

# LE LAC TCHAD

par

**M. André BOUCHARDEAU**

*Directeur de recherches  
à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique  
d'Outre-Mer*

Après les prospections du Général TILHO qui lui ont permis de élaborer une première série de documents de base (1) faisant encore autorité, le Lac TCHAD a longtemps été considéré comme un marécage abandonné aux moustiques. Les initiatives courageuses du Chef de District de BOL qui, depuis une dizaine d'années, tente de développer les polders du Lac - essai que les Nigériens ont également lancé à WULKO - les recherches effectuées par les Chercheurs de l'O. R. S. T. O. M. et du Muséum d'Histoire Naturelle, l'élaboration de cartes précises, toute cette activité a concouru à faire naître l'opinion que les rives du Lac constituent une région économiquement et humainement intéressante.

Le Lac TCHAD est le reste de la Mer Paléotchadienne 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 naturellement 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 alors à plein, alors que seuls, de nos jours, les tributaires du Sud collectés par le CHARI ont un débit encore important.

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

Des rivages fossiles découverts à différents étages montrent qu'il y a eu, à la fin 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 Paléotchadienne, le Lac oscille encore entre les dimensions respectables de 10 000 et 25 000 km<sup>2</sup>, suivant les caprices du CHARI.

Imaginer le Lac comme un immense bourbier monotone et inhospitalier serait 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 relativement franche, les archipels sont des dunes de sable qui pénètrent dans le Lac, Cette région est pittoresque et très habitable (c'est là que BOL est installé sur une longue presqu'île).

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

(1) Documents scientifiques de la Mission TILHO 190

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 quelques mois de pluie.

Dans le Sud, les bords du CHARI à son arrivée dans le Delta sont couverts d'une forêt dense qui rappelle même, par certains aspects, les rivières guinéennes.

Une caractéristique essentielle et heureuse est la très faible salinité des eaux du Lac, 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 viennent très bien 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 ouaddis du Nord. Ce sel est extrait par les indigènes à KALIA et transporté à dos de chameau jusqu'au "port" de BAGA SOLA où il est chargé sur des pirogues ou des "Kadel", radeaux de papyrus habilement tressés et profilés.

Actuellement, les seuls transports européens traversant le Lac sont les barges de l'OUHAME NANA, accrochées à un remorqueur poussif, et qui 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 du LOGONE-TCHAD, Navigation comportant certains risques : quelquefois des coups de vent très violents soulèvent des vagues courtes et violentes ; quelquefois, des îlots de papyrus dérivent sur le Lac, bloquent les embarcations et, si le vent ne tourne pas, la situation peut devenir tragique.

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 est installée une station météorologique qui suit l'influence du microclimat du Lac sur l'évaporation.

Négligeant d'autres travaux très divers qui ont été exécutés récemment et renouvellent nos connaissances du Lac (1), nous ne nous attacherons qu'aux dernières découvertes concernant les caractères physique et hydrologiques du Lac.

## CLIMAT DU LAC TCHAD

Le climat du Lac TCHAD varie du Sud au Nord, en gardant cependant les caractères généraux sahéliens, chaud et généralement sec. (2)

Les températures moyennes sont fortes : 34°9 pour la moyenne des maxima, 20°9 pour la moyenne des minima. Elles ne diffèrent pas sensiblement de celles de FORT-LAMY et même de MOUNDOU. On remarquera cependant que Décembre, et surtout Janvier, sont presque froids (minima de 15° : moyenne mensuelle).

L'hygrométrie est en relation avec les masses d'air, soit sèches venant du Nord-Est, soit humides venant du Sud-Ouest. Le vent du Nord-Est souffle de Novembre à Avril. La tension de vapeur est toujours minime,  $f$  varie de 6 à 9 millibars. Le vent du Sud-Ouest souffle de Mai à Octobre avec  $f$  compris entre 25 et 27 millibars.

Les pluies sont exclusivement groupées dans les mois de Juillet, Août et Septembre, avec un maximum très accusé en Août. (On trouvera dans le tableau ci-après les pluies à BOL, à N'GUIGMI et à MAÏDUGURI au Sud-Ouest du Lac).

La hauteur annuelle moyenne de précipitations sur le Lac a été estimée à 330mm.

---

(1) Une monographie du Lac TCHAD, par MM. A. BOUCHARDEAU et R. LEFEVRE est en préparation. Le tome I a été terminé récemment.

(2) Il s'agit du climat sahélien des hydrologues, plus méridional que celui des météorologues (entre les isohyètes 250 et 750 mm).

Mois	BOL	N'GUIGMI	MAIDUGURI
Mai	10,5 mm	15,8 mm	40 mm
Juin	14,8 mm	5,5 mm	73 mm
Juillet	67,1 mm	67,0 mm	178 mm
Août	168,6 mm	149,8 mm	222 mm
Septembre	44,8 mm	15,3 mm	109 mm
Octobre	8,6 mm	0,1 mm	23 mm

Les vents soufflent régulièrement presque toute l'année. Ils ont une influence sur le niveau du Lac, à BOL, qui décroît par vent du Nord-Est et croît par vent du Sud-Ouest, comme si l'eau était chassée par le vent.

L'évaporation sur bac Colorado a été mesurée dans des conditions diverses, l'un des bacs étant placé sur la dune où est bâti le poste, l'autre étant installé sur une île : nous pouvons comparer les résultats dans le tableau ci-dessous : (valeurs moyennes journalières en mm)

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

Température de l'eau du Lac : les variations peuvent être représentées par le tableau ci-dessous :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Température à 6 h	17°0	20°8	25°1	25°0	26°7	28°8	27°8	27°4	28°4
Température à 12h	20°8	25°0	27°8	28°2	29°9	32°4	29°9	29°4	30°8
Minimum absolu	15°0	17°0	23°0	23°6	25°0	27°2	27°0	26°0	26°0
Maximum absolu	22°5	28°8	30°0	30°2	33°0	33°2	32°5	31°5	32°0

## CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU LAC

Loin d'être uniforme, le Lac présente des caractères différents de profondeur, morphologie du fond et végétation.

Il est coupé en deux parties - le Lac Nord et le Lac Sud - par la "Grande Barrière", haut-fond s'étendant au Nord de BAGA KAWA. Un seul passage permanent permet au Lac Nord de communiquer avec le Lac Sud : c'est la "poche de BAGA KAWA". Les passages Nord sont bouchés par les papyrus. Ces hauts-fonds étaient couverts, lors du passage du Général TILHO, en 1908, par une forêt d'ambadj, bois très léger poussant dans les eaux peu profondes, et qui formait un véritable barrage qui explique l'assèchement presque complet du Lac Nord, bien que la cote du fond soit inférieure à celle du Lac Sud.

Les eaux libres du Lac Sud entourent le delta du CHARI. Au Nord et à l'Est, le Lac Sud est bordé par l'Archipel, une région dunaire qui a été envahie par les eaux. Les dunes sont séparées par des bras, d'orientation générale Nord-Ouest, Sud-Est, dont l'un d'eux, à l'extrémité Est, conduit au BAHR EL GHAZAL. Les eaux ont envahi ce sillon en 1955, pour atteindre MASSAKORY, situé à 80 km du Lac, en Janvier 1958.

Cette indication présente un caractère assez qualitatif. Le débit qui entre dans la dépression du BAHR EL GHAZAL est limité par la faible largeur du seuil et la



LE LAC TCHAD



Vent du N.E. sur les "eaux libres" au sud de BOSSO



Poste de NGUIGMI

faible hauteur de lame d'eau au-dessus du seuil. Les pertes par évaporation sont importantes dans cette dépression, de sorte que le débit quittant le Lac est tout à fait insuffisant pour remplir cette dépression et que la ligne d'eau entre le seuil et le point extrême atteint n'est pas horizontale. Par exemple, en Mars 1956, la cote de l'eau sur le seuil était de 282,96 ; au point extrême, elle était de 280,17.

Il est vraisemblable qu'une nappe d'eau horizontale partant du Lac à la cote 283 irait jusqu'aux pays bas du TCHAD. Cependant, on peut dire qu'il y a une certaine corrélation entre le niveau du Lac et le point extrême atteint.

Dans le Sud du Lac, près des embouchures du SERBEWEL et de l'EL BEID, il y avait encore récemment des marécages de roseaux sillonnés par les méandres de ces deux rivières. La majeure partie de ces eaux est maintenant libre.

Entre les eaux libres et l'Archipel existe, dans le Lac Sud, la zone des flots bancs où se sont développés les papyrus et les roseaux qui forment un cordon continu. C'était, avant les récentes crues, un obstacle redoutable, au point que les bateaux étaient obligés de contourner la zone des flots bancs par l'Ouest (BAGA SOLA). Souvent des papyrus se détachent par bancs flottants considérables, errant sur le Lac. Avant d'être désagrégés par les vagues et de pourrir dans le fond du Lac, ils se transforment en "Kirtas" flottant entre deux eaux, et également dangereux.

Le Lac Nord comporte aussi une zone "d'eaux libres" dans sa partie Sud-Ouest, qui couvre une faible superficie, relativement à celle de l'Archipel Nord et Nord-Est.

Les papyrus ne sont pas encore parvenus dans l'extrême Nord, récemment inondé, et ne dépassent pas la latitude du village de BOSSO. Tout au Nord, les flots sont peuplés de roseaux dont les tiges plongent souvent à plus de 2 mètres.

#### SUPERFICIE DES DIFFÉRENTES ZONES :

La superficie du Lac varie dans de larges proportions car le fond est très plat.

Années	1908	1951	1956
Niveaux	280,35	282,20	282,95
Eaux libres	12 700 km <sup>2</sup>	14 300 km <sup>2</sup>	16 830 km <sup>2</sup>
Eaux de l'Archipel			
Marécages et flots bancs	1 000 km <sup>2</sup>	7 300 km <sup>2</sup>	6 760 km <sup>2</sup>
Surface inondée totale	13 700 km <sup>2</sup>	21 600 km <sup>2</sup>	23 590 km <sup>2</sup>
Surface totale des îles		2 450 km <sup>2</sup>	2 080 km <sup>2</sup>
Emprise du Lac		24 050 km <sup>2</sup>	25 670 km <sup>2</sup>

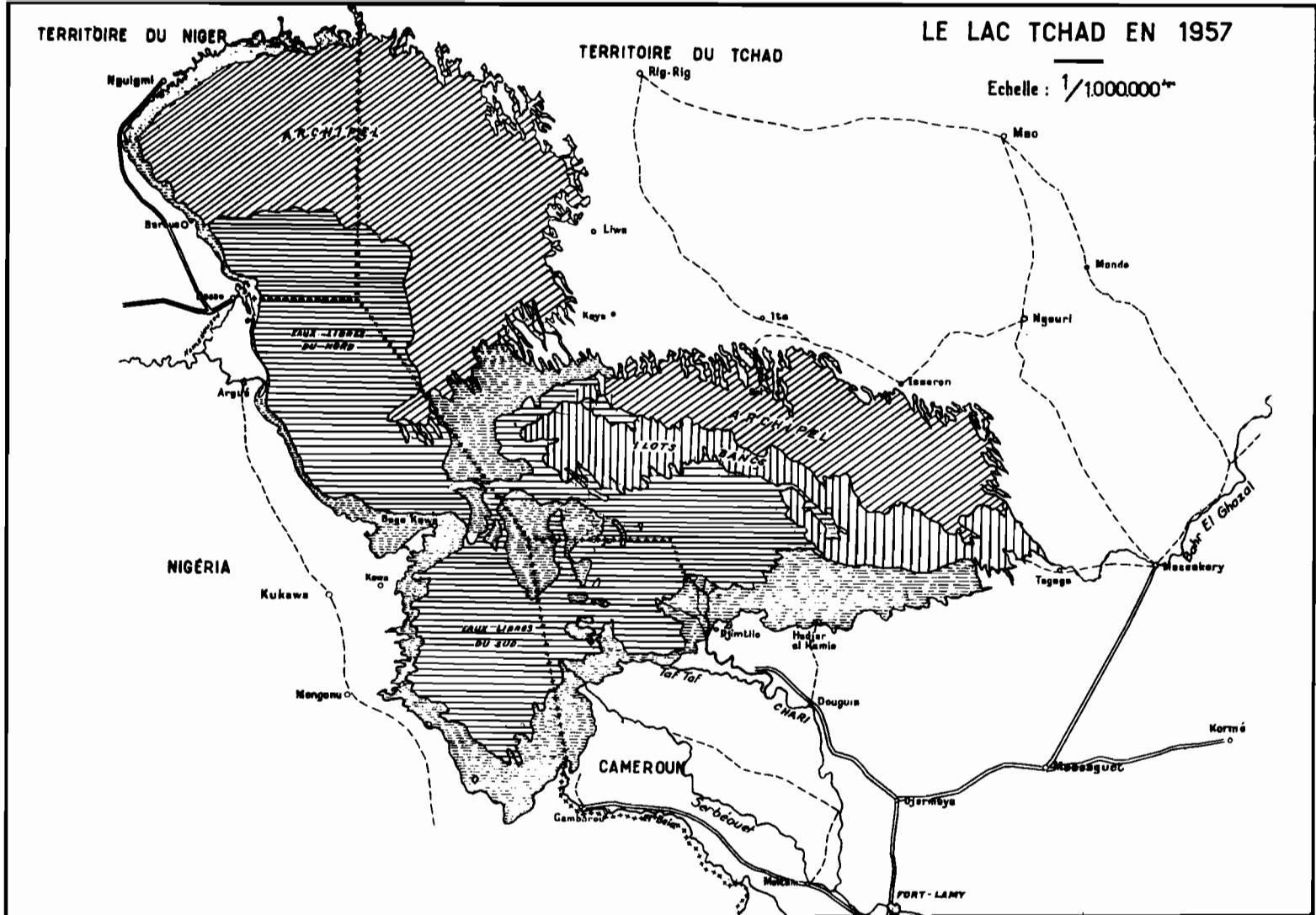
Diverses considérations nous ont conduits à adopter la formule suivante pour la superficie inondée du Lac, en fonction de l'altitude H du plan d'eau, en période d'hydraulicité moyenne ou assez forte :

$$S \text{ km}^2 = 3\,200 (H - 275,60)$$

#### PROFONDEUR DU LAC

Les plus grands fonds du Lac se trouvent dans l'Archipel et atteignent très exceptionnellement 11 mètres. Ils se creusent, en effet, dans certains goulets étroits, à l'origine de bras de superficie importante, où des courants prennent naissance grâce à l'appel d'eau provoqué par l'évaporation, ou simplement grâce au vent.

Les fonds rencontrés le plus couramment sont de 3 à 5 mètres dans le Lac Sud, de 4 à 7 mètres dans le Lac Nord. Paradoxalement, le Lac Nord, plus profond, se vide le premier en cas de déficit du CHARI. Ceci ne peut s'expliquer que par l'existence de la "Grande Barrière" qui, en basses eaux persistantes, n'est peut-être jamais fermée, mais assez encombrée de végétation (ambadj) pour interdire l'entrée d'un débit suffisant au maintien en eau du Lac Nord.



Les sondages effectués en 1957 avec un sondeur à ultra-sons ont révélé l'existence de deux échos ; le deuxième avait lieu sur un fond sableux dont le modelé semble correspondre à des dunes submergées. Le premier écho se produisait sur une couche de vase molle, ou de détritux végétaux remplissant les intervalles interduinaires. Ce premier fond est sensiblement horizontal à une profondeur de 3 à 5 mètres. Le fond sableux varie de 4 à 12 mètres. Dans le Nord du Lac, l'alluvionnement vaseux n'existe pas, ou peut-être s'est-il tassé suffisamment pour faire écran aux ultra-sons.

On peut donc penser qu'à certaines époques le Lac s'est asséché entièrement, ce qui a permis des remaniements du fond par le vent, et que ce relief a été ensuite aplani par l'alluvionnement. La partie Nord du Lac, plus souvent asséchée, moins encombrée de végétaux, et où les eaux arrivent déjà décantées, n'a pas profité de cet alluvionnement.

#### NIVEAUX DU LAC TCHAD :

Il est très important de connaître les variations du niveau du Lac. De l'amplitude de ces variations dépend la possibilité de fermer les bras de l'Archipel pour les transformer en polders. La montée inquiétante des eaux de 1953 à 1957 pouvait faire craindre des hauteurs prohibitives pour les barrages. Nous avons donc cherché, par divers procédés, à reconstituer très exactement les niveaux du Lac sur une longue période. Quatre méthodes ont été employées simultanément : les observations directes, la reconstitution des niveaux en relation avec l'avancée du Lac dans certaines zones bien déterminées, la reconstitution à partir des débits du CHARI, et enfin à partir de l'hydraulicité du NIL. Nous constaterons que ces divers procédés ont donné des résultats tout à fait cohérents.

##### 1) Observations directes et journalières

Ce sont celles du Général TILHO, de 1908 à 1920 et celles de la Mission LOGONE-TCHAD depuis 1953 (cote du 0 : 281, 12). Les observations de TILHO ont été faites à BOL, celles de la Mission à plusieurs postes (BOL, N'GUIGMI, HADJER EL HAMIS, BOSSO). Les variations ne sont pas simultanées à tous ces postes parce que les crues du CHARI mettent un certain temps à se répandre, que l'évaporation crée un appel d'eau constant du Sud au Nord, et qu'enfin les vents créent des dénivellations qui peuvent atteindre 20 cm.

Les variations dans le cours de la journée sont enregistrées à BOL par un limnigraphe. Une baisse de niveau pendant les heures de grand vent a été constatée de manière indubitable.

##### 2) Reconstitution des niveaux en relation avec l'avancée du Lac en certains points de la côte.

Deux zones sont intéressantes :

- 1°) la côte au voisinage de N'GUIGMI,
- 2°) l'entrée du BAHR EL GHAZAL.

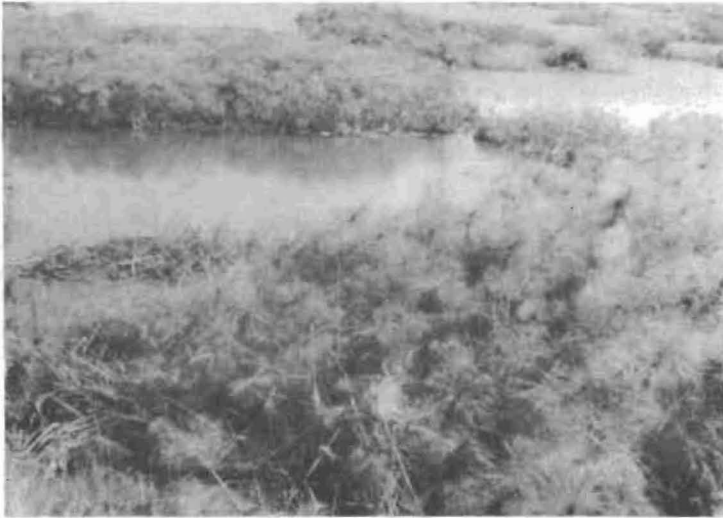
La côte près de N'GUIGMI est très plate, si bien qu'elle est très sensible aux niveaux des eaux. Les niveaux du Lac en 1854, 1866, 1903 et 1904, grâce aux expéditions de ROHLF et de NACHTIGALL, ont été reconstitués à partir de la distance de ce poste à laquelle ces explorateurs ont pu accoster.

La vallée du BAHR EL GHAZAL est fermée par une succession de seuils à des cotes déterminées. Le fait que ces seuils ont été franchis certaines années est la preuve que le Lac a dépassé leur cote qui est connue ; on a précisé cette cote en comparant aussi les distances où était parvenu le flot dans la dépression : raisonnements un peu spécieux, car cette distance d'inondation dépend non seulement de la cote atteinte par le Lac, mais aussi de la durée pendant laquelle elle a été dépassée. Les fortes cotes du Lac sont dues à des séries de fortes crues du CHARI. La durée de ces séries de forte hydraulicité est variable et sans rapport avec le maximum atteint.

Les cotes du Lac en 1870, 1873, 1874 et 1900 ont été ainsi retrouvées.



Poste de NGUIGMI



Papyrus dans les flots bancs



Débordements  
du lac  
dans le  
Bahr-el-Ghazal



On citera enfin la tradition locale en laquelle notre confiance est assez limitée quant aux dates indiquées ; déterminer une crue ou une sécheresse exceptionnelle à moins de 1 ou 2 années près est assez illusoire. Tout au plus connaît-on leur existence (cas de l'année 1935, avec assèchement du bras de KOULOUDIA).

La reconstitution des niveaux par les crues du CHARI et du NIL fait l'objet d'une long développement dans la suite du texte.

La conclusion de nos recherches sur les niveaux est la reconstitution des maxima depuis près de 100 ans.

Le maximum a été en 1874 de 284, soit 1,00 de plus que le maximum de 1957, et le minimum de 281, soit 2,00 en moins que le niveau atteint en 1957.

## RÉGIME DU CHARI

Outre le CHARI, plusieurs cours d'eau secondaires sont tributaires du Lac TCHAD : la KOMADOUGOU YOBÉ, l'EL BEÏD, le SERBEWELL, la YEDSERAM, Mais le CHARI, comptant à lui seul 95 % des apports fluviaux, est en fait responsable des variations du Lac.

Les crues du CHARI à FORT-LAMY sont observées depuis 1933 ; malheureusement, certaines années manquent, d'autres sont douteuses. Pour reconstituer la série complète depuis 1933, nous avons cherché à utiliser les relevés pluviométriques du bassin supérieur du CHARI, car les bassins moyen et inférieur, situés dans la zone de 500 à 800 mm, ont un bilan d'écoulement presque nul.

Là encore, nous avons buté sur un obstacle : la rareté des stations :

- de 1946 à 1957                    16 stations (de valeur inégale)
- de 1937 à 1945                    8 stations
- de 1933 à 1936                    3 stations seulement.

Il était impossible de reconstituer l'hydraulicité avec aussi peu de stations, mais nous avons pu contrôler ainsi la véracité de certains débits extraordinaires forts ou faibles (années 1936, 1941 et 1942).

D'autre part, la série des débits ainsi obtenus, comparée aux crues du NIL, montre une étonnante coïncidence des variations d'hydraulicité des deux fleuves.

C'est pourquoi nous avons extrapolé d'une façon hardie cette concordance aux années antérieures à 1933. Les niveaux du TCHAD obtenus à partir de ces débits reconstitués rendent compte de toutes les particularités observées directement et justifient à posteriori cette extrapolation hasardeuse.

Les crues du CHARI, de 1933 à 1958, qui ont été observées quotidiennement, présentent une variation progressive du débit, avec une crue annuelle unique, fortement régularisée au passage à FORT-LAMY.

Les courbes de crue et de décrue sont curieusement symétriques par rapport à la verticale du maximum.

Par suite de la régularité de la courbe des débits, la moyenne annuelle est toujours très voisine du 1/3 du débit maximum.

Si on ne dispose que du débit maximum, il est ainsi possible de reconstituer la moyenne annuelle avec peu d'erreur. (1)

## BILAN HYDROLOGIQUE DU LAC TCHAD ET APPLICATIONS

Pour une période donnée, le bilan se traduit par la relation suivante :

$$\frac{V}{S} + P = \Delta H + E + p$$

---

(1) L'Annuaire Hydrologique donnant, d'autre part, tous renseignements sur le CHARI à LAMY, nous ne développerons pas outre mesure ce chapitre.

$\frac{V}{S}$  = Volume des eaux du CHARI rapporté à la surface du Lac.

P = Précipitations

$\Delta H$  = Accroissement du niveau du Lac (ou, avec le signe moins, décroissance du niveau)

E+p = Pertes par évaporation et par écoulement marginal (dans les émissaires ou par infiltration).

Ce bilan sera utilisé à plusieurs fins :

### 1) CALCUL DES PERTES TOTALES

Ces dernières années, les niveaux du Lac étaient connus avec précision, ainsi que les débits du CHARI et les précipitations sur le Lac. Donc, la première partie du bilan était bien connue et nous avons pu évaluer les pertes totales E + p mensuelles.

Les résultats suivants ont été obtenus (E + p est donné en mm par mois) :

	1953	1954	1955	1956	1957	Moyennes
Janvier		170	89	139	174	143
Février		113	190	103	157	141
Mars		186	175	190	139	173
Avril		148	157	162	172	160
Mai		150	178	250	146	181
Juin		256	211	236	208	228
Juillet		126	203	109	216	164
Août	146	190	191	158	145	166
Septembre	134	191	215	149	198	177
Octobre	301	315	341	350	197	301
Novembre	314	343	270	242	219	278
Décembre	174	128	114	158	164 (1)	148

Ces résultats appellent un commentaire.

Bien que mesuré avec soin, c'est la variation du niveau du Lac qui est le terme du bilan le plus délicat et le responsable des incohérences. En effet, les variations mensuelles sont de 10 à 20 cm. Or, des sautes de vent peuvent provoquer des dénivellations de cet ordre. Le remède serait évidemment de multiplier les échelles de crue, mais le problème de l'observation de ces échelles est insurmontable.

On ne s'étonnera donc pas de voir des variations mensuelles des pertes. Elles s'expliquent par cette mauvaise détermination. En outre, il se produit un mouvement de bascule aux changements de direction générale du vent en Avril ou Mai et en Octobre, qui explique les valeurs trop faibles ou trop fortes observées à ces époques.

Par contre, on remarquera la grande cohérence des pertes annuelles :

1945	2 316 mm
1955	2 334 mm
1956	2 246 mm
1957	2 135 mm (2)

Quelle est, dans ce total, la part de l'évaporation ? Nous n'avons aucun moyen de le savoir par cette méthode ; l'étude de la salinité nous montre que les pertes par infiltration ne sont pas nulles, mais on verra par ce qui suit que l'évaporation est absolument prépondérante.

Nous avons comparé l'évaporation ainsi calculée avec celle obtenue par la formule  $E = 0,33 (F-f)$ , reconnue par ailleurs comme étant utilisable dans la zone considérée.

(1) Chiffres faibles par suite des restitutions des zones inondées l'année précédente.

(2) Chiffre trop faible par suite des restitutions des zones inondées les années précédentes.

F est ici la tension de vapeur correspondant à la température de l'eau du Lac,  
f la tension de vapeur de l'air (mesurée à BOL et nous avons porté BOL-Dune et  
BOL-Ile).

Un tableau établi pour 1955-1957 permet de comparer les deux résultats :

Mois	Lac Tempéra- ture moyenne	Tension de vapeur saturée corres- pondante	Tension de vapeur DOUGUIA	F - f	E = 0,33 (F - f)	Bilan du Lac (Tableau 5)
Janvier	19,5	22	9,0	13,0	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	26,0	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

Comparons également les résultats moyens avec les évaporations sur bac me-  
surées à BOL et à DOUGUIA :

	Evaporation Lac	Bac de BOL-Ile	Bac de BOL-Dune	Bac de DOUGUIA
Janvier	4,6 mm	6,0 mm	9,8 mm	6,4 mm
Février	5,0 mm	7,1 mm	10,5 mm	7,4 mm
Mars	5,6 mm	7,7 mm	12,1 mm	9,9 mm
Avril	5,3 mm(1)	9,0 mm	11,7 mm	10,0 mm
Mai	5,8 mm(1)	7,5 mm	10,7 mm	8,9 mm
Juin	7,6 mm	8,4 mm	9,0 mm	8,0 mm
Juillet	5,3 mm	7,2 mm	7,4 mm	5,5 mm
Août	5,4 mm	6,5 mm	6,6 mm	3,1 mm
Septembre	5,9 mm	4,7 mm	6,7 mm	4,0 mm
Octobre	9,7 mm(1)	6,7 mm	9,7 mm	6,0 mm
Novembre	9,3 mm	6,8 mm	9,9 mm	7,3 mm
Décembre	4,8 mm	6,7 mm	9,6 mm	6,8 mm

Nous constatons un rapport sensiblement constant entre les résultats de la me-  
sure directe et les résultats des différentes évaluations, avec la réserve faite sur  
les erreurs systématiques des mesures directes.

## 2) RECONSTITUTION DES NIVEAUX DU LAC

Le résultat remarquable de l'application du bilan aux années 1953 à 1957 est la  
constance des pertes totales, qui sont égales, en moyenne, à 2 260 mm.

Cela ne doit pas nous étonner en ce qui concerne l'évaporation, car les climats  
tropicaux sont caractérisés par la constance presque absolue des variations cycliques  
de la température et de l'hygrométrie. Cependant, on remarquera que de 1953 à  
1957 la crue du Lac a modifié la répartition des zones de végétation et des zones  
d'eaux libres. L'évaporation n'a pas été changée par cette circonstance.

Quant aux pertes marginales, elles sont de deux types : par suite de la crue,  
les écoulements dans les émissaires du type BAHR EL GHAZAL, nuls en basses

(1) Basculement de la surface du Lac.

eaux, ont pris une plus grande importance en 1955. Les pertes par infiltration ont crû en valeur absolue avec la montée des eaux puisqu'elles sont en gros proportionnelles à la longueur du périmètre du Lac ; mais, rapportées à la surface du Lac, ces pertes sont inversement proportionnelles à la racine carrée de la surface. Au total, on conçoit que la somme de ces deux pertes puisse rester constante quelle que soit la hauteur du Lac, quand on l'évalue en hauteur d'eau.

Si nous voulons reconstituer de proche en proche les niveaux du Lac, en connaissant les crues du CHARI et les précipitations P à la surface du Lac, la variation annuelle sera :

$$\Delta H = \frac{V}{S} + P - 2,26.$$

C'est à partir de cette formule que nous avons reconstitué les niveaux depuis 1933, à l'aide des crues du CHARI.

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

Nous avons déjà dit que les hydraulicités du CHARI et du NIL avaient des variations interannuelles tout à fait semblables. Nous avons utilisé cette assimilation pour reconstituer les niveaux de 1874 à 1946, date à laquelle l'EGYPTE a cessé les observations du NIL.

Les courbes obtenues montrent qu'en partant de la forte crue de 1874, mentionnée dans le mémoire de ROHLFS et de NACHTIGALL, il a été possible de retrouver à quelques centimètres près les niveaux de FOUREAU en 1900, du Général TILHO lors des très basses eaux de 1908 et 1914, la crue de 1920, la dépression de 1940 à 1946.

De même, la concordance de la courbe obtenue par les crues du CHARI est bonne quand on la compare avec la reconstitution par le NIL entre 1933 et 1946, ou avec les observations directes du niveau à partir de 1953.

Ces séries de coïncidences sont trop nombreuses, à notre avis, pour être fortuites, et nous estimons légitime de représenter dans ses grandes lignes comme tout à fait probable la variation des niveaux des crues du Lac par notre courbe reconstituée malgré la pénurie d'observations directes.

Dans cette période de 90 ans écoulés entre les observations de ROHLFS et celles de la Mission LOGONE-TCHAD, rien n'indique une variation cyclique de période déterminée. Rien ne nous permet donc de prévoir la durée de la crue actuelle du Lac, ni les risques d'atteindre les niveaux du siècle dernier. Ce que l'on constate seulement, c'est que, depuis 84 ans, la cote de 1874 n'a jamais été retrouvée et que cette cote serait maintenant d'une faible probabilité.

## MESURES DE SALINITÉ DU LAC ET MÉTHODE DE SÉPARATION DES PERTES PAR ÉVAPORATION ET DES PERTES " MARGINALES "

Le Lac TCHAD est très légèrement salé : la concentration en "natron" (bicarbonate de soude impur) ne dépasse pas 400 g au m<sup>3</sup> (1). Le sel est apporté par le CHARI, dont les eaux contiennent 40 g au m<sup>3</sup> à leur arrivée dans le Lac. Les prélè-

(1) Les concentrations ont été évaluées à partir de la conductivité des solutions qui a été trouvée très sensiblement égale à deux fois la concentration. (C en g par m<sup>3</sup> et conductivité en mΩ).

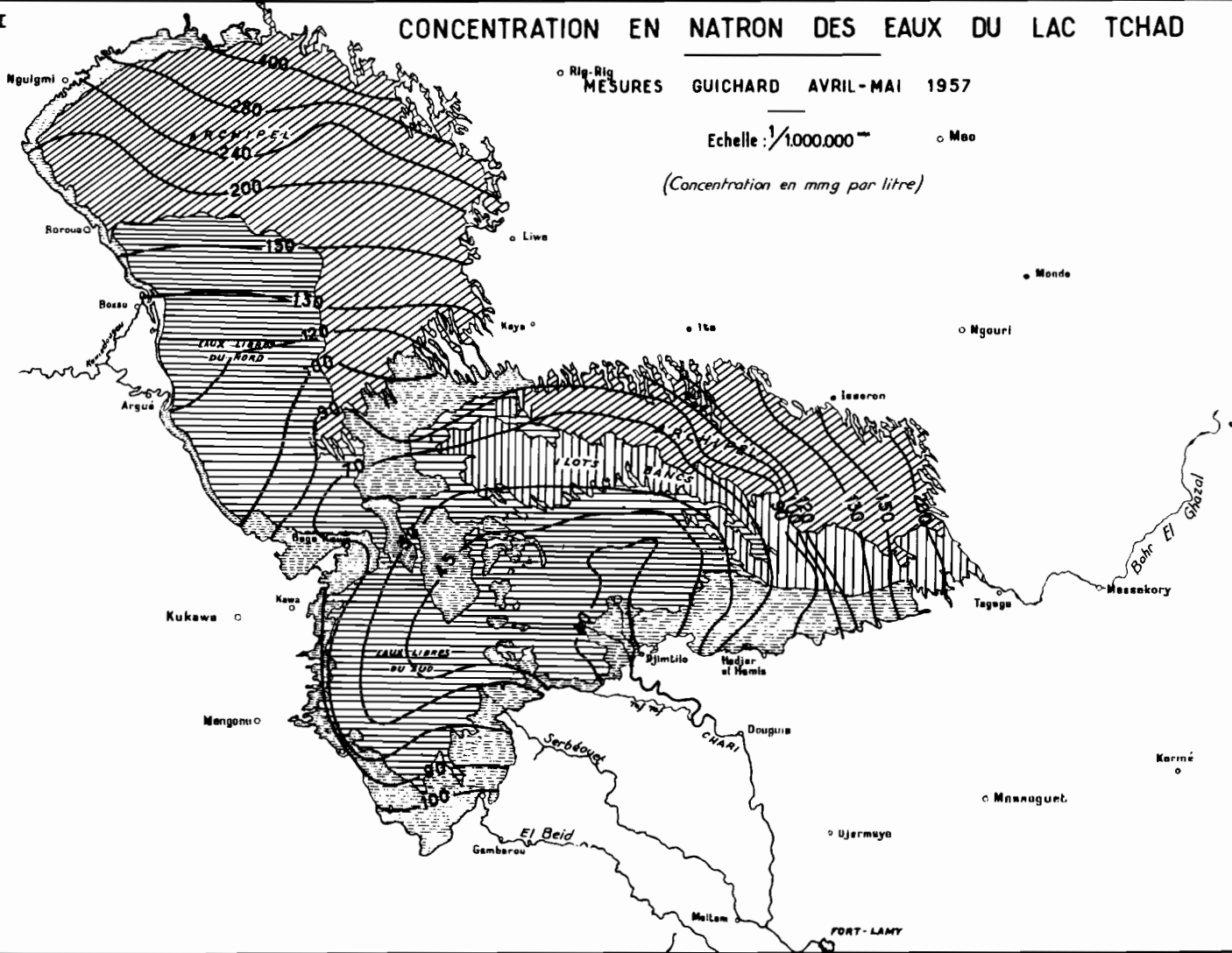
CARTE . II

# CONCENTRATION EN NATRON DES EAUX DU LAC TCHAD

MESURES GUICHARD AVRIL - MAI 1957

Echelle : 1/1.000.000<sup>ème</sup>

(Concentration en mgm par litre)



vements effectués en Avril 1957 ont permis d'établir une carte de la salinité du Lac à cette époque (grâce à laquelle nous avons pu tracer les courbes d'égal concentration).

Notre attention fut attirée par le fait que les courbes sont concentriques au Delta du CHARI.

D'autre part, en mesurant les surfaces limitées par les courbes d'égal concentration et les berges jusqu'au delta, on a constaté que la dilution, si nous appelons ainsi l'inverse de la concentration, décroît linéairement en fonction de ces superficies.

Nous avons considéré séparément les Lacs Nord et Sud. L'alimentation du Lac Sud provient du delta du CHARI, et l'alimentation du Lac Nord est effectuée par le courant qui traverse le Lac Sud et pénètre dans le Lac Nord par la "Grande Barrière".

Nous avons ainsi deux sources autour desquelles se répartissent les courbes : la source du Lac Sud ; le delta du CHARI, de concentration 40 g/m<sup>3</sup> ; la source du Lac Nord : à la traversée de la "Grande Barrière" de concentration 70 g/m<sup>3</sup>.

La théorie que nous allons exposer rend bien compte de cette loi de décroissance de la dilution:

Les eaux du Lac se mélangent très peu, par suite de l'existence de nombreux obstacles. L'Archipel est un véritable dédale. Seules les cuvettes d'eau libre du Nord et du Sud sont susceptibles, par leur disposition, de permettre un brassage, mais ces eaux libres ne couvrent qu'une faible proportion de la superficie du Lac. Dans ces conditions, la salinité d'un courant partant du delta augmente progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la source, en perdant de l'eau douce par évaporation.

Pour un tube de courant donné, la perte par évaporation entre deux points A et B s'exprime par :

$$Q = Q_0 - KS \quad (1)$$

K            étant la constante d'évaporation en cm/s  
Q<sub>0</sub> et Q    les débits aux points A et B  
S            la surface d'évaporation du tube de courant.

La concentration en chaque point du Lac est supposée, à priori, constante dans le temps.

Il entre donc autant de sel dans le tube qu'il en sort, ce qui s'exprime par :

$$QC = Q_0 C_0 \quad (2)$$

D'où la relation entre la concentration au point B et la surface délimitée par le tube de courant, en éliminant Q :

$$\frac{C_0}{C} = 1 - \frac{KS}{Q_0} \quad (3)$$

En représentant en fonction de S les valeurs de  $\frac{1}{C}$  trouvées effectivement, on obtient une loi linéaire, ce qui prouve que tout se passe bien selon les hypothèses que nous avons présentées.

Cependant, nous avons dû, pour que la loi se vérifie, considérer séparément le Lac Sud et le Lac Nord qui sont coupés par la "Grande Barrière".

Considérons maintenant notre droite expérimentale :

L'axe des S est coupé pour une concentration infinie (qui signifie la dessiccation complète) pour la valeur S<sub>d</sub> de S, valeur qui n'est pas atteinte en réalité, par suite de l'existence des courants de pertes marginales quittant le Lac avec une concentration très inférieure à la saturation.

L'étude de ces résultats va nous permettre de donner des valeurs de l'évaporation et des pertes marginales.

Pose d'un pluviomètre  
totalisateur à KAYA

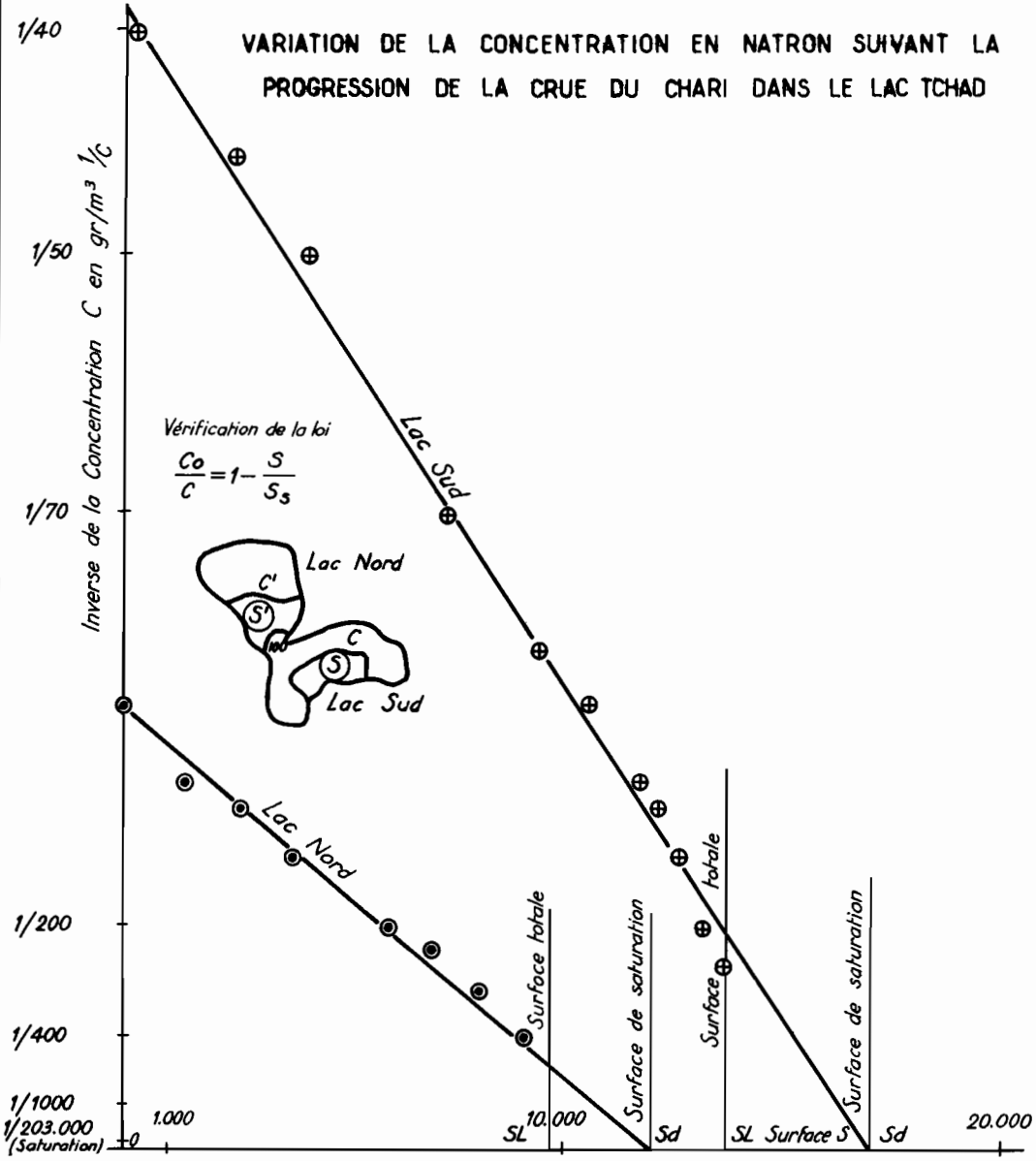


Construction  
de pirogues  
en papyrus ou kade'

Transport du natron  
sur le lac



VARIATION DE LA CONCENTRATION EN NATRON SUIVANT LA PROGRESSION DE LA CRUE DU CHARI DANS LE LAC TCHAD





La droite expérimentale peut s'écrire, en dehors de toute considération théorique :

$$\frac{I}{C} = \frac{I}{C_0} - \frac{S}{C_0 S_d} \quad (4)$$

puisque pour  $S = 0$ ,  $C = C_0$  et pour  $S = S_d$ ,  $C = \infty$   $C_0$  et  $Q_0$  correspondent à la "source" du Lac Nord ou du Lac Sud.

Par identification avec la formule théorique (3), on a :

$$\frac{K}{Q_0 C_0} = \frac{I}{C_0 S_d}$$

$$\text{Soit } K = \frac{Q_0}{S_d} \quad (5)$$

On voit donc que l'évaporation n'est pas, comme on le pensait, en négligeant les pertes,  $\frac{Q_0}{S_L}$ ,  $S_L$  étant la surface du Lac, mais  $\frac{Q_0}{S_d}$ ,  $S_d$  étant une surface théorique nécessaire pour amener les eaux salées à dessiccation complète.

Physiquement, cela s'explique par le fait que la surface évaporante du Lac ne se limite pas aux rives visibles, mais déborde au-delà, dans une zone marginale où les eaux se perdent par infiltration ou écoulement. D'ailleurs, la constance de la concentration du Lac dans le temps ne peut s'expliquer que par un dépôt de sel qui, s'il n'a pas lieu dans le Lac se produit nécessairement au dehors. Il y a donc certainement des pertes marginales. Mais alors, la théorie que nous avons exposée a besoin d'être précisée.

En effet, puisqu'il y a des pertes non négligeables, l'équation (1)  $Q = Q_0 - KS$ , valable pour un tube de courant isolé, n'est plus valable pour une surface limitée, non seulement par la courbe de concentration  $C$ , mais également par des berges présentant un certain débit de pertes.

Or, il est difficile de déterminer dans chaque cas la valeur du débit passant au-delà de la côte. Il varie peu par unité de longueur dans les extrémités des quadris des côtes Nord et Nord-Est, sablonneuses. Dans toutes les presque îles sablonneuses de cette zone, il doit s'établir une nappe à faible profondeur qui limite les débits d'infiltration, mais dans quelle mesure ? La côte Sud, argileuse et marécageuse, reçoit un certain nombre de cours d'eau avec de nombreux effluents ; les pertes par infiltration doivent être extrêmement faibles ; nous pensons qu'il s'agit plutôt d'un apport par infiltration.

Quant à la côte Nord-Ouest, la direction des lignes de courant semble indiquer que les infiltrations y sont faibles.

Nous avons fait plusieurs hypothèses concernant la valeur de ces pertes par unités de longueur et déterminé ainsi par le calcul, en partant de l'équation 3, la valeur du débit de pertes marginales. Nous avons pu ainsi constater que ces pertes ne sont pas négligeables mais que, dans l'état actuel des mesures, il est difficile de les déterminer, car leur importance varie beaucoup suivant les hypothèses de calcul. En outre, trois faits sont de nature à fausser les calculs :

- 1°) le brassage dans les eaux libres,
- 2°) les variations de la hauteur d'eau annuelle évaporée d'une extrémité à l'autre du Lac ; l'évaporation doit être nettement plus forte vers l'Archipel du Lac Nord qu'à l'embouchure du CHARI, par suite de la différence de latitude et de l'exposition directe à l'harmattan,
- 3°) et surtout la forte hydraulicité des années précédant la période de mesures (Avril-Mai 1957) qui, en diminuant les concentrations en sel, conduit à surestimer dans nos calculs le débit de pertes marginales.

En procédant à de nouvelles mesures en période d'hydraulicité moyenne, en suivant de très près la concentration dans les Archipels Sud et Nord, nous pouvons espérer rassembler suffisamment de données pour obtenir des résultats sûrs dans l'évaluation de ces pertes marginales.

Ce que nous pouvons affirmer actuellement c'est que :

1°) Ces pertes existent et elles expliquent le fait que l'eau du Lac TCHAD ne soit pas salée, les eaux à la concentration de 300, 400 ou 500 mg par litre passent principalement à travers les dunes des côtes Nord et Nord-Est et, en s'évaporant dans les dépressions ou ouaddis situés à l'Est de cette côte, produisent du natron qui est exploité assez activement.

2°) L'étude de l'évaporation et des pertes totales nous montre que ces pertes sont relativement faibles. Il est difficile de concevoir que l'évaporation en Janvier et Février soit sensiblement plus faible que les chiffres de 4,6 et 5mm trouvés par le bilan hydrologique du Lac.

## BILAN DE LA CONNAISSANCE DU LAC

Faisons le point de nos connaissances actuelles sur le Lac TCHAD.

Grâce aux cartes, aux nivellements et aux sondages, l'hydrographie est maintenant très au point.

Il paraît difficile de préciser davantage la limnimétrie, car nous croyons avoir exploité au maximum les quelques données existant sur cette question.

Par contre, l'hydrologie n'est pas terminée, et il serait illusoire de baser les résultats obtenus sur 3 ou 4 ans d'observations.

Il a été constaté que les pertes totales (évaporation et fuites) s'élevaient à 2 260 mm, moyenne dont s'écartent peu les années 1954, 1955, 1956 et 1957.

On a découvert également une méthode qui semble féconde et n'a pas épuisé ses possibilités, qui doit permettre, par les mesures de salinité, de séparer l'évaporation des pertes. Le fait que les pertes sont vraisemblablement surestimées ne saurait nous décourager, alors qu'une seule campagne de prélèvements a été faite à la suite d'une année dont la crue exceptionnelle a bouleversé les conditions où la théorie s'applique : régime interannuel permanent.

Enfin, les mesures de météorologie courante et d'évaporation sur bac Colorado, conjuguées avec le bilan hydrologique, ont permis de déterminer une valeur approchée du rapport entre évaporation sur nappe d'eau libre et évaporation sur bac Colorado installé en dehors de l'influence d'eau libre, soit 66 %.

Il semble que l'évaporation moyenne sur le Lac TCHAD soit voisine de 2 000 mm par an (le bilan hydrologique donne 2 260 mm pour l'ensemble évaporation et pertes).

Les pertes par infiltration seraient comprises entre 5 % et 20 % des apports du CHARI (correspondant respectivement à 100 mm et 400 mm).

La salinité du Lac est connue dans ses grandes lignes pour l'année 1957.