

# ÉTUDE DE QUELQUES COUPES DANS LE QUATERNAIRE RÉCENT DU SUD DU LAC TCHAD

B. DUPONT ET M. DELAUNE

*Section Géologie du Centre ORSTOM de Fort-Lamy  
Laboratoire de Géologie des SSC de l'ORSTOM*

## RÉSUMÉ

Six coupes, effectuées le long des fleuves : Logone et Chari, montrent que le Quaternaire récent, au Tchad, a été le théâtre de deux transgressions lacustres et d'épisodes climatiques arides. Une datation au  $^{14}\text{C}$  permet de préciser la chronologie de ces transgressions.

L'analyse du spectre minéralogique de ces coupes et d'un cordon sableux fossile, contemporain d'une des transgressions, est également présentée.

## SUMMARY

Six sections along the Logone and Chari river courses showed that the recent Quaternary in the Chad had been the scene of two lacustrine transgressions and of arid climatic episodes. A  $^{14}\text{C}$  dating had enabled the dates of these transgressions to be established.

The analyses of the mineralogical spectrum of these sections and of a fossil sandy stringer, contemporary of one of the transgressions, were also given.

## ZUSAMMENFASSUNG

Sechs Schnitte längs der Flüsse Logone und Schari zeigen, dass das jüngere Quartär im Tschad der Schauplatz von zwei Seeübertritten und dürren klimatischen Zeiten war. Eine Altersbestimmung mit  $^{14}\text{C}$  erlaubt es, die Chronologie dieser Übertritte zu bestimmen.

Es wird auch die mineralogische Analyse dieser Schnitte und eines fossilen Sandstreifens, im gleichen Alter wie einer dieser Übertritte, gegeben.

## РЕЗЮМЕ

Исследование нескольких разрезов недавнего четвертичного периода на юге от озера Чад.

*Шесть разрезов, произведенных вдоль рек Логоне и Шафи, показали что в течении недавнего четвертичного периода, в Чаде произошли две озерные трансгрессии и аридные климатические эпизоды. Датирование с помощью С-14 позволило уточнить хронологию этих трансгрессий.*

*Приводятся также результаты анализа минералогического спектра этих разрезов а также полосы ископаемого песка, современной одной из трансгрессий.*

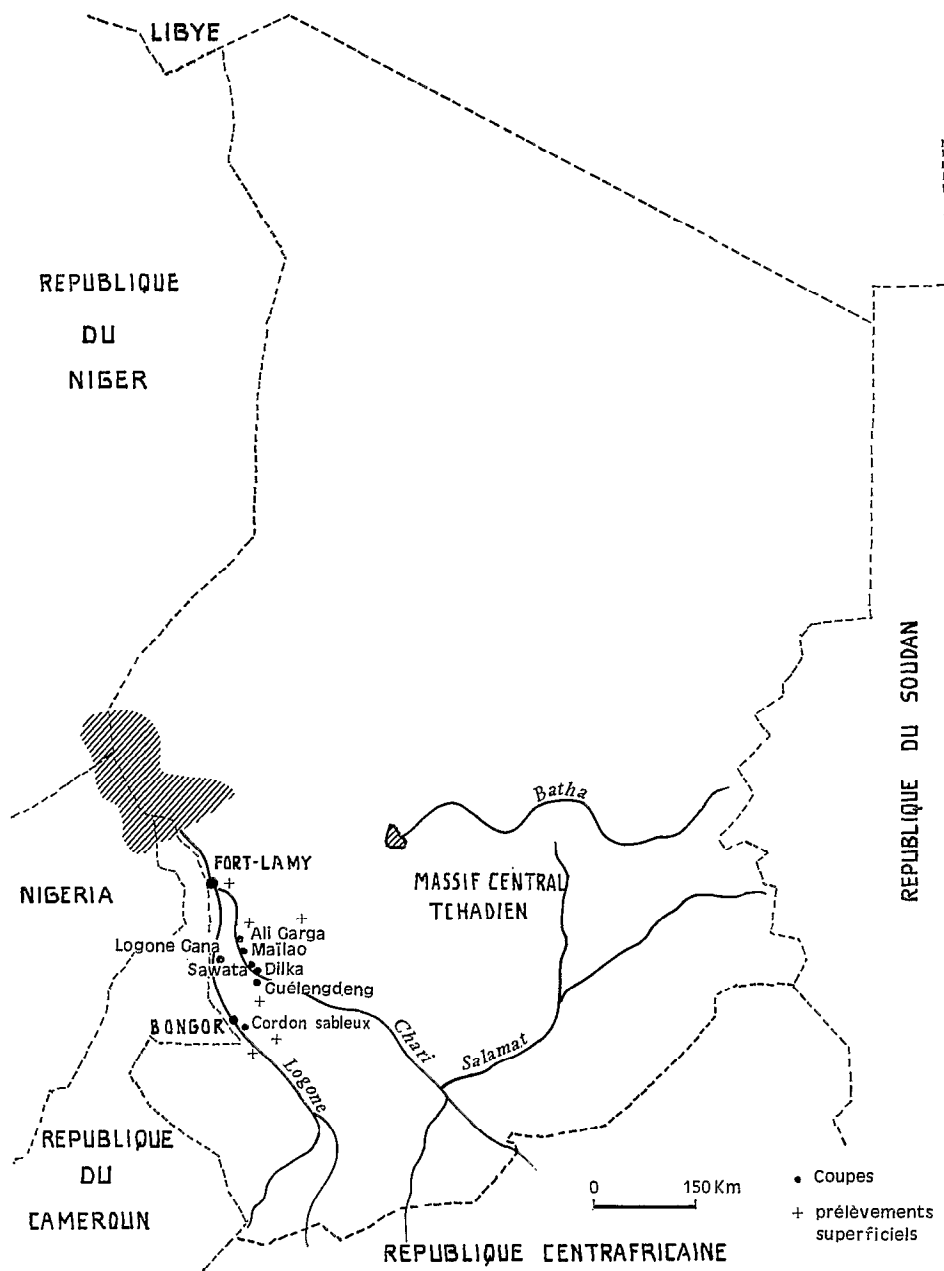


FIG. 1. — Carte de situation des coupes et prélèvements.

## INTRODUCTION

La région du Tchad étudiée ici se situe dans la vallée supérieure du Chari et du Logone, entre Bongor et Fort-Lamy. Ces deux fleuves ont fortement creusé leur lit ; aux périodes de basses eaux ils coulent entre des berges escarpées dont la hauteur peut atteindre 10 m, fournissant, en certains endroits, d'excellentes coupes dans les formations quaternaires qui affleurent très largement au Tchad.

Une étude sédimentologique de ces dépôts quaternaires a été menée sur six coupes, situées respectivement, du sud vers le nord, à Guelengdeng, Dilka, Sawata, Maïlao, Ali Garga sur le Chari, et Logone Gana sur le Logone (fig. 1). Elle est complétée par celle d'un sondage effectué dans un ancien cordon sableux, près de Bongor, et, dans le cas de la minéralogie des sables, par des corrélations avec des prélèvements de surface, compris dans la zone étudiée.

## LITHOLOGIE

Les six coupes (fig. 2) présentent, chacune, une alternance régulière de dépôts meubles, de texture variée, allant des argiles aux sables fins. Certains niveaux sont constants et se suivent d'une coupe à l'autre.

*Coupe de Maïlao*

Cette coupe (11,34 lat. N, 17,5 long. E, cote 296,6 m), prise comme coupe de référence, présente un niveau à débris végétaux daté par la méthode au  $^{14}\text{C}$ .

Du sommet vers la base, la succession est la suivante :

— Sol brun ; nombreux tessons de poteries	0,30 m
a) Sable fin, légèrement argileux, massif, beige ; nombreux nodules calcaires de 1 à 2 cm et concrétions ferrugineuses de 0,1 à 1 cm	0,75 m
— Sable argileux, micacé, beige ; nombreuses taches ocres	1,30 m
b) Argile grise à fentes de dessiccation remplies de sable	0,17 m
— Sable avec lits de quartz gris	0,26 m
— Argile grise ; nodules calcaires de 1 à 2 cm	0,55 m
— Lit de sable blanc	0,01 m
— Argile grise, varvée (12 lits par cm), débris végétaux datés $8220 \pm 200$ BP	0,08 m
c) Sable blanc, fin	0,11 m
— Sable argileux, massif ; nodules calcaires d'environ 1 cm	1,65 m

*Coupes de Sawata et de Guelengdeng*

Sur ces deux coupes, situées plus au sud, on trouve, au-dessous du niveau c de la coupe précédente, un dépôt plus argileux, à nodules calcaires abondants. Ce niveau est le plus bas atteint ; on peut supposer qu'il correspond à un épisode antérieur, distinct (niveau d).

A *Logone Gana* seuls les niveaux a et b ont été recoupés.

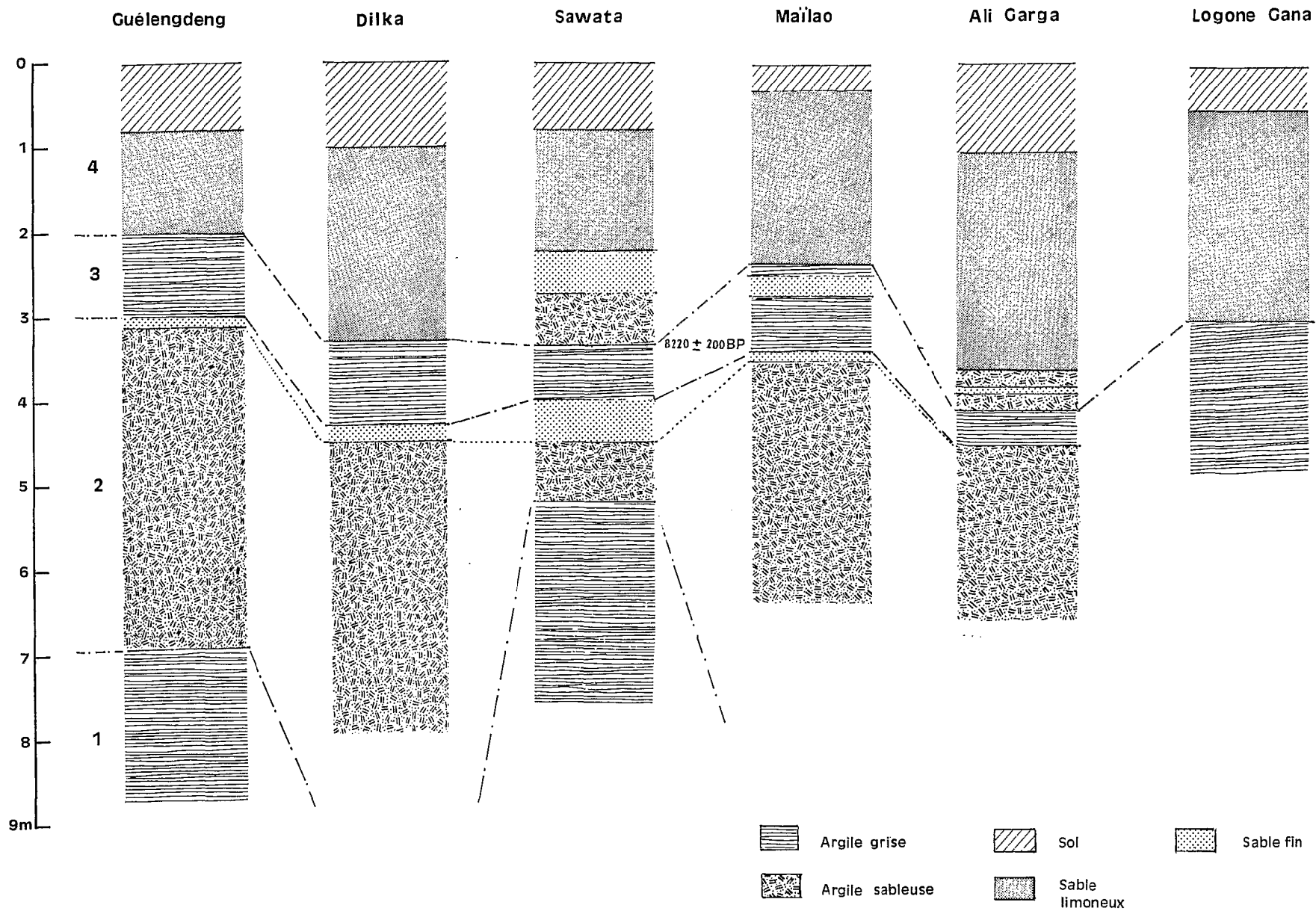


FIG. 2. — Description des coupes.

*Coupe du cordon sableux de Bongor*

Ce cordon, qui atteint la cote 320 m, se suit sur de très grandes distances, dans l'est et le nord du Tchad ; on le retrouve au Cameroun, au Nigeria et au Niger. Il marquerait les limites d'un ancien lac très étendu.

La coupe détaillée ci-dessous a été obtenue par sondage à la tarière jusqu'à six mètres de profondeur.

— Limon brun	0,52 m
— Sable brun, moyen, renfermant au sommet des tessons de poteries	1,68 m
— Sable brun, très pâle, hétérométrique contenant des feldspaths de 2 cm environ	0,70 m
— Sable brun, très pâle, fin	0,15 m
— Sable rose, fin à moyen, hétérométrique	0,55 m
— Sable blanc, fin à très fin, micacé, bien trié	0,60 m
— Sable jaune, moyen	0,30 m
— Sable blanc, fin à très fin, micacé	1,00 m
— Argile grise	? m

*Conclusion*

Les alternances régulières de dépôt rencontrées sur ces coupes montrent que les conditions de sédimentation ont varié au cours du Quaternaire récent, en relation vraisemblablement avec des oscillations climatiques.

Quatre niveaux ont donc été mis en évidence ; ce sont, de bas en haut :

*Niveau 1 (d)* — Argilo-limoneux à nodules calcaires ; il n'a été recoupé qu'en deux endroits (Guélangdeng et Sawata) où, d'ailleurs, il semble passer insensiblement aux formations du *niveau 2*.

*Niveau 2 (c)* — limono-sableux, devenant sableux au sommet.

*Niveau 3 (b)* — argileux ; la limite 2/3 est nette.

*Niveau 4 (a)* — limono-sableux ou sableux.

Nous verrons plus loin à quel niveau correspond le cordon sableux de Bongor, dont la structure diffère de celle des coupes.

L'étude sédimentologique va nous permettre de préciser les causes de ces alternances.

## SÉDIMENTOLOGIE

C'est essentiellement une étude granulométrique détaillée et des déterminations minéralogiques.

*Granulométrie*

Nous avons d'abord envisagé le sédiment total, puis uniquement les sables.

*Sédiment total*

Les paramètres granulométriques que nous avons utilisés sont : la médiane et le faciès.

La médiane représente le diamètre du second quartile  $Q_2$  (50 % de la distribution). Elle nous permet de connaître la classe granulométrique du sédiment : argiles, limons, sables fins, etc.

Le graphique représenté figure 3 donne la répartition des médianes, par coupe, et suivant la profondeur. Les valeurs de ces médianes sont très différentes puisqu'elles varient de  $0,5 \mu$  (argiles) à  $115 \mu$  (sables fins).

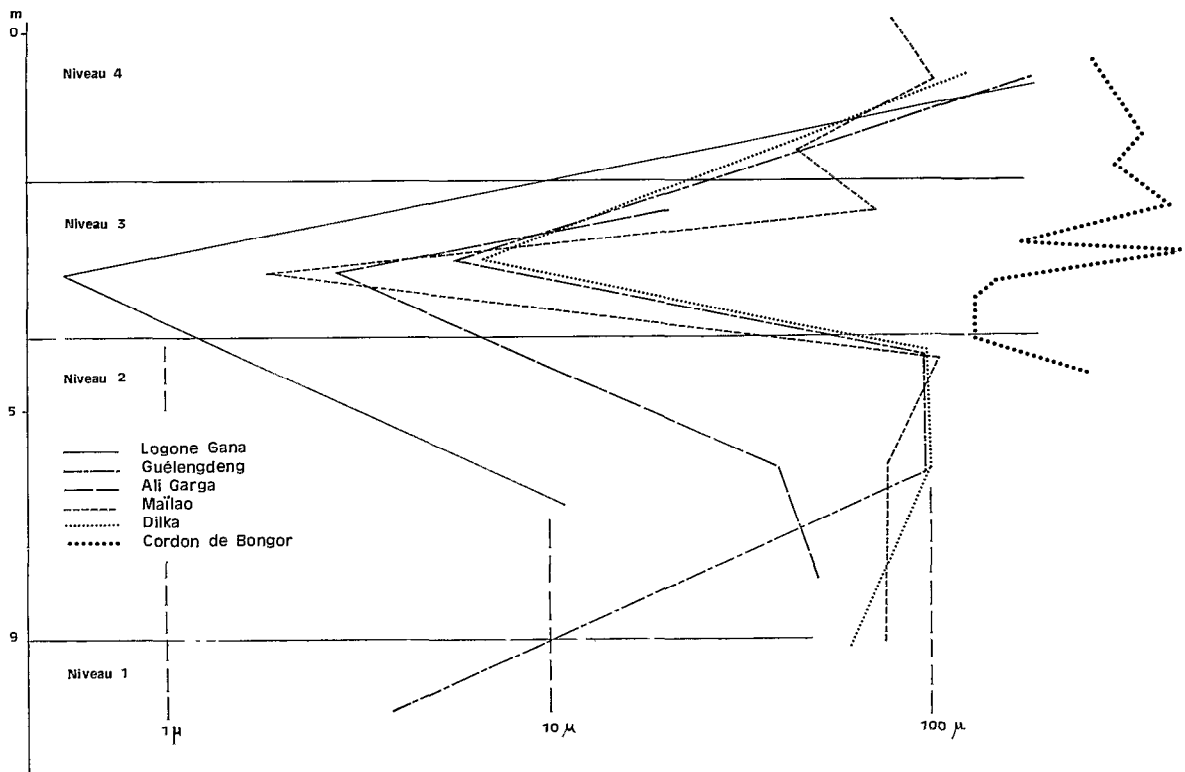


FIG. 3. — Evolution des médianes.

Leur répartition selon la profondeur fait ressortir les alternances déjà entrevues lors de la description de la coupe de Maïlao.

Le peu de déterminations faites sur le *niveau 1* ne permet pas de tirer des conclusions, toutefois, les trois médianes ( $3,6 \mu - 2,8 \mu - 5,4 \mu$ ) en font des dépôts argileux.

On passe ensuite *au niveau 2*, à des dépôts d'abord limoneux ( $96 \mu - 59 \mu - 75 \mu - 49 \mu$ ) devenant sableux au sommet ( $Md \neq 96 \mu - 94 \mu - 98 \mu$ ). Ces trois valeurs, très proches, montrent l'uniformité des conditions de dépôt à ce moment et représentent un niveau repère (sables blancs, fins, sur les coupes).

Puis on retrouve des médianes faibles au *niveau 3* ( $Md = 5,4 \mu - 6,4 \mu - 1,8 \mu - 2,7 \mu - 0,5 \mu$ ). Cette récurrence fine est très nette.

Enfin les sédiments redeviennent sableux au *niveau 4* (sables fins à moyens :  $Md = 118 \mu - 120 \mu - 175 \mu - 106 \mu - 185 \mu$ ).

On retrouve la coupure en quatre niveaux :

argiles/sables/argiles/sables.

Il faut remarquer que les deux récurrences fines ont des médianes proches, le niveau sableux 2 des médianes assez basses ; il est limoneux à la base, puis sableux. Ces sables blancs, fins, qui surmontent la série, dérivent des limons par élimination de la fraction fine (par déflation). Il est certain que ces sédiments

proviennent du remaniement de formations sédimentaires ayant déjà subi un certain triage et qu'ils ont été mis en place par de faibles courants.

Au *niveau 4* les médianes sont plus variées mais restent cependant peu élevées (sables fins et moyens), il n'y a donc pas eu d'apports nouveaux. Les remaniements qui ont pu se produire ont eu des amplitudes faibles.

Le *cordon de Bongor* représenté à droite du graphique est essentiellement sableux et plus grossier que ceux des coupes malgré quelques récurrences fines à la base.

#### *Faciès des courbes*

L'allure de la courbe cumulative connue par superposition de cette courbe à un faisceau de courbes canoniques calculées d'après un indice de faciès Ng aide à connaître le mode de dépôt des sédiments. [Indices d'évolution de A. RIVIÈRE, 1967].

Les niveaux argileux (1 et 3) ont des courbes comparables, à faciès « hyperbolique » : faciès qui s'applique aux sédiments déposés par décantation dans des eaux calmes, lacs ou plaines d'inondation de fleuves ; ainsi, le niveau 3, bien individualisé, peut s'interpréter comme une vaste étendue lacustre, soumise à des variations saisonnières comme en témoignent les varves trouvées à Maïlao (vasières littorales). Ces varves montrent la rythmicité de ce dépôt lacustre et sont dues à l'inondation régulière d'une zone basse par suite d'avancées du lac au moment de ses plus hautes eaux (actuellement l'amplitude moyenne des variations annuelles du niveau du lac Tchad est de 1 m).

Les niveaux sableux et limono-sableux (2 et 4) ont des courbes à faciès bimodal, qui traduisent la dualité du dépôt ; la fraction fine, généralement peu importante, évolue par décantation, alors que les sables se déposent au cours d'un transport. Ces deux niveaux évoquent un régime fluvial, deltaïque, qui serait responsable des importantes variations d'épaisseur et de structure des bancs sableux.

On note qu'à Maïlao des coupes relevées à quelques centaines de mètres de part et d'autre de la coupe détaillée ci-dessus, font apparaître d'importantes variations dans l'épaisseur des niveaux sableux ; ainsi, le niveau de sable argileux de 1,30 m d'épaisseur (en 4) de la coupe de référence n'est plus que de 0,50 m à quelques dizaines de mètres en aval, pour atteindre une épaisseur de 3 m à une centaine de mètres plus loin. A cet endroit le niveau de sable intercalé entre les deux niveaux d'argile (en 3) disparaît complètement.

Cette sédimentation très irrégulière et le faciès des sédiments évoquent l'image d'un réseau fluvial très développé avec des bancs de sables (bourrelets de berge) créés par des bras de fleuve, s'écoulant sans lit nettement fixé, sur une plaine alluviale fonctionnant comme un vaste delta.

#### *Sables*

La granulométrie de la fraction sableuse (50 à 2 000  $\mu$ ) a été représentée sous forme de courbes de fréquence qui se regroupent en quatre types (fig. 4) :

— *Type éolien* : la courbe est unimodale, très redressée ; les sables sont fins avec parfois un léger apport grossier.

— *Type éolofluvial* : la courbe est généralement unimodale, mais plus étalée que la précédente ; elle semble garder encore quelques caractères fluviaux.

— *Type fluvial éolisé* : il fait transition entre le précédent et les sables typiquement fluviaux ou ruisselés. Il y a très souvent deux modes de même importance.

— *Type fluvial ou ruisselé* : la courbe est très étalée, sans mode bien défini.

Les sables éoliens typiques (fig. 4) n'apparaissent qu'à partir de Maïlao ; à Ali Garga et Logone Gana, c'est-à-dire en remontant vers le nord, ils sont constants aux niveaux 3 et 4.

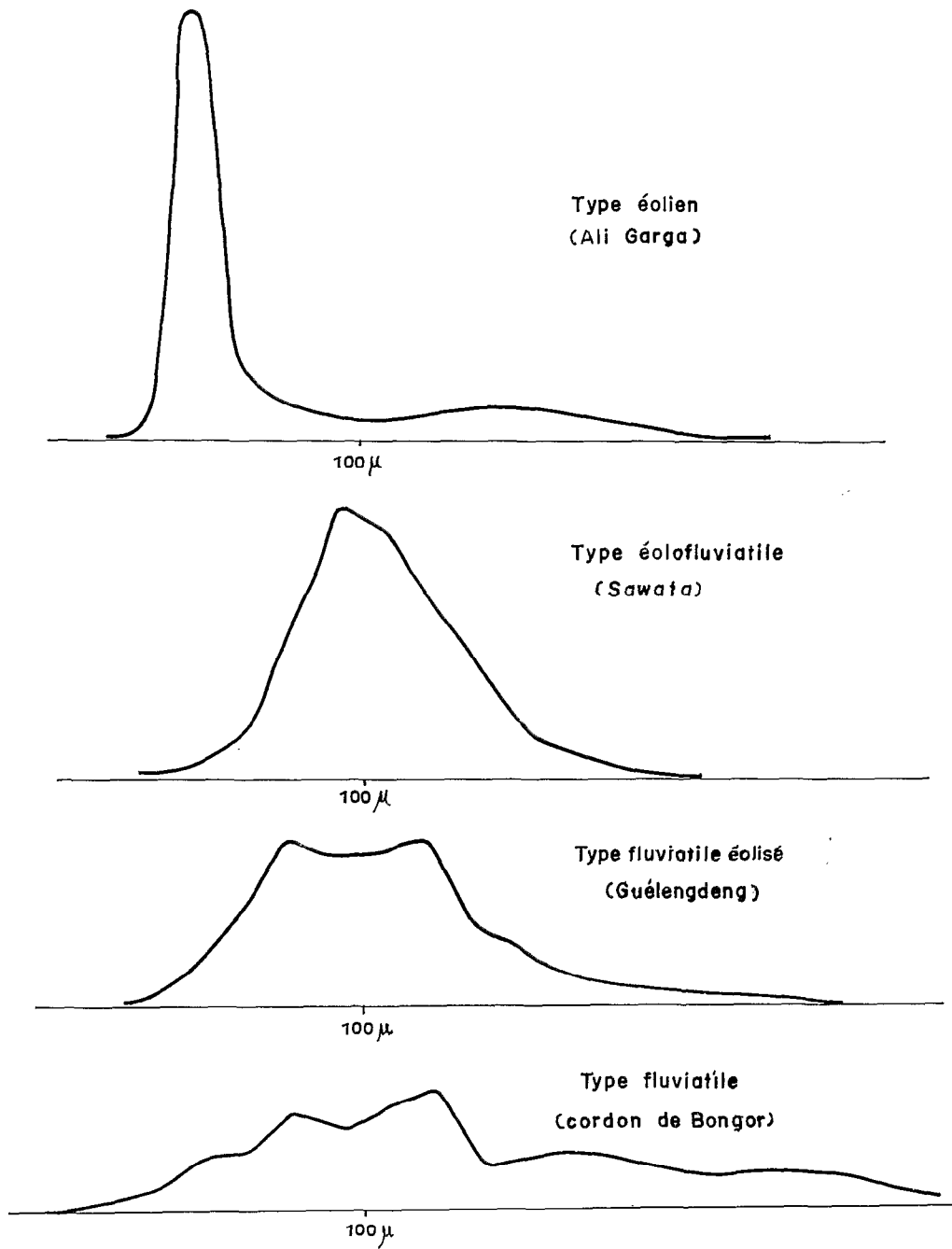


FIG. 4. — Courbes de fréquence des sables.



Les sables des formations 1 et 2 sont, pour toutes les coupes, soit éolofluviatiles soit fluviatiles éolisés. Les influences éoliennes qui ont fortement marqué les formations postérieures (3 et 4) ont été à ce moment de moindre importance.

Il est possible alors d'envisager qu'à l'image des deux manifestations lacustres illustrées par les niveaux argileux, il y a eu au moins deux épisodes éoliens.

### *Conclusions*

Les analyses granulométriques nous ont permis de voir que la région du Tchad étudiée ici, présentait les caractères d'une zone deltaïque qui, à certains moments, avait été inondée par des avancées lacustres, et, à d'autres, remaniée sous des influences arides.

### *Minéraux lourds*

Nous terminerons la description de ces dépôts quaternaires par un bref aperçu de leur spectre minéralogique.

Trois associations s'individualisent :

— *Groupe 1* : minéraux peu résistants (hornblende essentiellement) auxquels on peut joindre un minéral repère (épidote) : ces deux minéraux évoluant dans le même sens.

— *Groupe 2* : minéraux des roches métamorphiques qui sont ici par ordre de fréquence : staurotide, disthène, sillimanite, andalousite et grenat.

— *Groupe 3* : minéraux dits ubiquistes (tourmaline, zircon, rutile) qui sont les plus résistants à l'érosion et aux remaniements.

Le tableau I donne la composition minéralogique de la coupe de Maïlao, du cordon de Bongor, et plusieurs prélèvements de surface proches des points étudiés.

Les renseignements que nous apportent ces déterminations sont les suivants :

Dans l'ensemble la composition est homogène, les associations dominantes étant celles des groupes 1 et 2. En certains endroits on remarque l'apparition en proportions notables, de hornblende ou d'épidote, ou les deux ensemble. Ces variations ne sont pas liées à un niveau particulier : elles apparaissent au niveau 3, à Maïlao, dans des formations actuelles (delta du Chari) ou des dépôts anciens (niveau 1 à Mindera).

Ces minéraux du groupe 1 (épidotes - hornblendes) sont donc liées à des conditions particulières de sédimentation, sans rapport avec les variations d'origine climatique observées aux paragraphes précédents ; il faut, à ce propos, accorder une attention particulière au cordon de Bongor.

Sa composition minéralogique est constante, la hornblende y est le minéral dominant. Ce phénomène est très localisé puisque sur ce même cordon, mais plus au nord (Mo 27 et T 47), la composition est du même type que pour les coupes.

A Mindera, le niveau riche en épidotes (niveau argileux 1) se présente sous forme de lentille dans des sédiments où dominent les groupes 2 et 3.

La façon dont se présentent les dépôts à hornblende et épidote (en certains points du cordon sableux, en lentille, dans un banc sableux intercalé dans des argiles à Maïlao) fait penser à des apports sporadiques et courts de matériel frais puisque les minéraux qui les constituent sont relativement altérables. On peut les interpréter comme des dépôts de crues provenant de l'érosion des massifs. Ces sables se trouveraient ensuite mélangés aux autres formations avec pour conséquence une homogénéisation du spectre minéralogique.

TABLEAU I

*Répartition des Minéraux lourds*

Echantillons	Groupe 1		Groupe 2					Groupe 3			Divers
	Horn- blende	Epi- dotes	Stau- rodite	Dis- thène	Silli- manite	Anda- lousite	Gren- nat	Tour- maline	Rutile	Zircon	
Cordon de Bongor											
Base .....	59	29	2		5			1	1	3	
Sommet .....	52	26	3	1	1		2	2	2	11	
Coupe de Maïlao											
Niveau 2											
20 .....	5	23	10	5	2		1	10	7	37	
21 .....	6	26	14	3	4	3	1	5	6	32	
Niveau 3											
22 .....	3	20	14	6	4	5	1	7	8	32	
24 .....	2	24	18	1	2	3	2	2	8	38	
26 .....	13	41	16	2	4	3	2	6	4	8	1
27 .....	5	18	25	4	4	1	3	5	10	21	1
Niveau 4											
28 .....	8	13	15	9	3	1	1	8	8	34	
29 .....	7	27	14	7	3	4	1	7	11	19	
Prélèvements de surface (thèse Pias)											
Cordon sableux											
Mo 29 .....		14	24	36	10			6	6	8	
T 47 .....		14	8	10	12	4		12	12	22	6
Niveau 2											
T 46 .....	30	12	10	2	16	2		6		14	8
T 39 .....	10	10		2	6	6		2	2	62	
Mo 21 .....	2	10	34	14	8		2	18	4	8	
Mo 15 .....	14	34	12	2	10	6	2	6	4	6	4
Niveau 4											
T 51 .....	6	40	8	14	4		2	16	2	8	2
Mindera											
Niveau 1	27	40	3	1	3	1		2	2	21	
Delta du Chari											
T 279 .....	34	23	10	2	3			12	2	14	

## CONCLUSIONS

Ces alternances : dépôt argileux, dépôt sableux ont déjà été décrites depuis longtemps pour l'ensemble de la cuvette tchadienne. PIAS, dans sa thèse (1968), lie ces épisodes sédimentologiques différents à des variations climatiques (périodes arides et périodes pluviales). Pour le territoire du Tchad il propose le schéma chronologique suivant :

Etage	Niveau du lac en m	Sédimentation	Remaniement éolien Limite inférieure	Age approximatif BP d'après divers auteurs (1)
Actuel	282	Dépôt argileux (polder)	Erg actuel (16° parallèle)	
4° transgression	287-290	Série alluviale actuelle à subactuelle. Série argileuse subactuelle à récente (3° delta).		1 800 3 200
Réurrence sèche			3° erg (12° parallèle).	
3° transgression	320	Série argileuse récente. Série sableuse récente (2° delta).		5 400 12 000
Réurrence sèche			2° erg (12° parallèle).	
2° transgression		Série fluvio-lacustre ancienne.		20 000
Réurrence sèche	400		1 <sup>er</sup> erg (10° parallèle).	30 000 40 000 (?) 50 000 (?)
1 <sup>re</sup> transgression		Série ancienne remaniée (1 <sup>er</sup> delta).		

(1) FAURE 1966, SCHNEIDER 1967, SERVANT 1967.

Or les varves trouvées à Maïlao (niveau 3) ont été datées au  $^{14}\text{C}$  et la valeur obtenue est de  $8\,220 \pm 200$  BP. A cette époque J. PIAS place une phase pluviale conduisant à la « 3° transgression lacustre ». SERVANT (1967) situe également dans les Bas Pays (nord du Tchad) un maximum lacustre vers 8 400 BP. Cette date de 8 200 ans marque la fin de l'alimentation détritique importante venant du sud, liée à un phénomène de moussons. Après cette date le lac existe encore quelque temps jusque vers 7 000 ans, cette permanence étant liée soit à un climat plus froid, une évaporation réduite ou une alimentation par les nappes.

Le niveau que nous avons appelé 3 est donc bien un dépôt lacustre (cela concorde avec les analyses sédimentologiques) correspondant à un phénomène général qui a affecté une grande partie du Tchad.

Ce niveau 3 étant replacé dans la chronologie du Quaternaire au Tchad, il nous reste à voir à quelles formations appartiennent les autres niveaux.

Le niveau 2, antérieur au niveau 3, et qui présente des caractères fluviaux serait l'équivalent de la série sableuse récente (2° delta du Chari) ; il marquerait le début de la 3° transgression.

Le niveau 1 pourrait être assimilé à la « série fluvio-lacustre ancienne » (2° transgression). Entre les deux transgression, PIAS place une période aride ayant amené la formation d'ergs; ces ergs ne se sont

pas étendus au-delà du 12° parallèle (c'est-à-dire à la latitude de Fort-Lamy) ; les sables de ce niveau ne présentent pas des traces très marquées d'éolisation puisqu'ils se trouvent un peu en retrait de la zone d'influence éolienne (ces récurrences sèches qui ont affecté le Quaternaire se déplaçaient parallèlement à l'équateur en venant du nord).

Le niveau 4, dont les dépôts sont assez variés, représente soit la manifestation de la récurrence sèche qui sépare les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> transgressions (sables du type éolien) soit le début de la 4<sup>e</sup> transgression (« série argileuse subactuelle à récente ») ; les sables sont alors à caractères fluviaux ou ruisselés.

La dernière récurrence sèche est très visible sur les coupes les plus septentrionales : Maïlao, Ali Garga, Logone Gana.

*Le cordon de Bongor* : cet important cordon sableux marquait les limites d'un lac, à la cote 320 m, qui est donc celui de la 3<sup>e</sup> transgression. L'histoire de ce cordon a été assez complexe ; en certains endroits, comme à Bongor, il a été démantelé par des arrivées fluviales (jeunesse des minéraux lourds ; type fluvial ou ruisselé des sables) ; dans l'Angamma, M. SERVANT a observé un cordon à 320-330 m au-dessus d'un delta et mis en place entre 10 000 et 6 000 ans.

La région du Tchad étudiée ici s'intègre dans le processus des transgressions et régressions lacustres qui ont affecté la cuvette tchadienne (au Tchad, Cameroun, Nigeria, Niger).

Par rapport à l'ensemble de la cuvette nous ne sommes pas ici dans la zone lacustre franche. La sédimentation est, nous l'avons vu, essentiellement détritique, fluvio-lacustre, alors qu'au nord (Kanem, Angamma, SERVANT, 1970) on trouve des dépôts typiquement lacustres (diatomites, marnes à mollusques lacustres).

*Manuscrit déposé le 25 mai 1970*

#### BIBLIOGRAPHIE

- CABOT (J.), 1967. — Les lits du Logone. Etude géomorphologique. SEDES, Paris.
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.), 1959. — Initiation à l'étude des sables et des galets. CDU, Paris.
- DUPLAIX (S.), 1958. — Détermination microscopique des minéraux des sables. Lib. Polytechnique. Paris, 2<sup>e</sup> éd., 96 p.
- FAURE (H.), 1969. — Les lacs quaternaires du Sahara. Ass. Internat. Limnol. théor. appl. Commun., n° 17, pp. 131-146, 3 fig. Stuttgart.
- PIAS (J.), GUICHARD (E.), 1957. — Origine et conséquence de l'existence d'un cordon sableux dans la partie sud-ouest de la cuvette tchadienne. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 244, n° 6, pp. 791-793.
- PIAS (J.), 1968. — Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent (république du Tchad). Mém. ORSTOM n° 43, 426 p., 2 cartes h.t., sous presse.
- RIVIERE (A.), 1967. — Méthodes granulométriques en géologie. Mises à jour scientifiques, 2, pp. 243-262, Gauthier-Villars, Paris.
- SCHNEIDER (J.L.), 1967. — Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques au Bas Pays du Tchad. Bull ASEQUA n° 14-15, pp. 18-23, 1 carte.
- SERVANT (M.), 1970. — Données stratigraphiques sur le quaternaire supérieur et récent au nord est du lac Tchad. *Cah. ORSTOM sér. Géol.*, vol. II, n° 1.
- FAURE (H.), 1966. — Evolution des grands lacs sahariens à l'holocène quaternaire. *Ital.* n° 8, pp. 167-175.
- PIAS (J.), 1962. — Les sols du moyen et bas Logone, du bas Chari, des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr-el-Ghazal. Mém. ORSTOM n° 2, 438 p., 32 pl., tabl., 15 cartes h.t.

# SALURES GLOBALES ET SPÉCIFIQUES DES EAUX DU LAC TCHAD

J.P. CARMOUZE

*Section hydrobiologie du Centre ORSTOM de Fort-Lamy*

## RÉSUMÉ

La salure globale des eaux du Chari faiblement minéralisées (conductivité = 55 - 65  $\mu$  mhos), sous l'effet d'une évaporation intense augmente progressivement dans le lac Tchad pour atteindre des valeurs qui sont respectivement à l'est et au nord du lac, cinq et dix fois supérieures. La distribution spatiotemporelle de la salure globale de ces eaux en 1968, établie par des mesures de conductivité, a permis de décrire sommairement la dynamique des eaux au cours de cette période.

La composition saline relative de ces eaux (carbonate de Na, K, Ca, Mg et silicates) subit indépendamment de la salure globale, des modifications dont les principales sont localisées au niveau de la « Grande Barrière » et dans l'archipel est du lac.

## ABSTRACT

The total salinity of the slightly mineralised Chari waters (conductivity = 65 - 55  $\mu$  mhos), submitted to an important evaporation, increases progressively in lake Chad to reach values, which are respectively in the east and the north part five and ten times higher. The space and time distribution of the total salinity of the waters in 1968, established by conductivity measures, has permitted to describe roughly the dynamic of the waters.

The relative saline composition of the waters (carbonates of Na, K, Ca, Mg and silicates) undergoes changes, independently of the total salinity, the most important of which are to be found in the « Grande Barrière » and the east archipelago.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der globale Salzgehalt der nur schwach mineralhaltigen Wasser des Schari (Leitfähigkeit 55 - 65  $\mu$  ohm) nimmt allmählich unter dem Einflusseiner intensiven Verdunstung im Tschadsee zu und erreicht Werte die im Osten und im Norden den Sees fünf bzw. Zehn mal höher sind. Die Verteilung des globalen Salzgehaltes über den Raum über die Zeit ist im Jahre 1968 für dieses Wasser durch die Messung der Leitfähigkeit ermittelt worden und hat es erlaubt summarisch die Dynamik des Wassers während dieses Zeitraumes zu beschreiben.

Die relative Verteilung des Salzgehaltes dieses Wassers (Karbonate des Na, K, Ca, Mg und Silikate) weist unabhängig vom globalen Salzgehalt Veränderungen auf, von denen die wichtigsten in der Ebene der « Grande Barrière » und im östlichen Archipel des Sees örtlich bestimmt sind.

## РЕЗЮМЕ

Общая степень засоления слабо минерализованных вод р. Шари (проводимость = 55-65 мкмо), постепенно увеличивается в озере Чад под действием сильного испарения и достигает соответственно в пять и в десять раз более высоких значений на востоке и на севере озера. Исходя из распределения, в пространстве и во времени, общей степени засоления этих вод в 1968 - ом году, установленного путем измерений проводимости, автор дает краткое описание динамики вод в течении этого периода.

Сравнительный солевой состав (карбонат Na, K, Ca, Mg и силикаты), независимо от общей степени засоления, подвержен изменениям, главные из которых наблюдаются на уровне « Большого Барьера » и в восточном архипелаге озера.

Le lac Tchad a pour particularité d'être une cuvette d'accumulation des eaux du Chari, située en zone semi-aride, de faible profondeur (4 m en moyenne) et privée d'exutoire. Un étranglement naturel de la cuvette subdivise cette dernière en deux bassins, bordés chacun d'eux, à l'est et au nord, d'un archipel. La zone de communication (profondeur 1 à 2 m) est encombrée de nombreuses îles de végétation ou « îlots bancs » (fig. 1).

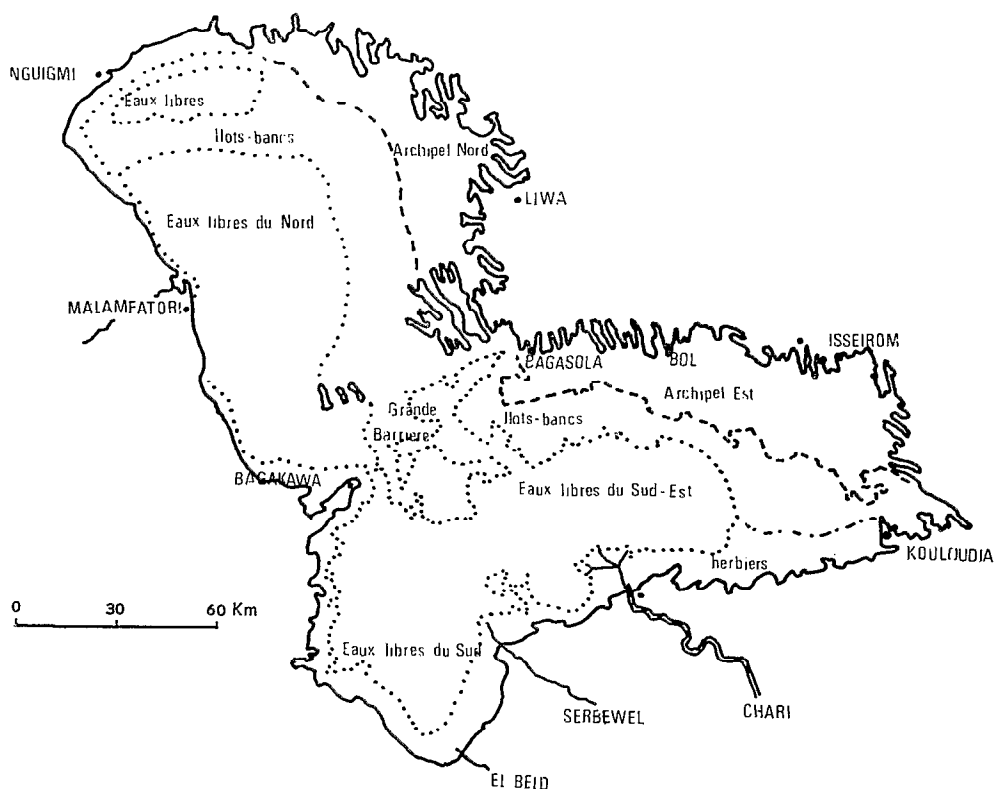


FIG. 1. — Carte physique du lac Tchad (par B. Dupont).

Dans ce système endoréique, sous cette latitude, l'évaporation est le principal facteur de modification des salures des eaux. Certains paysages du lac (archipel, îlots bancs, herbiers) ont également une action spécifique sur les salures essentiellement composées de carbonates de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium à l'état ionisé et de silicates faiblement ionisés.

Le phénomène d'évaporation est exprimé dans l'espace par une augmentation graduelle de la salure des eaux dans le lac à partir du delta (BOUCHARDEAU, LEFÈVRE, 1957 ; GRAS et al., 1967 ; HOPSON, 1968 ; CARMOUZE, 1968, 1969 ; ROCHE, 1969). Les eaux d'alimentation faiblement minéralisées (conductivité à 25° = 45 à 60 micromhos·cm<sup>-1</sup>) atteignent des valeurs de conductivité 4 fois, 7 fois et 15 fois plus élevées respectivement au sud, à l'est et au nord du lac. Ces constatations faites à partir de mesures de conductivité ne concernent que les composés ioniques. Les silicates peu ionisés ont des gradients de concentration différents. Les eaux du nord et de l'est sont 4 à 5 fois plus riches en silicates que celles du delta (20 mg SiO<sub>2</sub> « réactif » dissous/l) (fig. 2). Pour ce composé, à l'effet d'évaporation est superposé un « effet de paysage » fictif ou réel : dans l'archipel est, il y a un enrichissement relatif très marqué des silicates par rapport aux composés ioniques (CARMOUZE, 1968).

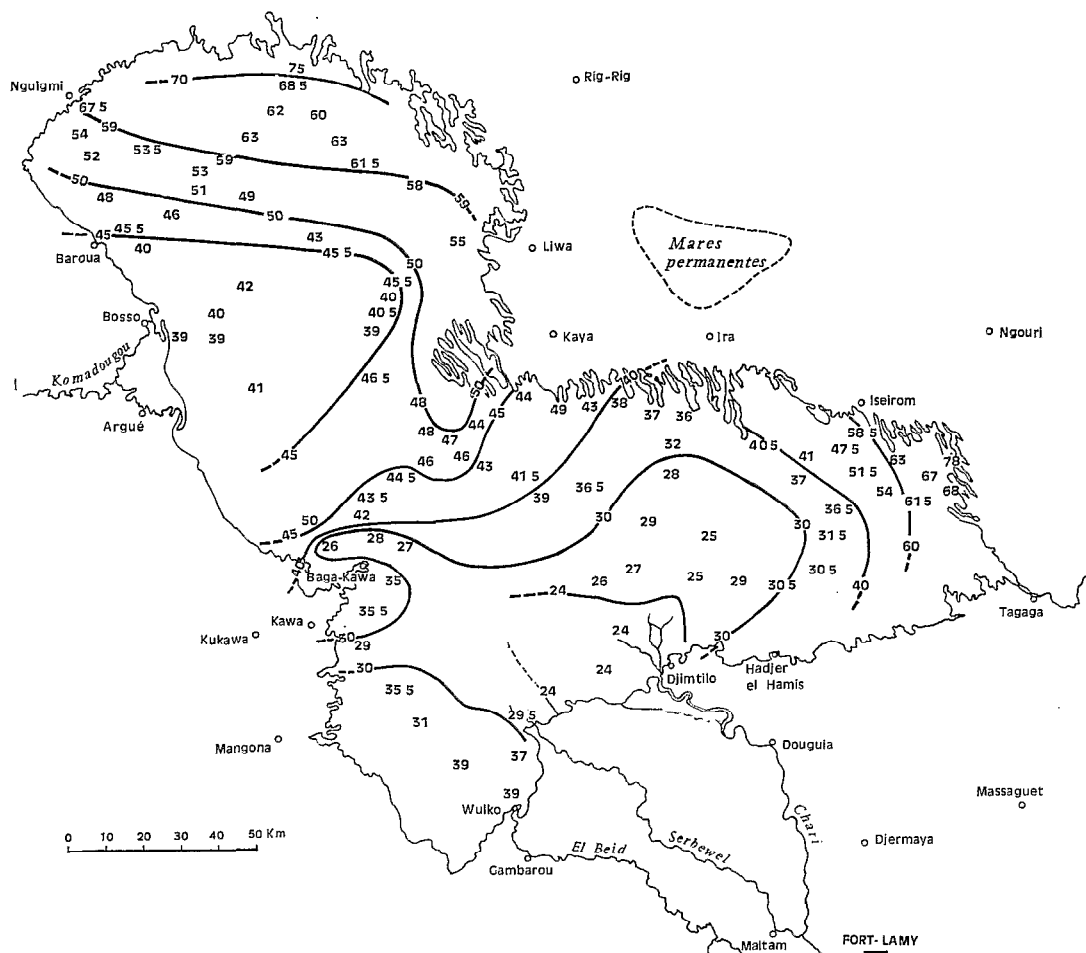


FIG. 2. — Carte de la distribution des silicates exprimés en mg SiO<sub>2</sub>/l (Avril 1968).

Indépendamment des salures globales, toujours dans l'espace, la composition ionique relative des eaux subit des modifications dont les principales sont localisées dans la zone de communication des deux bassins nord et sud-est appelée Grande Barrière, au sud de cette zone et dans l'archipel est.

Après la traversée de la Grande Barrière, les eaux du bassin sud-est à dominante calcique (Ca = 38 %, Mg = 29 %, Na = 23 %, K = 10 %), deviennent à dominante sodique (Na = 38 %, Ca = 27 %, K = 10 %).

Mg = 25 %, K = 10 %) dans le bassin nord. Des modifications analogues sont constatées au sud du lac ; elles sont supérieures aux variations temporelles, aussi ces masses d'eaux gardent-elles leur individualité toute l'année. Il s'agit probablement d'un phénomène d'échange ionique entre l'eau et la phase argileuse en suspension ou entre l'eau et le sédiment (fig. 3).

Dans l'archipel est, au fur et à mesure que l'on s'éloigne des eaux libres, on remarque que les eaux sont de plus en plus riches en sodium et de plus en plus pauvres en magnésium en proportion relative. Ce type de variation de la composition ionique relative des eaux, de moindre importance que le précédent peut être dû en partie aux variations de la composition saline des eaux fluviales, mais il semble en outre que cette région soit le siège de mécanismes qui enrichissent les eaux en sodium au dépens du magnésium (fig. 3).

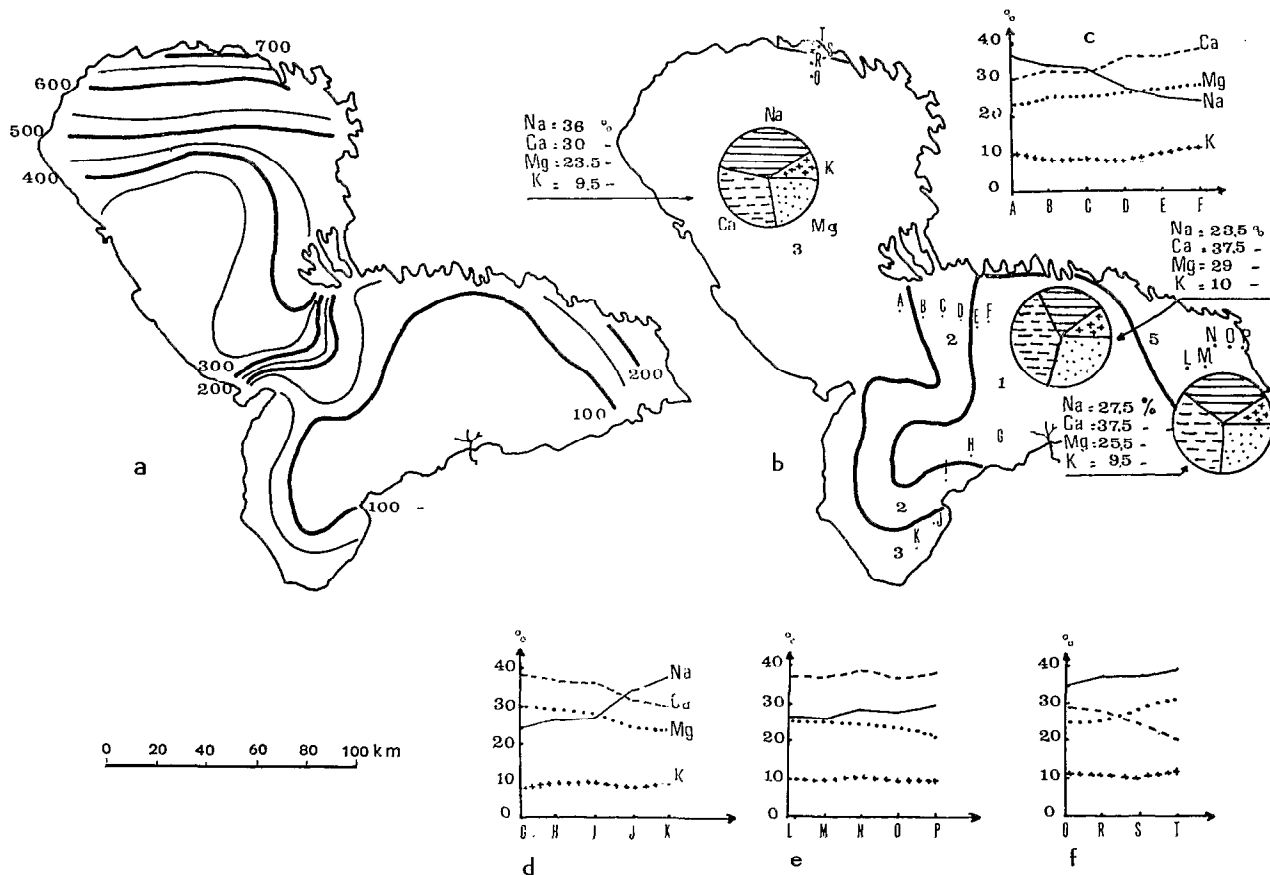


FIG. 3. — Variations spatiales de la conductivité et de la composition ionique relative des eaux (avril 1968), de a à f.

Dans les culs de sac du sud, du nord et de l'est du lac, les conductivités des eaux qui sont respectivement égales à 250, 600 et 1 200 micromhos, subissent de faibles variations temporelles. Il en est de même des silicates. Ces salures limites, non explicables par des phénomènes chimiques de précipitation des sels (seuls certains fonds de bras du lac sont le siège de précipitation de carbonate de calcium) sont réglés par l'équilibre des pertes de sels par infiltration et les apports d'origine fluviale. Le temps d'exposition des eaux à l'évaporation étant le facteur prédominant, en première approximation on peut poser que les eaux de même salure ont le même temps de séjour dans le lac. Ainsi les eaux de l'extrême nord seraient respectivement deux et quatre fois plus âgées que celles de l'est et du sud. Cette relation approximative entre la



salure et le temps de séjour des eaux permet d'interpréter la distribution spatio-temporelle de la salure des eaux dans l'ensemble du lac, en grande partie par la dynamique des eaux, et inversement permet d'approcher cette dernière en prenant en considération les principaux phénomènes qui la règlent (régime des apports fluviaux régime des vents pour les principales forces tractrices, caractéristiques morphologiques de la cuvette pour les forces résistantes).

En septembre, sous l'influence de la crue du Chari les eaux du sud-est pénètrent dans le bassin nord, principalement par la partie est de la Grande Barrière. Elles refoulent les eaux de 400 à 600 micromhos, En hiver les eaux de crue continuent leur pénétration dans le bassin nord, essentiellement en longeant la côte ouest. Une partie de ces eaux décrit un trajet circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre et revient sur la Grande Barrière, enrichie en sels ( $C = 300$  à  $400$  micromhos). En avril ce retour des eaux provoque le refoulement des eaux du sud-est qui pénètrent plus largement dans l'archipel est et dans la partie sud du lac (Hopson, 1968 ; Carmouze, 1968, 1969 ; Roche, 1969). Il est à remarquer que le régime des vents ne favorise pas les échanges d'eaux entre les deux bassins ; par contre il expliquerait la pénétration préférentielle des eaux de crue au nord-est de la Grande Barrière en août et septembre au sud-ouest de celle-ci en hiver. Il y a donc déplacement des eaux du bassin sud au bassin nord d'août-septembre à février-mars, tandis que d'avril à août les échanges sont très faibles.

Les effets spécifiques de paysage provoquant des modifications des teneurs ioniques relatives et des teneurs absolues en silicates dissous font l'objet d'études plus fines comprenant essentiellement l'étude des équilibres entre les eaux du lac et les eaux interstitielles sous-jacentes (collaboration B. DUPONT), des interactions biochimiques (eaux-masses végétales, l'influence éventuelle des mollusques dans des régions du lac très fortement colonisées par ces derniers...).

Les données sur la nature, l'intensité de ces effets régionaux doivent contribuer à une meilleure compréhension de la dynamique des différents sels dans le lac, dynamique principalement réglée par le jeu des apports d'origine fluviale et des pertes par infiltration ; les pertes par dépôt de sels sont limitées à la précipitation partielle de carbonate de calcium dans la frange nord du lac (\*).

*Manuscrit déposé le 25 mai 1970*

#### BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHARDEAU (A.), LEFÈVRE (R.), 1957. — « Monographie du lac Tchad ». Service Hydrol. ORSTOM, 112 p.
- CARMOUZE (J.P.), 1968. — « Ions majeurs phosphates et silicates dans le lac Tchad en avril 1968 ». Centre ORSTOM, Fort-Lamy, 18 p. 18 fig.
- CARMOUZE (J.P.), 1969. — « Salure globales et spécifiques des eaux du lac Tchad en 1968 ». 13 p. 6 fig., *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, vol. III, n° 2, pp. 3-14.
- GRAS (R.), ILLIS (A.), LEVRQUE-DUWAT (S.), 1967. — « Le plancton du bas Chari et la partie est du lac Tchad ». *Cah. ORSTOM sér. Hydrobiol.*, I, n° 1-4, pp. 25-100.
- HOPSON (A.J.), 1968. — « Annual report 1966-1967 Federal fisheries services lake Chad Research station-Malamfacori, Republic of Nigeria ».
- ROCHE (M.A.), 1969. — Evolution dans l'espace et le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. VI, n° 1, pp. 35-74.

(1) Cette note est un résumé de résultats présentés en grande partie par CARMOUZE (J.P.), 1968 et 1969.