à cette dernière échelle présentent des lacunes très importantes, alors qu'en général les stations situées à l'amont ont pu être observées. Pour les 3 années 1950 - 1951 - 1952, les modules ont été reconstitués de la façon suivante : Pour chacune des stations l'hydraulicité de l'année a été estimée à partir de la moyenne de la période 1950-1956. En admettant que l'hydraulicité à FORT-LAMY corresponde à la moyenne de ces 3 stations et en partant du module moyen de la période 1953-1956 à FORT-LAMY, on peut déterminer les modules à cette station de 1950 - 1951 - 1952, soit respectivement 1400 m³/s - 1 100 m³/s - 1 200 m³/s. On constate en utilisant ces chiffres que la moyenne 1950-1956 à FORT-LAMY est voisine de la moyenne 1953-1956, ce qui justifie à posteriori notre façon de procéder simpliste.

Avant 1950, les relevés aux 3 stations amont sont très fragmentaires cependant ils permettent de lever un doute relatif aux années 1940 - 1941, dont les débits tels qu'ils ressortaient des relevés à FORT-LAMY semblaient anormalement faibles. Or, par un heureux concours de circonstances, les crues ont été observées à la fois aux 3 stations en 1940. Les hydraulicités partout très faibles conduiraient à une moyenne légèrement inférieure à l'hydraulicité correspondant au module de 1940

.../...

à FORT-LAMY tel qu'il ressortait des relevés suspects.

3°) Les relevés pluviométriques pourraient permettre, s'ils étaient complets, un sérieux contrôle, mais dans le cas présent ils ne peuvent qu'apporter des recoupements supplémentaires.

En effet :

1°) La corrélation est assez lâche entre moûles et précipitations annuelles comme l'ont montrées les diverses études faites à ce sujet en Afrique Tropicale, ainsi que l'examen des relevés de 1946 - 1950 - 1951 - 1952 - 1953 - 1954 et 1955 (années pour lesquelles les données pluviométriques sont suffisantes). La raison de cette dispersion est l'influence de la répartition des pluies au cours de la saison, sur le coefficient de ruissellement, ainsi que l'importance variable des pertes suivant la forme particulière des hydrogrammes des stations amont.

2°) Pendant longtemps les relevés pluviométriques en A.E.F. et au CAMEROUN n'ont été effectués qu'à un nombre de stations tout à fait insuffisant.

De très nombreuses stations du TCHAD n'ont pas à intervenir dans l'étude. Les variations de volume de la crue du CHARI dépendent surtout des précipitations sur les bassins du BAHR SARA, du GRIBINGUI et du BAMINGUI : En effet, les apports du LOGONE, considérablement écrétés dans les plaines de son cours moyen, varient assez peu d'une année à l'autre. Les apports du BAHR AOUK, du BAHR KEITA et du BAHR SALAMAT sont laminés par des épandages encore plus importants.

Enfin, dans le nord du bassin, il n'y a plus d'affluent dès la latitude de BOUSSO.

C'est donc la pluviosité du Sud du bassin qu'il faudrait connaître. Malheureusement, cette région a été assez mal pourvue en poste pluviométrique pendant longtemps : Alors qu'en 1946 et depuis 1950 on disposait de 16 stations, leur nombre tombe de 16 à 8 pendant la période 1939-1945 à 3 ou 4 de 1937 à 1939 et à 2 ou 3 de 1933 à 1937, ce qui est tout à fait insuffisant.

On trouvera dans les trois tableaux ci-après les précipitations moyennes de 1946, 1950 à 1955 :

.../...

Le premier tableau concerne les stations du TCHAD, le second celles de l'OUBANGUI et du CAMEROUN, le troisième, tableau récapitulatif, fournit la moyenne des précipitations sur le bassin supérieur. Le quatrième tableau concerne la période 1933-1949 pour laquelle les données sont beaucoup plus imprécises par suite du faible nombre de stations.

A l'aide de ces quatre tableaux, nous avons établi à la page 97 un cinquième tableau qui donne le classement des 16 années pour lesquelles il semble possible de fournir une valeur de la hauteur de précipitations moyennes sur le bassin supérieur.

Nous n'avons pas tenu compte des années 1933 - 1934 - 1935 - 1936 et 1946.

HAUTEUR DE PRECIPITATIONS MOYENNES SUR LE BASSIN DU CHARI

(Période 1946 à 1955)

Stations du CAMEROUN et de l'OUBANGUI

	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
N'GAOUNDERE	1 581	1 513	1 878	1 366	1 357	1 594	1 467	1 557	1 694	1 543
MEIGANG	1 225			1 966	1 279	1 640	1 870	1 584	1 956	1 445
BOCARANGA								1 977		1 694
BOUAR	1 246				1 386	1 685	1 801	1 231	1 617	2 072
BOZOOM	1 904	1 972	1 936	1 480		1 267	1 539	1 323	1 706	1 434
BOSSANGO	1 491					1 227	1 352	1 413	1 441	1 776
BOUCA	1 864	1 614			1 350	1 422	1 397	1 209	1 383	1 640
BATANGAFO	1 255	1 535	1 434	1 253		1 316	1 059	1 085	1 904	1 533
FORT CRAMPEL	1 697	1 429	1 449	1 483		1 415	(1 538)	1 377	1 174	1 594
N'DELE				1 057	1 362	1 473	1 213	1 476	1 165	1 576
TOTAUX B	12 263	8 063	6 697	8 605	6 734	13 236	13 236	14 232	14 040	16 307

HAUTEUR DE PRECIPITATIONS MOYENNES SUR LE BASSIN DU CHARI

(Période 1946 à 1955)

Stations du TCHAD

	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
MOUNDOU	1 335	1 323	898	1 020	1 132	1 557	1 037	851	1 192	1 096
PANDZANGUE	1 341	1 347	1 180	1 375	1 517	1 275	1 295	1 135	1 532	1 484
DOBA	1 128	1 199	1 208	867	871	1 019	1 163	1 288	1 349	1 450
BAIBOKOUM	1 306	1 377	1 031	1 251	1 572	1 627	1 268	1 157	1 455	1 388
Ft ARCHAMBAULT	1 256	1 007	1 219	1 142	1 452	1 171	1 127	851	1 200	1 210
MOISSALA	1 132	1 260	1 026		1 275	980	1 033	1 294	1 123	1 150
TOTAUX A	7 498	7 513	6 562	5 655	7 819	7 629	6 923	6 576	7 851	7 778

HAUTEUR DE PRECIPITATIONS MOYENNES SUR LE BASSIN DU CHARI

Période 1946 à 1955

	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
TOTAUX A & B	19 761	(20 400)	(19 956)	(17 155)		20 668	20 159	20 808	21 891	24 085
Moyennes	1 411	(1 450)	(1 420)	(1 320)	(1 331)	1 378	1 344	1 300	1 459	1 505

HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES SUR LE BASSIN DU CHARI

(Période 1933 à 1949)

	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1949
STATIONS TCHAD														
PANDZANGUE							1 453	888	1 128	1 378		1 173	1 361	
MOUNDOU	1 350	1 670	1 284	1 329	1 040	1 064	1 803	1 069	1 127	1 132	1 252	883	1 342	
Ft ARCHAMBAULT						1 474		999	876	1 209	1 100	1 204	1 364	
MOISSALA					1 136	1 169	1 130	994	874	996	1 266	1 445	1 283	
TOTAL					2 176	3 707	4 386	3 950	4 005	4 715	3 618	4 705	5 353	
Moyenne M1	1 350	1 670	1 284	1 329	1 088	1 236	1 462	987	1 001	1 179	1 206	1 176	1 338	1 179
STATIONS OUBANGUI-CAMEROUN														
N'DELE	1 293		1 416		1 225	1 154	1 357	1 098	1 142	1 082	1 183	1 303	1 206	
BOUCA	1 827	1 309		1 343	1 305	1 251	1 469	1 270	1 335	1 606	1 328	1 318	1 221	
BOUAR			1 527		913	1 424	1 393	1 182	1 138	1 446	1 434	1 704	1 053	
N'GAOUNDERE	1 723		1 684	1 680	1 276	1 508		1 434	1 534	1 226	1 596	1 386	1 217	
TOTAL	4 843		4 627	3 023	4 719	5 337	4 219	5 034	5 149	5 360	5 541	5 711	4 697	
Moyenne M 2	1 614	1 309	1 542	1 511	1 180	1 334	1 406	1 258	1 287	1 340	1 385	1 427	1 174	
M 1 + M 2	4 578	4 228	4 368	4 351	3 448	3 904	4 274	3 503	3 575	3 859	3 976	4 030	3 686	
Moyenne	1 526	1 429	1 456	1 450	1 149	1 301	1 424	1 167	1 191	1 286	1 325	1 343	1 228	

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS ANNUELS DU CHARI
ET DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MOYENNES

(Période 1937 - 1955)

ANNEE	Hydraulicité (1)	Classement des modules annuels	Classement des précipitations annuelles	OBSERVATIONS
1955	148 %	16	16	
1954	135 %	15	15	
1953	111 %	11	7	
1952	108 %	10	11	
1951	99 %	7	12	(2)
1950	126 %	13	9	
1946	131 %	14	13	
1945	101 %	7	4	
1944	93%	5	11	(3)
1943	104	9	9	
1942	91	4	5	
1941	67	1	3	
1940	79	2	2	
1939	104	9	14	(4)
1939	122	12	7	
1937	85	3	1	

(1) Période de référence (1933-1945)

(2) Fortes précipitations à MOUNDOU et BAIBOKOUM, sans répercussion à FORT-LANY

(3) Précipitations très fortes à BOUAR, faussant la moyenne

(4) Fortes précipitations à MOUNDOU et PANDZANGUE sans répercussion à FORT-LANY.

Nous avons supprimé également les années 1947 - 1948 et 1949 pour lesquelles les données pluviométriques sont tout à fait insuffisantes.

Une certaine corrélation se dégage :

En particulier, il y a bien concordance pour les années très sèches : 1937, 1940 et 1941 et les années fortes ou très fortes : 1946, 1952, 1954 et 1955. Il y a désaccord pour les années 1939, 1950 et 1951 et surtout pour 1951 et 1938. Mais, sauf pour 1939, nous avons des preuves suffisantes par ailleurs de l'exactitude de nos tableaux de débit. Il est logique que l'année 1941 succédant à une année déjà sèche corresponde à des débits plus faibles que ne l'indiquerait le classement des précipitations.

Dans l'ensemble, l'étude des précipitations, malgré certaines discordances entre précipitations et débits, fournit des recoupements utiles surtout pour les années sèches 1937 - 1940 - 1941.

Il reste une lacune assez difficile à combler : l'année 1947.

Nous savons que sur le LOGONE cette crue a été inférieure à celle de 1948. La moyenne pour les stations pluviométriques du TCHAD correspond sensiblement à la valeur médiane. Pour l'OUBANGUI elle semble supérieure à la moyenne, mais les résultats sont peut-être faussés par la valeur exceptionnellement forte de BOZOUHI. La moyenne qui en résulte serait supérieure à celle de 1946, ce qui est impossible ; ce qui est certain c'est que la crue n'est pas inférieure à la moyenne. Nous admettrons, dans ces conditions, que dans la classification des modules, l'année 1947 correspond à la médiane, ce qui conduirait à une hydraulicité de 100% par rapport au module 1953 - 1955, soit un module de 1 100 m³/sec. correspondant à un maximum de 3 500 m³/sec. environ.

Cette étude critique confirme donc dans l'ensemble la valeur des relevés de débits du CHARI, base essentielle de notre étude, et permet de combler quelques lacunes.

.../...

C) COMPARAISON DES CRUES DU CHARI AVEC CELLES DU NIL ET DU NIGER

Nous possédons les relevés des hauteurs du NIGER de 1908 à 1955 et ceux du NIL de 1870 à 1945.

Il a déjà été constaté certaines analogies entre les fluctuations des débits du NIGER et du NIL sur une longue période. Nous avons estimé qu'il serait intéressant de comparer l'hydraulicité du CHARI à FORT-LAMY pour une période commune d'observation. Pour cela, nous avons évalué l'hydraulicité de chacun des trois cours d'eau par rapport au module interannuel de la période d'observation commune 1933 - 1945. Nous avons porté les résultats dans le tableau ci-après. Ce tableau met en lumière les faits suivants :

La concordance est assez bonne entre le NIL et le CHARI. En effet, sur 13 années d'observations communes, il n'y a pas concordance pour deux années : 1935 et 1936. La concordance est médiocre en 1937, mais elle est bonne pour 10 années et même très bonne pour certaines. Bien entendu, comme le bassin du CHARI est beaucoup plus petit que le bassin du NIL, les valeurs extrêmes s'écartent beaucoup plus de la moyenne dans le premier cas que dans le second. C'est probablement d'ailleurs pour cette raison que la concordance est si mauvaise en 1936. On trouverait peut-être des résultats analogues pour 1955.

La correspondance avec le NIGER est moins bonne de façon générale. Les valeurs extrêmes s'écartent autant de la moyenne que sur le CHARI, mais généralement le nombre de divergences est plus grand. C'est ainsi qu'il n'y a pas concordance en 1935 et que la correspondance est médiocre pour cinq années parmi lesquelles les divergences sont notoires en 1941, 1942 et 1944.

Il est assez curieux de remarquer que l'année très faible sur le NIGER est l'année 1942, alors que sur le CHARI c'est l'année 1941. Mais on retrouve bien les mêmes séries d'années faibles et les mêmes séries d'années fortes sur les trois fleuves :

- série d'années assez fortes : 1933 à 1935
- série d'années faibles : 1935 à 1945

Si nous comparons le NIL et le NIGER pour les années antérieures à 1933, nous constatons toujours que, malgré des divergences notables pour certaines années, les groupes d'années faibles et les groupes d'années fortes sont sensiblement les mêmes.

Par exemple :

- Nous savons par de nombreux témoignages que la période 1890 - 1900 a été très forte sur les deux fleuves. Elle l'a également été sur le CHARI

- La période 1911 - 1914 a été très faible sur les trois fleuves. Les hydraulicités de l'année 1913, en particulier, ont été nettement plus faibles que celles observées en 1941 ou 1942. L'hydraulicité est assez bonne de 1914 à 1920.

De 1921 à 1930, les divergences sont très nettes sur les deux fleuves. L'hydraulicité du NIL est moyenne alors que celle du NIGER est très forte. Nous savons d'ailleurs que, même dans le bassin du NIGER l'hydraulicité des années 1924 et 1925 n'a affecté qu'une partie des bassins intéressés. Il s'agit peut-être d'un phénomène local qui intéresse surtout la côte occidentale d'Afrique.

De 1948 à 1956, nous sautons, à la fois sur le CHARI et sur le NIGER, à une période de très forte hydraulicité, les années les plus fortes étant toutefois différentes ; sur le NIGER c'est l'année 1951 et sur le CHARI c'est l'année 1956.

Etant donné que le niveau du Lac TCHAD est influencé plutôt par une série d'années humides que par une année humide particulière, il semble que nous ne commettrions pas d'erreur considérable en remplaçant, pour les années antérieures à 1933, les apports du CHARI par des apports reconstitués à partir du module 1933 - 1945 affecté de l'indice d'hydraulicité du NIL.

COMPARAISON DE L'HYDRAULICITE
Du NIGER, du NIL et du CHARI

Années	NIGER		NIL		CHARI	
	Hydraulicité	Classement	Hydraulicité	Classement	Hydraulicité	Classement
1933			101 %	5	105 %	5
1934	113 %	7	111 %	6	117 %	7
1935	111 %	6	119 %	7-8	92 %	4
1936	130 %	8	108 %	6	136 %	8
1937	100 %	5	99 %	5	85 %	2
1938	113 %	7	124 %	8	122 %	8
1939	105 %	5	92 %	4	104 %	5
1940	92 %	4	81 %	2	79 %	1
1941	94 %	4	78 %	1	67 %	1
1942	78 %	1	102 %	5	91 %	4
1943	93 %	4	97 %	4	104 %	5
1944	77 %	1	89 %	3	93 %	4
1945	94 %	4	96 %	4	101 %	5
1946	116 %				131 %	
1947	99 %					
1948	125 %				117 %	
1949	108 %				102 %	
1950	115 %				126 %	
1951	160 %				99 %	
1952	129 %				108 %	
1953	150 %				111 %	
1954	158 %				135 %	
1955	158 %				148 %	

COMPARAISON DE L'HYDRAULICITE
du NIGER, du NIL et du CHARI



Années	NIGER	NIL	CHARI
1871		137 %	
1872		142 %	
1873		118 %	
1874		148 %	
1875		142 %	
1876		142 %	
1877		100 %	
1878		151 %	
1879		168 %	
1880		140 %	
1881		122 %	
1882		115 %	
1883		136 %	
1884		122 %	
1885		125 %	
1886		118 %	
1887		145 %	
1888		98 %	
1889		118 %	
1890		140 %	
1891		135 %	
1892		148 %	
1893		141 %	
1894		153 %	
1895		155 %	
1896		150 %	
1897		126 %	
1898		135 %	
1899		95 %	
1900		103 %	
1901		107 %	
1902		85 %	
1903		115 %	
1904		101 %	
1905		86 %	
1906		113 %	
1907		85 %	

COMPARAISON DE L'HYDRAULICITE
DU NIGER, DU NIL ET DU CHARI

Années	NIGER	NIL	CHARI
1908	91 %	125 %	
1909	142 %	129 %	
1910	98 %	119 %	
1911	107 %	101 %	
1912	103 %	87 %	
1913	66 %	56 %	
1914	73 %	103 %	
1915	123 %	85 %	
1916	106 %	139 %	
1917	110 %	135 %	
1918	124 %	99 %	
1919	109 %	95 %	
1920	97 %	102 %	
1921	80 %	94 %	
1922	111 %	104 %	
1923	118 %	106 %	
1924	170 %	106 %	
1925	178 %	83 %	
1926	128 %	104 %	
1927	146 %	89 %	
1928	164 %	97 %	
1929	157 %	126 %	
1930	154 %	91 %	
1931	131 %	95 %	
1932	135 %	104 %	

D) ESSAIS DE RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC :

Le bilan hydrologique annuel du Lac peut se traduire par la relation suivante :

$$\frac{V}{S} + P - E = \triangle H$$

avec :

V = Volume des apports du CHARI
soit 35 milliards de m³
pour l'année moyenne de la période 1933 - 1945

Soit h l'hydraulicité d'une année donnée par rapport à cette moyenne

$$V = 35 \times 10^9 \times h \%$$

S = Surface moyenne du Lac TCHAD au cours de l'année considérée

Cette surface peut être déterminée à partir de la courbe des surfaces inondées présentée au chapitre II . Pour simplifier les calculs, nous avons remplacé cette courbe par une droite d'équation :

$$S \text{ m}^2 = 3,2 \times 10^9 (H \text{ m} - 275,60)$$

Hm = niveau moyen du Lac au cours de l'année.

La décrue étant en moyenne de 80 cm, le niveau moyen peut être obtenu en première approximation en retranchant 0,40 m du niveau maximum.

En appelant H ce niveau maximum

$$S \text{ m}^2 = 3,2 \times 10^9 (H - 276)$$

Si la hauteur moyenne descend au-dessous de 281,60 la courbe des surfaces inondées s'écarte très sensiblement de la droite dont l'équation a été donnée plus haut. Dans ce cas nous avons déterminé directement la hauteur moyenne d'après la cote au début de l'année, l'hydraulicité de l'année considérée et le sens de variation du niveau de la retenue résultant de l'hydraulicité de cette année et des années précédente et suivante . Il est parfois nécessaire de procéder par approximations successives.

P = Précipitations moyennes à la surface du Lac. Nous avons précisé plus haut dans quelles conditions avait été estimé ce facteur.

E = Evaporation annuelle estimée à 2 280 mm.

Nous avons vu précédemment que E variait peu d'une année à l'autre. On trouvera en annexe les tableaux de calcul établis à partir de cette relation. Pour l'estimation de l'hydraulicité, nous avons utilisé :

- les relevés du CHARI pour la période 1933 - 1958
- les relevés du NIL pour la période 1870 - 1958

Nous avons jugé inutile de refaire le calcul à partir des relevés du NIGER, malgré l'analogie entre les variations de l'hydraulicité de ce fleuve et du CHARI, il y a un certain nombre de divergences suffisantes pour que la reconstitution des niveaux du Lac TCHAD à partir de ces données conduisent à des écarts beaucoup plus grands que par utilisation des relevés du NIL.

Bien entendu, dans les deux cas, l'hydraulicité a été calculée à partir des moyennes de la période 1933 - 1945 sur les deux fleuves.

La relation traduisant le bilan hydrologique peut se simplifier. Elle peut s'écrire :

$$\begin{aligned}\Delta H &= \frac{V}{S} + P - E \\ &= \frac{35 \times 10^9 \times h}{3,2 \times 10^9 (H - 276)} + 0,28 - 2,28 \\ &= \frac{-10,9 h}{H - 276} - 2\end{aligned}$$

DISCUSSION : - Cette formule indique théoriquement que si h demeure constant, le niveau d'équilibre du Lac est :

$$H_e = \frac{10,9 h}{2} + 276$$

Donnons à H une valeur différente de H_e , on constate si h reste constant que H tend vers H_e en quelques années.

.../...

Supposons $h = 1$

$$H = 5,45 + 276$$

Si nous supposons qu'à l'instant T

$$H_1 = H_0 + 1 \text{ m} = 281,45 + 1$$

Nous obtenons à la fin de chacune des années qui suit cet instant T en supposant que la hauteur de précipitation moyenne sur le Lac reste constante et égale à 0,28 m

$\Delta H_1 = 1,69 - 2 = - 0,31$	$H_2 = 282,45 - 0,31 = 282,14$
$\Delta H_2 = 1,78 - 2 = - 0,22$	$H_3 = 282,14 - 0,22 = 281,92$
$\Delta H_3 = 1,84 - 2 = - 0,16$	$H_4 = 281,92 - 0,16 = 281,76$
$\Delta H_4 = 1,89 - 2 = - 0,11$	$H_5 = 281,76 - 0,11 = 281,65$
$\Delta H_5 = 1,93 - 2 = - 0,07$	$H_6 = 281,65 - 0,07 = 281,58$
$\Delta H_6 = 1,95 - 2 = - 0,05$	$H_7 = 281,58 - 0,05 = 281,53$
$\Delta H_6 = 1,97 - 2 = - 0,03$	$H_8 = 281,53 - 0,03 = 281,50$

au bout de 5 ans on retrouve le niveau 281,58 proche du niveau d'équilibre 281,45.

De même si H avait été inférieur à H_e le niveau se serait rapproché au bout de quelques années du niveau H_e correspondant à l'équilibre des pertes et des apports.

En conséquence, si la valeur de l'hydraulicité d'une année particulière s'écarte résolument de la valeur exacte, l'erreur se reportera sur toute la série calculée, mais elle sera atténuée progressivement. Par exemple, une erreur de 50 %, erreur énorme étant donné la bonne corrélation entre débit du NIL et du CHARI, conduirait sensiblement à une erreur de 1 m sur H, mais au bout de 5 ans l'influence de cette erreur se réduirait à 10 cm environ.

On comprendra donc que nous pouvons obtenir des résultats cohérents bien que les débits du CHARI et du Nil ne soient pas en parfaite concordance. En fait, la concordance entre débit reconstitué à partir de l'hydraulicité du NIL et débits reconstitués à partir de l'hydraulicité du CHARI est très bonne, ce qui justifie notre extrapolation pour la période antérieure à 1933.

.../...

Nous avons reporté sur le même graphique :

- les niveaux du Lac reconstitués à partir de l'hydraulicité du CHARI.
- les niveaux du Lac reconstitués à partir de l'hydraulicité du NIL
- les niveaux du Lac tels qu'ils ont été observés.

Nous avons supposé qu'à la fin de 1870 le niveau du Lac était à la cote 284,25, ce qui correspond sensiblement aux observations de NACHTIGALL.

La concordance entre niveaux observés et niveaux reconstitués à partir du niveau du CHARI est très bonne, ce qui est assez normal. Il y a quelques petites divergences : par exemple le niveau reconstitué baisse légèrement de 1956 à 1957, alors qu'en réalité il a continué de monter, ceci tient à 3 approximations : l'évaporation s'applique à une superficie constante toute l'année, correspondant à la cote moyenne, la détermination de cette cote moyenne est un peu simpliste et peut dans certains cas, donner lieu à des écarts notables avec la cote moyenne réelle, enfin la courbe des surfaces inondées n'est pas très facile à dresser de façon précise (voir la carte du Lac).

Il semble que ces divergences soient plus fortes pour les faibles niveaux du Lac pour lesquels le passage de la partie Sud à la partie Nord du Lac est difficile, ce qui rend probablement le bilan hydrologique un peu plus complexe que nous l'avons présenté plus haut. La relation utilisée permet bien de retrouver la période de creux, mais non la cote précise du minimum.

Lorsque l'on utilise les données du NIL, il est normal que l'hydraulicité ne soit pas exactement la même que pour le CHARI, par exemple on peut trouver 80 % d'une part et 65 % d'autre part, de sorte qu'il est difficile de préciser si une période de creux a été plus accentuée qu'une autre.

Compte tenu de ces réserves, la concordance de la seconde courbe avec les points observés est bonne ; les différences les plus fortes sont de l'ordre de 50 cm. En général elles sont inférieures à 30 cm. on peut donc considérer que, dans les grandes lignes, le graphique représente les variations de niveau du Lac TCHAD de 1870 à nos jours et, par suite, les variations d'hydraulicité dans la moitié sud du TCHAD et le nord-ouest de l'OUBANGUI. Les caractéristiques générales

.../...

sont les mêmes que celles du NIGER et celles du SENEGAL :

Très forte hydraulité à la fin du siècle dernier. Faiblesse générale au début de ce siècle avec l'année 1913 restée mémorable dans toute la région soudanaise (il est à peu près certain qu'une année aussi faible ne s'était pas produite depuis 50 ans). Suit une période d'hydraulité médiocre avec cependant une année forte - 1936 - bien connue sur le SENEGAL.

Elle se termine par une période sèche de 1941 à 1945, moins sévère que l'année 1913.

A partir de 1946, l'hydraulité devient très forte dans toute la région soudanaise. Cette amélioration sera peut-être de courte durée, l'année 1957 est légèrement déficitaire sur le CHARI.

RECONSTITUTION DU LAC TCHAD
A PARTIR DES DEBITS DU CHARI

Niveau du Lac au début de chaque année

Période 1933 - 1962

Années	Cote calculée	Années	Cote calculée	Années	Cote calculée	Cote mesurée
1933	282,12	1943	281,26	1953	282,12	282,05
1934	282,11	1944	281,89	1954	282,25	281,97
1935	282,28	1945	281,61	1955	282,87	282,52
1936	281,90	1946	281,54	1956	283,31	282,92
1937	282,56	1947	282,20	1957	283,28	283,22
1938	282,05	1948	282,00	1958		282,92
1939	282,26	1949	282,12	1959		282,77
1940	282,05	1950	281,76	1960		282,82
1941	281,52	1951	282,39	1961		282,77
1942	281,03	1952	282,02	1962		283,27

La hauteur atteinte en Janvier 1962 est la plus élevée depuis le début du siècle.
Elle paraît cependant avoir été largement dépassée à la fin du siècle dernier.

RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC TCHAD
A PARTIR DE L'HYDRAULICITE DU NIL

Niveau du Lac au début de chaque année

Période 1870 - 1945

Années	Cote calculée	Années	Cote calculée	Années	Cote calculée
1871	284,25	1892	283,10	1913	281,88
1872	284,11	1893	283,49	1914	280,85
1873	284,07	1894	283,59	1915	281,48
1874	283,71	1895	283,84	1916	281,35
1875	283,85	1896	284,05	1917	282,45
1876	283,87	1897	284,13	1918	282,66
1877	283,89	1898	283,87	1919	282,14
1878	283,32	1899	283,79	1920	281,82
1879	283,62	1900	283,17	1921	281,73
1880	284,07	1901	282,70	1922	281,52
1881	284,01	1902	282,41	1923	281,82
1882	283,72	1903	281,83	1924	281,71
1883	283,39	1904	281,95	1925	281,79
1884	283,45	1905	281,92	1926	281,50
1885	283,28	1906	281,64	1927	281,85
1886	283,20	1907	281,85	1928	281,70
1887	283,04	1908	281,61	1929	281,64
1888	283,33	1909	282,04	1930	282,17
1889	282,84	1910	282,58	1931	281,79
1890	282,77	1911	282,54	1932	281,64
1891	283,07	1912	282,22	1933	281,85

A N N E X E S

RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC TCHAD
A PARTIR DE L'HYDRAULICITE DU NIL

Période 1933 - 1945

Années	H début	Hydr ^{té}	H -276	h × 10 ⁹	V/S	P	V/S + P	H
1933	281,85	101 %	5,85	11,02	1,88	0,40	2,28	0
1934	281,85	111 %	5,85	12,1	2,03	0,36	2,39	+ 0,11
1935	281,96	119 %	5,96	12,93	2,18	0,31	2,49	+ 0,21
1936	282,17	108 %	6,17	11,77	1,91	0,43	2,34	+ 0,06
1937	282,23	99 %	6,23	10,78	1,73	0,36	2,09	- 0,19
1938	282,04	124 %	6,04	13,52	2,24	0,29	2,53	+ 0,25
1939	282,29	92 %	6,29	10,02	1,59	0,26	1,85	- 0,43
1940	281,86	81 %	calcul	direct	1,66	0,27	1,93	- 0,35
1941	281,51	78 %	calcul	direct	1,75	0,25	2,00	- 0,28
1942	281,23	102 %	calcul	direct	2,35	0,28	2,63	+ 0,35
1943	281,58	97 %	calcul	direct	2,07	0,42	2,49	+ 0,21
1944	281,79	89 %	calcul	direct	1,83	0,28	2,11	- 0,17
1945	281,62	96%	calcul	direct	2,10	0,25	2,35	+ 0,07
1946	281,69							

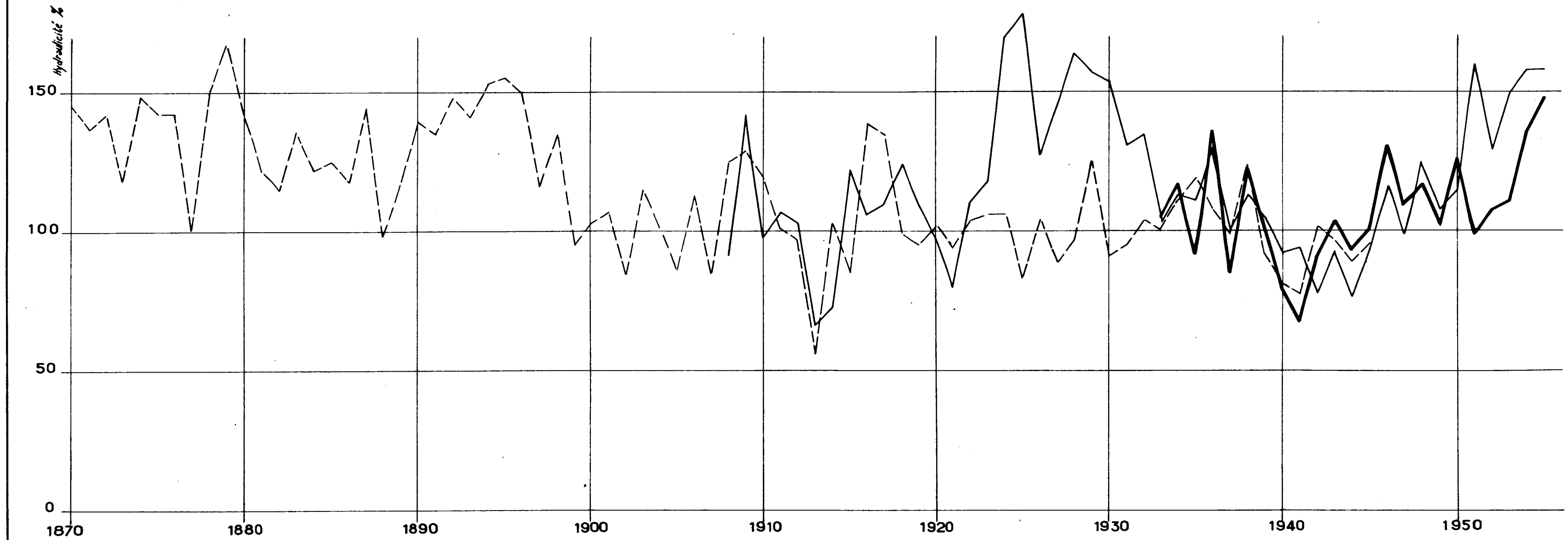
RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC TCHAD
A PARTIR DE L'HYDRAULICITE DU NIL

Période 1933 - 1957

Années	H début	Hydr ^{te}	H - 276	h × 10 ⁹	V/S	P	V/S + P	H
1933	282,12	105 %	6,12	11,45	1,87	0,40	2,27	- 0,01
1934	282,11	117 %	6,11	12,77	2,09	0,36	2,45	+ 0,17
1935	282,28	92 %	6,28	10,03	1,59	0,31	1,90	- 0,38
1936	281,90	136 %	5,90	14,83	2,51	0,43	2,94	+ 0,66
1937	282,56	85 %	6,56	9,28	1,41	0,36	1,77	- 0,51
1938	282,05	122 %	6,05	13,30	2,20	0,29	2,49	+ 0,21
1939	282,26	104 %	6,26	11,33	1,81	0,26	2,07	- 0,21
1940	282,05	79 %			1,81	0,27	1,75	- 0,53
1941	281,52	67 %			1,54	0,25	1,79	- 0,49
1942	281,03	91 %			2,23	0,28	2,51	+ 0,23
1943	281,26	104 %			2,49	0,42	2,91	+ 0,63
1944	281,89	93 %	5,89	10,15	1,72	0,28	2,00	- 0,28
1945	281,61	101 %	5,61	11,01	1,96	0,25	2,21	- 0,07
1946	281,54	131 %	5,54	14,28	2,58	0,36	2,94	+ 0,66
1947	282,20	100%	6,20	10,90	1,76	0,32	2,08	- 0,20
1948	282,00	117 %	6,00	12,77	2,13	0,27	2,40	+ 0,12
1949	282,12	102 %	6,12	11,13	1,82	0,10	1,92	- 0,36
1950	281,76	126 %	5,76	13,73	2,38	0,53	2,91	+ 0,63
1951	282,29	99 %	6,39	10,79	1,69	0,22	1,91	- 0,37
1952	282,02	108 %	6,02	11,78	1,98	0,42	2,38	+ 0,10
1953	282,12	111 %	6,12	12,10	1,98	0,43	2,41	+ 0,13
1954	282,25	135 %	6,25	14,70	2,35	0,55	2,90	+ 0,62
1955	282,87	148 %	6,87	16,13	2,35	0,37	2,72	+ 0,44
1956	283,31	125 %	7,31	13,63	1,87	0,38	2,25	- 0,03
1957	283,28							

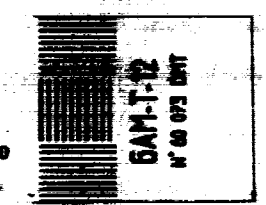
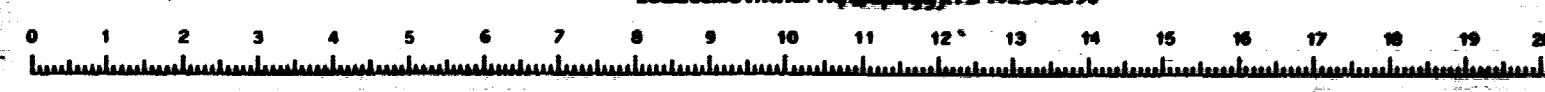
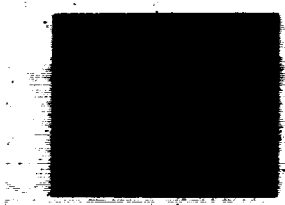
HYDRAULICITÉ DU

--- NIL
— NIGER
— CHARI



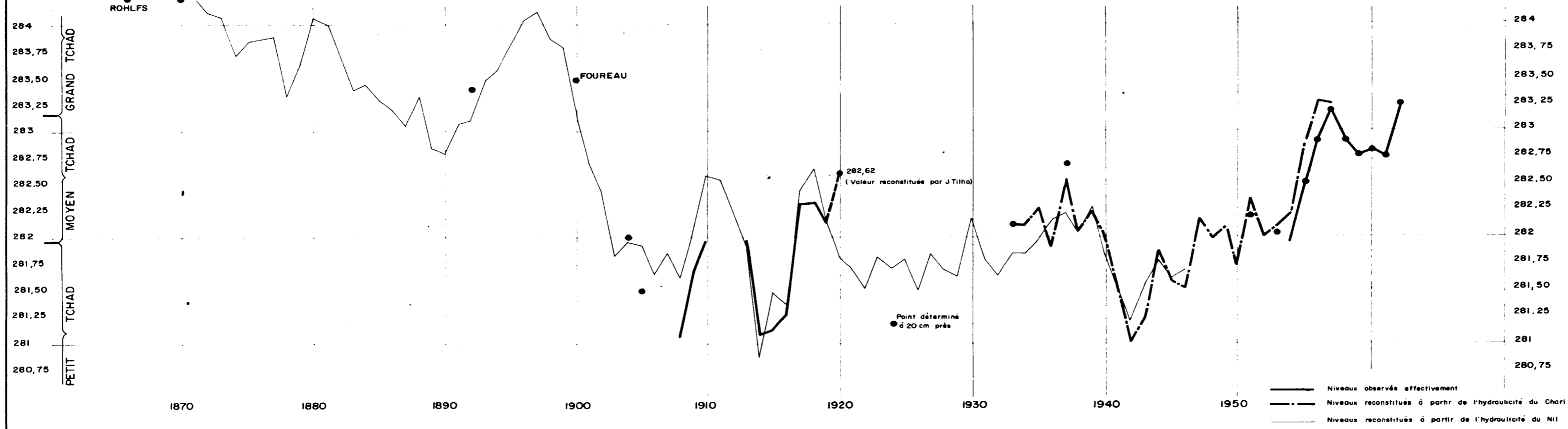
TCH 7824

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDOCBOUVWNSZXY
zsaocmuvnwixrfkhdpgyjt 7142385690
Pour A2A3A4: ABERPFTHLJDOCBOUVWNSZXY
zsaocmuvnwixrfkhdpgyjt 7142385690



ESSAI DE RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC TCHAD

(NIVEAU DU LAC AU DEBUT DE CHAQUE ANNEE CORRESPONDANT AU MAXIMUM)

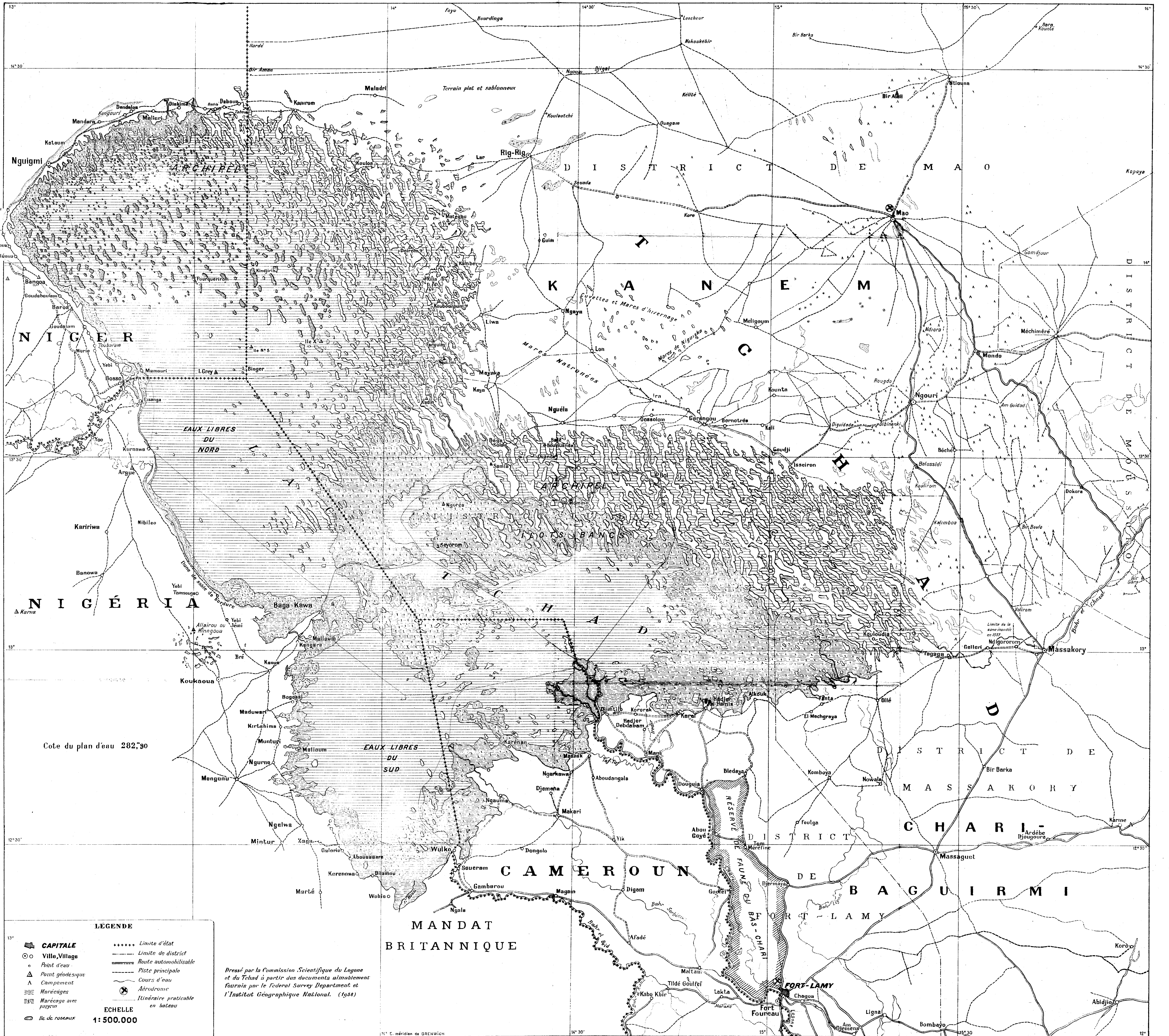


TCH. 7825

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDOC GOUVW MNSZXY
 zsaecmuvnw xirfk hbdpggy jk 7142385690
 Pour A2 A3 A4: ABERPFTHLJDOC GOUVW MNSZXY
 zsaecmuvnw xirfk hbdpggy jk 7142385690

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

BAN.T.12
N° 00 013 DNT



LEGENDE

<ul style="list-style-type: none"> ☐ CAPITALE ○ Ville, Village • Point d'eau △ Point géodésique ▲ Campement ☉ Maraîchages ☉ Maraîchages avec papyrus ☉ Ile de roseaux 	<ul style="list-style-type: none"> Limite d'état ----- Limite de district —+—+—+— Route automobile —+—+— Piste principale —+—+— Cours d'eau ☉ Aérodrome —+—+— Linéaire praticable en bateau
---	---

ECHELLE
1:500.000

Pressé par la Commission Scientifique du Logone et du Tchad à partir des documents ultimement fournis par le Federal Survey Department et l'Institut Géographique National. (1938)