

LES FORMATIONS LACUSTRES ET LES DIATOMÉES DU QUATERNAIRE RÉCENT DU FOND DE LA CUVETTE TCHADIENNE

par Michel SERVANT et Simone SERVANT*

RESUME. — Deux grandes formations sont individualisées dans le Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. La première attribuée au Pléistocène supérieur comprend des sables dunaires où s'intercalent des couches lacustres datées de 41 000 à 22 000 ans B.P. par la méthode du radiocarbone. La seconde admet deux séquences principales de dépôt qui correspondent à deux extensions lacustres successives : la plus ancienne (12 000-11 000 ans B.P.) se rattache à la fin du Pléistocène (Tardiglaciaire de l'Europe occidentale), la plus récente (10 000-2 500 ans B.P.) à l'Holocène (Postglaciaire).

L'évolution des associations de diatomées dans les séries sédimentaires permet de reconstituer les variations du niveau des anciens lacs depuis 12 000 ans, les changements de paléosalinité et de température. Ces séries contiennent à tous les niveaux des espèces tropicales exceptionnellement associées à des formes de milieux tempérés.

Les dépôts lacustres sont essentiellement constitués de silice biochimique et d'argiles gonflantes du groupe de la montmorillonite, ces dernières probablement remaniées à partir des vertisols et des solonetz solodisés de la couverture pédologique. De puissants édifices deltaïques sableux et argileux localisés sur les bordures méridionales et septentrionales du bassin de sédimentation indiquent l'origine des apports hydrologiques et montrent en particulier que les lacs holocènes ont été alimentés par le Tibesti entre 10 000 et 6 000 ans B.P.

ABSTRACT. — Two main sedimentary formations have been distinguished in the late Quaternary of Chad Basin between the 13th and the 18th parallels. The first one includes a thick series of dune sands which were laying down during a dry period probably contemporaneous of the würm glaciations. Some lacustrine beds are interlayered in the dune sands : they show that the arid period has been interrupted by weter interstadials which are dated from 41,000 to 22,000 years B.P. The second formation, contemporaneous of late and postglacial times admits two main sequences whose transgressive terms are dated 12,000 years old at least and 10,000 years B.P. The holocene lakes have been practically permanent near the 13th and 14th parallels since 10,000 to 2,500 years B.P. In the North of Chad Basin, they get dry during two phases which are approximately dated 7,500 years old (?) and 4,000-3,500 years B.P. At the beginning of Holocene, rivers of Tibesti mountains have built up a powerful deltaïc formation on the North border of the lacustrine basin.

The evolution of diatom associations in the second main formation shows the variations of depth and extension of the ancient lakes. It shows that those lakes were alkaline and usually fresh-water, exceptionnaly salted (Na_2CO_3) specially during the transgressive phases. The diatom flora includes a lot of tropical forms, episodically associated with species which are living to-day in the temperate regions.

The clays of deltaïc and lacustrine sediments include essentially swelling minerals belonging to the montmorillonite group. They had been probably remade from the pedological cover situated around the basin of sedimentation.

INTRODUCTION

Les basses régions du Tchad occupent une position originale dans les zones sud-sahariennes de l'Afrique tropicale : elles se situent dans un vaste bassin sans exutoire permanent vers l'Océan. Pendant les phases pluviales du Quaternaire récent

elles ont pu facilement collecter les eaux des systèmes hydrographiques ou permettre l'affleurement d'une nappe phréatique qui, de nos jours, se trouve souvent à de très faibles profondeurs même dans les régions désertiques au Nord du 16^e parallèle. D'où la formation de vastes étendues lacustres, les paléo-Tchad de J. Tilho (1910-1926), dont les dépôts subsistent encore sur de grandes étendues

(*) Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Centre de Fort-Lamy - B.P. 65. Fort-Lamy (République du Tchad).

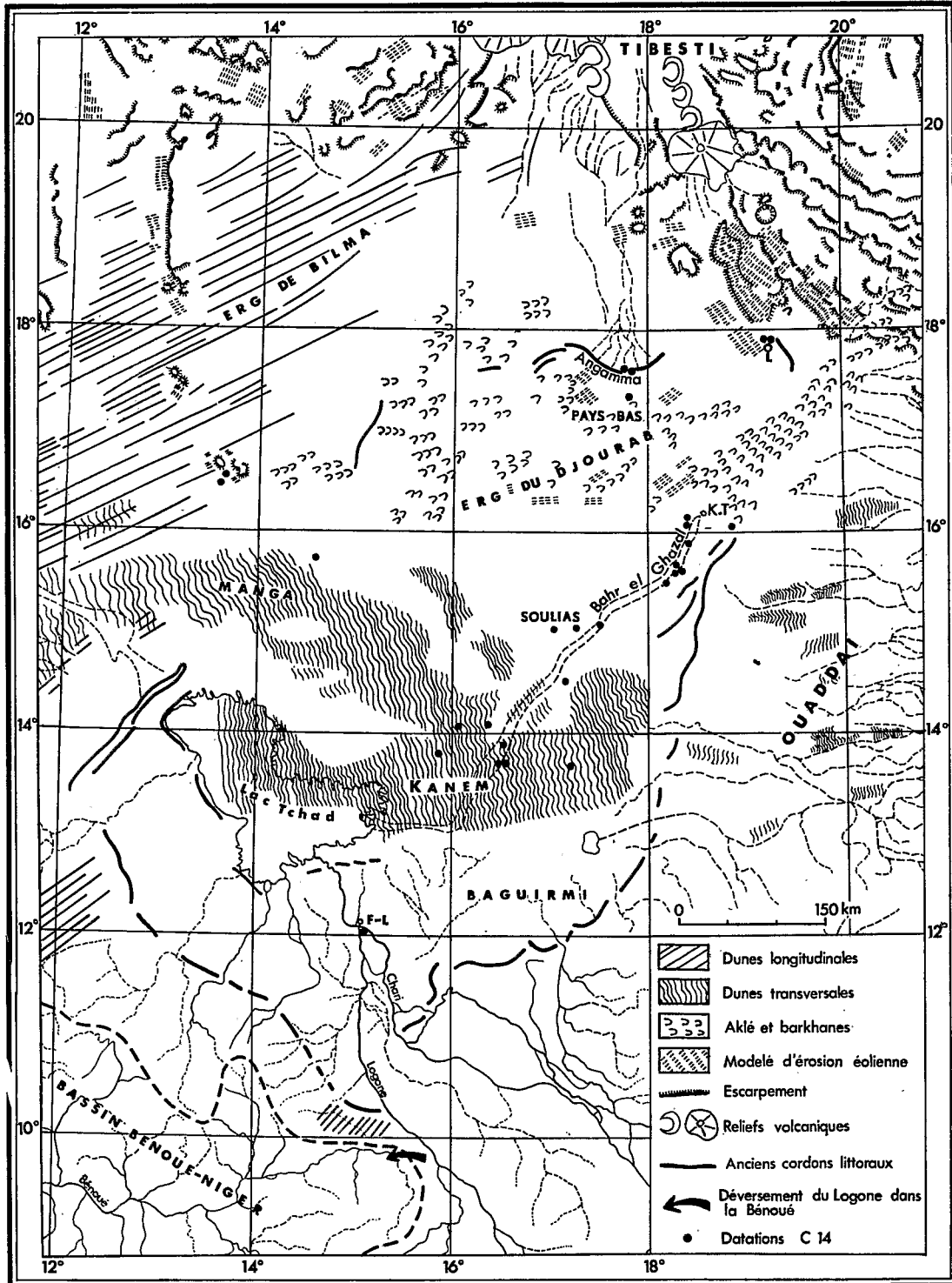


FIGURE 1

Les grandes régions naturelles de la cuvette tchadienne.

Documents consultés : cartes I.G.N. au 1/200 000; esquisse géomorphologique du Manga nigérien (F. Pirard, 1966); Morphologische Übersichtskarte des Tschadbeckens (P. J. Ergenzinger, carte provisoire, Geographisches Institut Universität, Berlin, 1968).
 F. L. : Fort-Lamy; K. T. : Koro-Toro; L. : Largeau.

au fond de la cuvette tchadienne. Ces dépôts, par la faune et la flore qu'ils contiennent, se prêtent aux reconstitutions paléocéologiques et sont en outre d'un grand intérêt pour la compréhension des séries sédimentaires continentales (H. Erhart, 1953).

Des formations lacustres comparables existent sur toute la bordure méridionale du Sahara. Certaines ont été datées du début de l'Holocène en Mauritanie, au Niger et au Tchad (H. Faure, 1967). Il semble qu'une phase humide ait affecté le Sud du Sahara de l'Atlantique à la Mer Rouge entre 10 000 ans et 7 000 ans environ¹. Elle aurait précédé des pulsations pluviales plus récentes dont l'existence est admise depuis longtemps par les préhistoriens pour expliquer notamment l'épanouissement du Néolithique. Dans les zones septentrionales du Niger et du Tchad ces pulsations se situeraient vers 5 000 ans et 3 200 ans (G. Delibrias et H. Hugot, 1962; H. Faure, 1966; J. L. Schneider, 1967; J. P. Roset, en préparation). Les périodes antérieures à l'Holocène ne restent connues que de manière partielle. On admet que les dunes de l'Ogolien en Mauritanie se sont édifiées pendant une phase de régression océanique contemporaine du dernier pléniglaciaire würmien (H. Faure et P. Elouard, 1967). Certains dépôts lacustres du bassin tchadien se sont révélés un peu plus anciens : dans la région de Fachi des diatomites ont fourni un âge de 21 000 ans au sommet (H. Faure, 1962) et près du Bahr-El-Ghazal des marnes à ostracodes un âge de 30 000 ans à la base (M. Servant, 1967).

Le lac Tchad actuel n'est certainement qu'une forme résiduelle des grandes nappes lacustres du Quaternaire récent. Il doit sa survivance aux apports du Chari et du Logone dont les bassins versants se situent entièrement dans le domaine des pluies de la mousson estivale soudanaise (P. Touchebeuf de Lussigny, 1969). Ces pluies dont la répartition est liée au déplacement saisonnier du front intertropical ne se font guère sentir au Nord du 15^e parallèle. Pendant le Pléistocène supérieur le front intertropical a pu être décalé vers le Sud ou vers le Nord en relation avec l'avancée ou le recul de l'inlandsis européen, d'où la contraction ou l'expansion du domaine des moussons au cœur du continent africain (E. M. van Zinderen Bakker, 1967, fig. 4 à 7). Dans le cadre de cette hypothèse les lacs paléotchadiens devraient leur extension à une recrudescence des moussons pendant les périodes de réchauffement intéressant notamment l'Europe occidentale. Mais on peut aussi admettre que ces lacs ont été alimentés par les

rivières des massifs sahariens (Aïr, Hoggar, Tibesti) où des phases pluviales ont pu se manifester à la faveur d'une évaporation diminuée pendant les époques de rafraîchissement (P. Rognon, 1967, p. 527).

Les grandes régions naturelles du Tchad doivent leurs traits morphologiques essentiels aux alternances climatiques du Quaternaire récent (fig. 1). Au Sud du 13^e parallèle, les plaines du Chari-Baguirmi correspondent à d'anciennes zones d'épanchages fluvio-lacustres deltaïques (J. Pias, 1967). Plus au Nord, l'erg du Kanem et du Manga actuellement fixé témoigne d'anciennes périodes arides; il est formé de puissants cordons dunaires, orientés du Nord-Ouest au Sud-Est et façonnés par un vent du Nord-Est (harmattan). En bordure du Tchad, ces cordons s'ennoient sous le niveau actuel du lac situé à 284 m d'altitude; ils font obstacle à l'écoulement des eaux vers les régions les plus basses du bassin (170 m environ vers 16°30' de latitude nord). Ces dernières sont toutefois reliées au lac par une vallée fossile, le Bahr-El-Ghazal, qui était encore en partie fonctionnelle vers le XVIII^e siècle (J. Tilho, 1926, p. 13). La région des Soulias et ses annexes offrent des étendues sableuses presque planes où localement se distinguent d'anciennes directions dunaires. Les Pays-Bas, au Nord du 16^e parallèle, sont partiellement occupés par les dunes vives du Djourab; ils comprennent sur leur flanc nord un paysage de regs ou de reliefs rocheux façonnés par l'érosion éolienne (buttes témoins étroites et parallèles allongées du Nord-Est au Sud-Ouest). Les basses régions du Tchad sont limitées par une brusque dénivellation topographique la falaise d'Angamma et par un vaste bassin autonome la cuvette de Largeau dont le grand axe est orienté d'Est en Ouest.

I. — LITHOSTRATIGRAPHIE ET GÉOCHRONOLOGIE

Aux abords du lac Tchad dans le Kanem le Quaternaire récent comprend deux grandes unités stratigraphiques. La première (*série des Soulias*) est essentiellement formée de sables éoliens modelés en cordons dunaires; des couches lacustres lenticulaires viennent s'y intercaler en profondeur (fig. 2, d'après P. J. Dielman et N. A. de Ridder, 1963). La série des Soulias représente la partie sommitale d'une formation surtout sableuse encore mal connue, de 80 mètres environ d'épaisseur, qui repose sur une masse argileuse imperméable probablement attribuable au Plio-Quaternaire ancien. La deuxième unité stratigraphique (*série de*

1. Les âges absolus, calculés par la méthode du radio-carbone, sont exprimés en années B.P. (*Before Present*: avant l'actuel, avec 1950 comme année de référence).

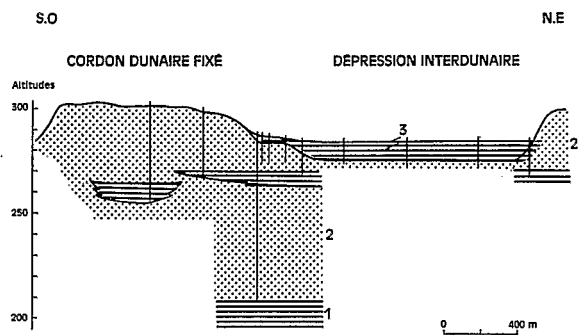


FIGURE 2

Coupe dans les formations quaternaires de Bol.

(d'après P. J. Dielman et N. A. de Ridder, 1963)

1 : argiles lacustres d'âge indéterminé; 2 : couches sableuses dont la partie supérieure est façonnée en cordons dunaires (erg du Kanem) avec dépôts argileux lenticulaires interstratifiés; 3 : dépôts lacustres interdunaires du Quaternaire terminal (série de Labdé).

Labdé est constituée de dépôts lacustres situés dans les dépressions interdunaires; elle atteint communément 10 à 15 m d'épaisseur.

1) LA SÉRIE DES SOULIAS (PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR)

Nous reproduisons ci-contre (fig. 3) certaines des successions lithologiques de cette série observées dans les puits indigènes des Soulias aux abords du Bahr-El-Ghazal et au Nord du 14^e parallèle. Les trois termes suivants peuvent y être distingués :

a) dans la partie inférieure, des sables dunaires

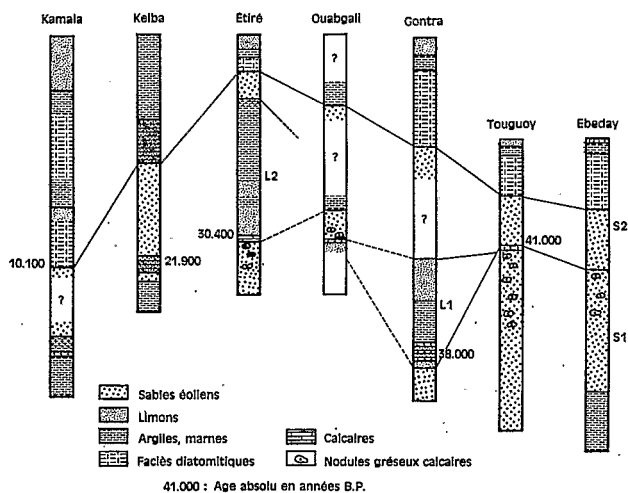


FIGURE 3

Coupes lithologiques dans la série des Soulias.

S₁ : sables dunaires; L₁ et L₂ : dépôts lacustres lenticulaires; S₂ : sables éoliens meubles; l : série de Labdé (Holocène).

(S₁), à fréquentes stratifications obliques, d'un aspect généralement compact. Ils sont localement grésifiés par un ciment calcaire d'où l'individualisation de nodules fortement indurés. Certains puits (Ebeday notamment) atteignent sous cette formation des marnes à ostracodes correspondant à une période lacustre encore mal connue;

b) dans la partie moyenne un faisceau de dépôts lacustres lenticulaires comprenant des sables calcaires, des marnes et des argiles parfois très riches en ostracodes. Ces dépôts témoignent d'une interruption des conditions climatiques arides pendant un interstade ayant permis la formation de lacs ou de marécages dans les dépressions d'un ancien paysage dunaire, d'où l'aspect lenticulaire des couches lacustres déposées au fond de ces dépressions. Il est encore difficile de proposer une stratigraphie détaillée de ces formations en raison de l'éloignement des coupes où elles ont pu être observées. Elles semblent se répartir en deux unités successives qu'illustrent pour la première les couches de Gontra (L₁) et pour la seconde les couches de Etiré (L₂);

c) dans la partie supérieure et sous la série de Labdé des sables éoliens, S₂, qui se distinguent des sables S₁ par un aspect meuble caractéristique et un meilleur classement. Ces deux termes sableux peuvent être directement superposés dans les coupes où les dépôts lacustres L₁ et L₂ sont absents. En ce cas, leur contact est parfois souligné par la présence d'impuretés argilleuses ou par une petite dalle de calcaire microcristallin. Les sables S₂ sont probablement pour équivalent latéral dans le Djourab au Nord du 16^e parallèle un erg fossile dont les formes dunaires sont très bien conservées sous les diatomites holocènes.

Trois datations absolues ont été faites sur des échantillons calcaires prélevés dans les dépôts lacustres de la série des Soulias. Les résultats obtenus se situent à proximité de la limite d'application de la méthode utilisée (analyse du C-14) et devront par conséquent être confirmés par de nouvelles datations. Une dalle calcaire située entre les sables S₁ et S₂ a fourni un âge de 41 000 ± 2 500 ans à Touguoy. Un calcaire à ostracodes localisé vers la base des couches de Gontra (L₁) accuse sensiblement le même âge : 38 000 ± 2 000 ans. Enfin, les couches de Etiré (L₂) ont été datées dans leur partie tout à fait inférieure de 30 400 ± 1 000 ans (calcaire microcristallin situé sous des dépôts à ostracodes).

Au Sud des Soulias vers 13°50' de latitude nord les puits traversent successivement : la série interdunaire de Labdé, des sables éoliens plus ou moins épais et enfin le sommet d'une formation argileuse ou marneuse à ostracodes dont un horizon calcaire a fourni un âge supérieur ou égal à 35 000

ans (Kamala). Dans la coupe de Kelba, près de Moussoro, les sables contiennent vers la base un calcaire gréseux à ostracodes daté de $21\ 000 \pm 700$ ans. Il n'est pas possible actuellement de replacer ces niveaux lacustres dans l'échelle stratigraphique établie plus au Nord dans les Soulias. Nous pouvons du moins admettre l'existence vers $22\ 000$ ans de bas-fonds marécageux dans les interdunes du Kanem et après cette date d'une période de sédimentation sableuse liée probablement au remaniement par le vent du paysage dunaire.

2) LA SÉRIE DE LABDÉ (FIN DU PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR ET HOLOCÈNE).

Les dépôts lacustres des dépressions interdunaires du Kanem ont été décrits dans une publication antérieure : deux grandes unités lithostratigraphiques y ont été individualisées (M. Servant, 1967). Dans la coupe du puits de Tjéri ($14^{\circ}44'$ de latitude nord, $16^{\circ}33'$ de longitude est) la série de Labdé atteint $12,40$ m d'épaisseur et comprend deux séquences superposées (fig. 5) :

a) dans la partie inférieure, une séquence diatomitique (l_1) de $4,60$ m de puissance. Les couches de base sont limoneuses et calcaires; des sables éoliens, probablement éboulés à partir de la dune toute proche, viennent s'y interstratifier. Au sommet existe une couche sableuse grise à phytolithaires qui, dans une autre coupe de la même dépression, est associée à des niveaux de remaniements et à des fentes de dessiccation : elle s'est donc déposée sous une nappe d'eau peu profonde susceptible de s'assécher au moins temporairement;

b) dans la partie supérieure, une séquence argileuse (l_2) de $7,80$ m d'épaisseur, silteuse à la base et beaucoup moins riche en diatomées que la précédente. Les couches terminales, ici très riches en argiles, sont généralement limoneuses et parfois calcaires dans les autres coupes du Kanem. Cette deuxième séquence contient au sommet de sa moitié inférieure (entre $6,40$ et 4 m de profondeur dans le puits) une diatomée, *Cymatopleura elliptica*, qui semble pouvoir être utilisée comme repère stratigraphique pour les corrélations à grande distance.

Les couches de base de la séquence l_2 , assez riches en matière organique, sont datées de $9\ 000 \pm 200$ ans vers $-7,70$ m et de $8\ 750 \pm 200$ ans vers -7 m. Le lacustre l_1 est donc en totalité antérieur à $9\ 000$ ans; nous le situons approximativement vers $12\ 000$ ans d'après une datation faite sur des coquilles de *Bulinus* et de *Biomphalaria* prélevées au mur de la série de Labdé dans le puits de Djazéna à 60 km de l'ENE de Tjéri ($12\ 060 \pm 350$ ans), mais la base de la formation

pourrait être notablement plus ancienne à Tjéri où des conditions topographiques différentes (altitudes moindres notamment) ont pu permettre une mise en eau plus précoce du paysage interdunaire. Dans la coupe de Kamala (fig. 3) des tests de *Melania* prélevés dans la partie inférieure des dépôts l_1 ont fourni un âge radiométrique de $10\ 100 \pm 300$ ans qui d'après divers recoupements semble un peu trop récent sans que l'on puisse pour le moment déterminer la cause d'une erreur éventuelle sur cette datation.

La séquence l_2 est mieux située chronologiquement que la précédente². Elle donne des âges de $9\ 610 \pm 155$ ans à l'extrême base dans la coupe de Kamala (calcaire à *Campylodiscus*), $3\ 500 \pm 130$ ans dans sa partie moyenne à Kelba (débris végétaux dans une intercalation sableuse) et, à l'extrême sommet, $2\ 410 \pm 110$ ans à Ebeta (tuf calcaire à roseaux), $1\ 750 \pm 100$ ans à Kosomanga (coquilles de *Bulinus* dans un limon sableux à tessons de poteries).

Ces datations, encore trop peu nombreuses pour avoir une valeur statistique, montrent néanmoins que l'épisode lacustre l_1 est certainement antérieur à l'Holocène; il pourrait être sensiblement synchronique du Tardiglaciaire d'Europe occidentale. Le second épisode, qui transgresse au tout début de l'Holocène vers $9\ 000$ - $10\ 000$ ans, est contemporain du Postglaciaire. La coupe de Tjéri et, d'une manière générale, toutes celles du Kanem aux abords du Bahr-El-Ghazal indique que la sédimentation lacustre s'est poursuivie dans cette région sans interruption majeure jusque vers le début de l'ère chrétienne et même jusqu'à nos jours dans le lac Tchad où un niveau à débris végétaux situé à $0,50$ m sous le fond du lac a été daté de 460 ± 95 ans (G. Delibrias et B. Dupont, en préparation).

3) LES ÉQUIVALENTS LATÉRAUX DE LA SÉRIE DE LABDÉ EN DIRECTION DU SAHARA TCHADIEN.

Le lacustre l_1 est représenté dans la partie aval du Bahr-El-Ghazal vers 15° et 16° de latitude nord par des dépôts marécageux à poissons, ostracodes et tiges verticales ou couchées de *Phragmites*. Ces dépôts, datés de $10\ 900 \pm 300$ ans (calcaire limoneux) dans leur partie moyenne ont été érodés avant la transgression holocène comme l'indique la coupe de Nedeley (fig. 4). Une formation sensiblement du même âge a été identifiée dans les Pays-Bas ($17^{\circ}30'$ de latitude nord) : il n'en subsiste que des lambeaux localisés sur les pentes de dé-

2. Un âge de $7\ 000$ ans environ avait été attribué de manière hypothétique au terme transgressif du lacustre l_1 (M. Servant, 1967). Cette interprétation était inexacte.

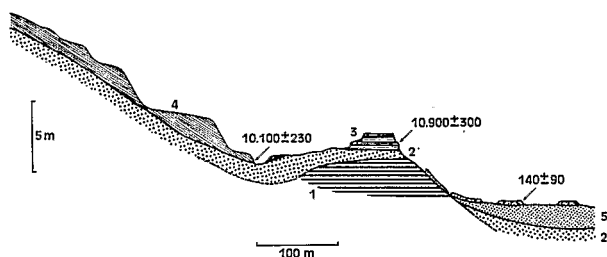


FIGURE 4

**Coupe schématique
dans les formations quaternaires du Bahr-El-Ghazal
à Nedeley.**

1 : formation lacustre de Padélanga (Plio-Quaternaire ancien) ; 2 : sables éoliens ; 3 : limons calcaires à *Phragmites* (lacustre L_1) ; 4 : diatomites feuilletées (lacustre L_2) ; 5 : alluvions du fond du Bahr-El-Ghazal (datés de 1 800 ans B.P. à la base dans la coupe de Salal). 140 ± 90 : âge radiométrique (datation par la méthode du C-14).

pressions fermées dont le fond est tapissé par des diatomites. Elle comprend essentiellement des colluvions de sables et de galets où s'intercalent des limons calcaires à coquilles lacustres (*Limnea*, *Biomphalaria*, *Anisus*, *Bulinus*, *Melania*). L'une de ces couches lacustres a été datée de $11\,950 \pm 280$ ans. L'ensemble de la formation, peu épaisse, s'est probablement déposée sur les marges d'anciens lacs occupant les dépressions.

Le lacustre L_2 comprend essentiellement des diatomites bien litées plus ou moins argileuses, localement calcaires, et très exceptionnellement surmontées d'une couche d'évaporites (trona de Mordangay près de Largeau). Elles épousent fidèlement les irrégularités du substratum sableux ou rocheux sur lequel elles se sont déposées. Un échantillon, prélevé à Yogoum dans un niveau non daté de ces couches à diatomées, a fait l'objet d'une analyse palynologique : une flore sahélienne tropicale y est associée à des formes steppiques méditerranéennes (P. Quézel et C. Martinez, 1958). Certaines de ces diatomites ont été datées dans leurs termes inférieurs transgressifs du début de l'Holocène : $10\,100 \pm 230$ ans à Nedeley (débris végétaux), $9\,470 \pm 230$ ans à une altitude un peu plus élevée au sommet des falaises de Koro-Toro (coquilles de *Melania* dans un limon à sable éolien interstratifié). Par contre, des couches lacustres de faciès comparable ont fourni à leur base des âges absolus très différents : $6\,990 \pm 140$ ans dans la partie avale du Bahr-El-Ghazal à Beurkia (calcaire à *Melania*), $7\,000 \pm 170$ ans à Largeau (calcaire à diatomées). Elles renferment les *Cymatopleura elliptica* qui à Tjéri apparaissent à 0,60 m au-dessus du niveau daté de 8 750 ans. Enfin, d'autres diatomites se sont révélées encore plus récentes : $3\,380 \pm 130$ ans

dans les Pays-Bas (coquilles de *Valvata*), $3\,160 \pm 105$ ans au sommet des falaises de Koro-Toro (coquilles de *Corbicula*), $2\,500 \pm 110$ ans à Largeau (coquilles de *Bulinus* et de *Valvata*).

Ces datations absolues s'appliquent à des lambeaux isolés de couches lacustres dont il est difficile de préciser pour le moment la situation respective dans une échelle stratigraphique locale établie indépendamment des données géochronologiques. Elles fournissent de fortes présomptions pour admettre que l'épisode lacustre L_2 comprend, dans les régions sahariennes du Tchad, au moins trois épisodes successifs que séparent des périodes d'assèchement et d'érosion. Les pulsations transgressives qui succèdent à ces phases d'assèchement se seraient produites respectivement vers 7 000 ans (?) et vers 3 000-3 500 ans.

Pendant la période historique, les Pays-Bas du Tchad sont restés en relation par l'intermédiaire du Bahr-El-Ghazal avec les nappes lacustres résiduelles qui subsistaient au Sud. Les alluvions qui tapissent le fond de cette vallée fossile sont datées de $1\,750 \pm 105$ ans à la base dans le puits de Salal (argile tourbeuse) et de 140 ± 90 ans au sommet (coquilles de *Pila* dans une couche superficielle à ossements d'éléphants et d'hippopotames). Les trottoirs d'Éthériidés qui existent sur les rives du Bahr en amont de Koro-Toro montrent que le niveau du fleuve a pu se situer au moins à 15 m au-dessus du fond de son lit probablement à l'époque où cette région était occupée par des villages de forgerons (Y. Coppens, 1965).

Les équivalents latéraux de la série de Labdé sur la bordure des basses régions du Tchad n'ont fait jusqu'à présent l'objet que d'études localisées. Au Sud de Tibesti, dans l'Angamma, l'érosion éolienne et le ravinement ont dégagé une remarquable formation deltaïque où alternent des silt argileux et des sables à pyroxènes qui admettent localement des niveaux de galets. C'est de cette formation que proviennent les bois fossiles et les vertébrés, notamment le Tchadanthrope, recueillis par Y. Coppens et autrefois attribués au Villafranchien (Y. Coppens, 1961, 1966; Y. Coppens et J. C. Koeniguer, 1967). En réalité le delta de l'Angamma, dont la position morphologique paraissait peu compatible avec un âge ancien, paraît devoir être maintenant attribué au début de l'Holocène. Les couches de base ont été datées de $9\,260 \pm 140$ ans (coquilles non recristallisées de *Valvata*) et de $10\,160 \pm 160$ ans (calcaire silteux microcristallin). Un nodule calcaire dont l'individualisation est postérieure aux couches sableuses encaissantes et que nous avons prélevé dans la partie supérieure de la série a donné un âge de $6\,050 \pm 150$ ans. Le delta de l'Angamma, qui correspond aux embouchures fossiles du système hydrographique des

enneri Misky et Oudigné issus du Tibesti, montre que ce massif saharien a participé au début de l'Holocène à l'alimentation des nappes lacustres des basses régions du Tchad. Ceci n'exclut pas que l'alimentation ait pu se faire simultanément par les fleuves d'origine méridionale comme le suggère la présence dans la région de Fort-Lamy de dépôts fluvio-lacustres datés de $8\,220 \pm 190$ ans (B. Dupont et G. Delibrias, en préparation).

II. — EVOLUTION DU MILIEU LACUSTRE D'APRÈS L'ÉTUDE DES ASSOCIATIONS DE DIATOMÉES

Les diatomées sont peu nombreuses dans les couches lacustres de la série des *Soulias*. Elles fournissent néanmoins une information paléocologique

importante : le sommet de la formation de Etiré (L_2 , datée de 30 000 ans à la base) contient *Melosira italica valida* : cette espèce réputée alpine et septentrionale a été signalée dans le Quaternaire récent du Massif central saharien (P. Rognon, 1967, p. 84) ; il est plus surprenant de la rencontrer dans les basses plaines du Tchad : elle pourrait indiquer que les eaux des anciens lacs ont connu un rafraîchissement accentué avant leur assèchement à une date encore indéterminée (vers 22 000 ans ?).

Les diatomées sont extrêmement abondantes dans la série de Labdé. Une publication récente (S. Servant, 1967) a montré que dans les dépôts interdunaires du Kanem les associations de diatomées présentent en divers points sensiblement la même évolution verticale. De ce fait, l'étude approfondie d'une seule série, échantillonnée tous les 10 cm, pouvait aboutir à une interprétation paléocologique susceptible d'être généralisée à l'ensemble de ces régions. Les prélèvements ont été effectués

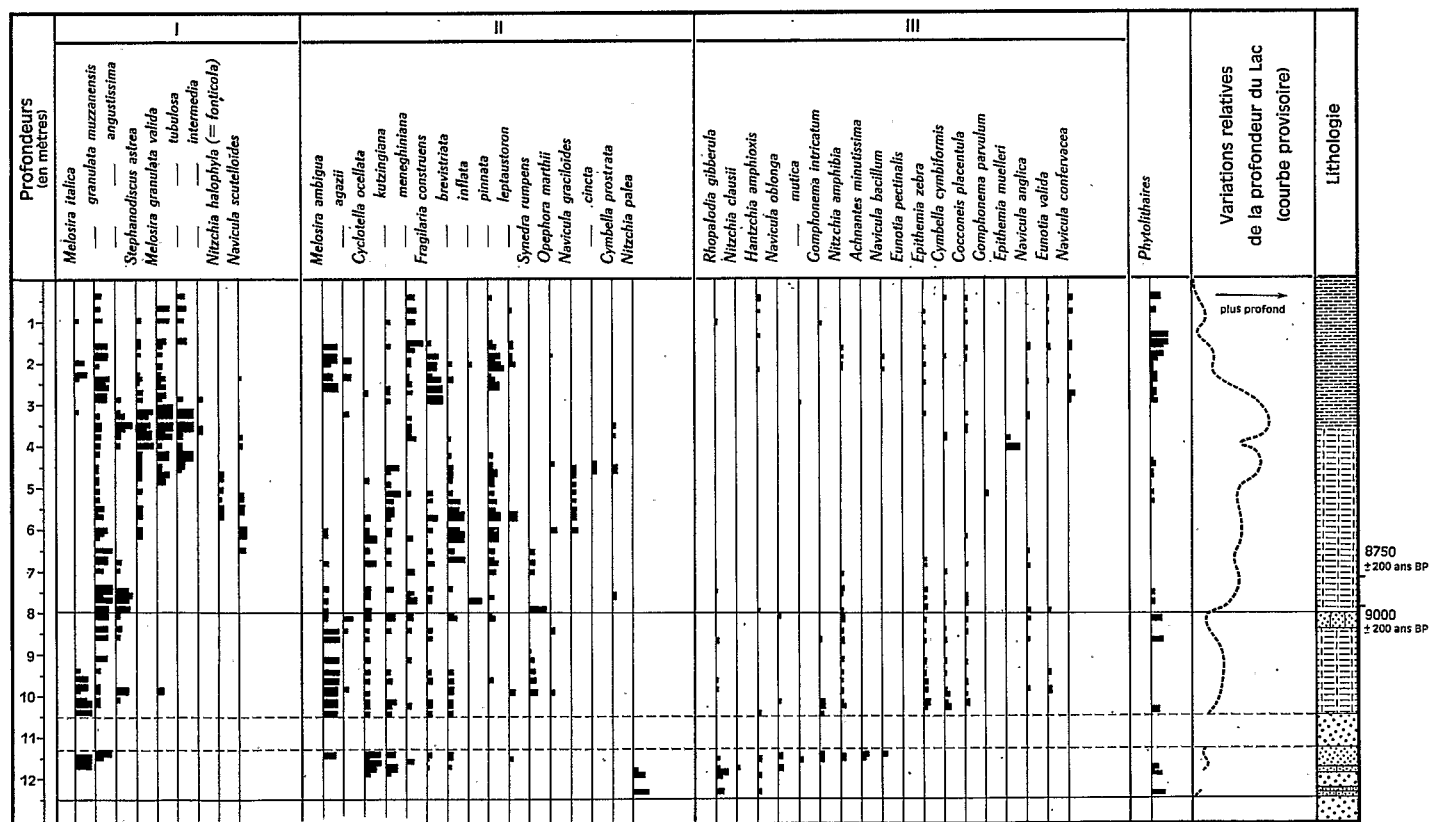


FIGURE 5

Série lacustre interdunaire de Tjéri.

Variations de la fréquence des diatomées planctoniques ou euplanctoniques (colonne I) ; des espèces habituellement littorales (colonne II) ; des formes épyphytes, benthiques ou aérophyles (colonne III). Ce tableau, comme le suivant, ne cite que quelques espèces caractéristiques. La flore de Tjéri comprend plus de 200 espèces ou variétés.

dans la coupe de Tjéri dont nous avons donné ci-dessus une description sommaire et qui se situe dans une dépression d'environ 600 m de largeur, affectant dans le paysage la forme d'un golfe d'un peu plus de 25 m de profondeur

1) LES VARIATIONS D'EXTENSION ET DE PROFONDEUR DES ANCIENS LACS

Les variations de fréquence des diatomées planctoniques, littorales, benthiques ou épiphytes reflètent probablement les variations relatives de l'extension et, par conséquent, de la profondeur de l'ancien lac interdunaire de Tjéri. L'examen de la flore diatomique niveau par niveau permet de tracer une courbe schématique de l'évolution bathymétrique du lac (fig. 5) mais, pour le moment, il n'est pas possible d'évaluer les changements de profondeur en termes quantitatifs faute de données assez précises sur la flore des paysages lacustres actuels du Tchad. Les corpuscules d'opale (phytolithaires) qui prennent naissance dans les tissus de certains hydrophytes supérieurs signalent probablement, quand ils sont abondants dans les sédiments fossiles, la proximité ou la présence des végétaux supérieurs et, de ce fait, une faible profondeur de l'ancien lac.

Les espèces littorales souvent associées à des formes épiphytes sont abondantes dans la coupe de Tjéri. Cependant leur fréquence diminue beaucoup entre — 3 et — 4 m et elles disparaissent à — 3,50 m : ce niveau, très riche en diatomées euplanctoniques (*Stephanodiscus astrea*) correspond au maximum d'extension et de profondeur de l'ancien lac et peut-être à une submersion temporaire du paysage dunaire ayant entraîné un grand éloignement des lignes de rivage. L'âge de ce niveau n'est pas connu avec précision mais sa position dans la série suggère qu'il pourrait être assez tardif.

Les dépôts qui se situent sous les couches à *S. astrea* sont datés de 8 700-9 000 ans dans leur partie inférieure : ils sont vraisemblablement contemporains de la grande période humide identifiée vers 8 000 ans au Sud du Sahara (H. Faure, 1967). Ces dépôts, très riches en diatomées littorales, ne semblent pas s'être mis en place dans un lac profond. Le plan d'eau ne devait pas alors se situer au-dessus des dunes dont le sommet culmine vers 305-310 m d'altitude. Mais dans d'autres régions nous connaissons l'existence vers 8 000 ans de niveaux lacustres situés à des altitudes plus élevées : vers 400 m à Agadem au Niger oriental, vers 320-330 m dans la zone deltaïque de l'Angamma au Sud du Tibesti. De ce fait, il faudrait admettre que

plusieurs lacs indépendants existaient à cette époque au fond de la cuvette du Tchad, mais les cartes n'indiquent pas la présence des seuils topographiques qui auraient pu permettre l'autonomie de ces lacs. Dès lors, il faut plutôt supposer que des mouvements épirogéniques récents ont pu entraîner une déformation apparente de l'ancien plan d'eau. Cette interprétation reste du domaine des hypothèses, mais elle montre que l'on ne peut pas écarter *a priori* l'éventualité d'une tectonique holocène qui, à l'échelle du bassin, aurait pu jouer un rôle sur les variations d'extension des nappes lacustres et, par conséquent, sur l'individualisation des séquences de dépôt du moins dans certaines régions.

2) VARIATIONS DES TENEURS EN SELS DISSOUS (fig. 6, colonnes III a et III b)

Les diatomées d'eau douce sont largement dominantes dans la coupe de Tjéri comme dans la plupart des sédiments holocènes étudiés jusqu'à présent dans le bassin du Tchad. Elles sont souvent associées, à une espèce halophile, *Cyclotella meneghiniana*, elle-même accompagnée parfois d'un genre habituellement marin (*Coscinodiscus*). *C. meneghiniana* est abondante dans les couches de passage entre les séquences l_1 et l_2 (faciès régressifs et transgressifs peu profonds) et surtout dans la partie supérieure de la série à partir de — 3,80 m. Elle accompagne notamment les espèces planctoniques du maximum de l'extension lacustre.

Les niveaux situés à l'extrême base de la formation de Tjéri vers — 12 m contiennent exclusivement des diatomées saumâtres que l'on rencontre communément dans les milieux natronés (O. Müller, 1899, p. 295; J. Léonard et P. Compère, 1967, p. 9). Ces diatomées sont extrêmement fréquentes dans les séries interdunaires du Kanem au mur de la séquence l_1 et à la base de la séquence l_2 . Par contre, elles sont généralement absentes dans les faciès transgressifs des dépôts diatomitiques des Pays-Bas.

Les transgressions lacustres ont permis la formation de milieux sursalés dans les paysages étroitement confinés des dépressions interdunaires dont la mise en eau s'est probablement faite à la suite de la remontée et de l'affleurement de la nappe phréatique³. Les lacs ainsi constitués, initialement saumâtres, ont évolué ensuite vers une faible

3. Des milieux saumâtres natronés comparables existent actuellement à proximité du Lac Tchad. Ils sont étudiés par G. Maglione (O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy).

minéralisation de leurs eaux. Plus tard, les périodes de régression ne se sont pas nécessairement accompagnées d'une très forte augmentation des paléosalinités. Cette évolution du milieu ne dépend pas exclusivement des pertes par évaporation; elle dépend aussi de certains facteurs locaux parmi lesquels les pertes par infiltration et, d'une manière générale, les relations qui s'établissaient entre les anciens lacs et la nappe phréatique ont dû être déterminantes. Cependant, on peut évoquer une diminution de l'évaporation quand la disparition des diatomées halophyles s'accompagne du développement intensif d'espèces réputées d'eaux froides ou tempérées : c'est ce que nous observerons notamment dans la coupe de Tjéri entre — 6,40 m et — 4 m.

3) AFFINITÉS PALÉOGÉOGRAPHIQUES DES DIATOMÉES DU QUATERNAIRE TERMINAL
(fig. 6, colonnes I, II)

La presque totalité de la série de Tjéri contient en plus ou moins grande abondance des espèces tropicales, certaines endémiques en Afrique (fig. 6). Il ne fait pas de doute, par conséquent, que les lacs des basses régions du Tchad ont appartenu en permanence pendant les douze derniers millénaires au domaine tropical comme l'avaient présenté les études antérieures sur les mollusques (L. Germain, 1935) et sur les diatomées (E. Man-

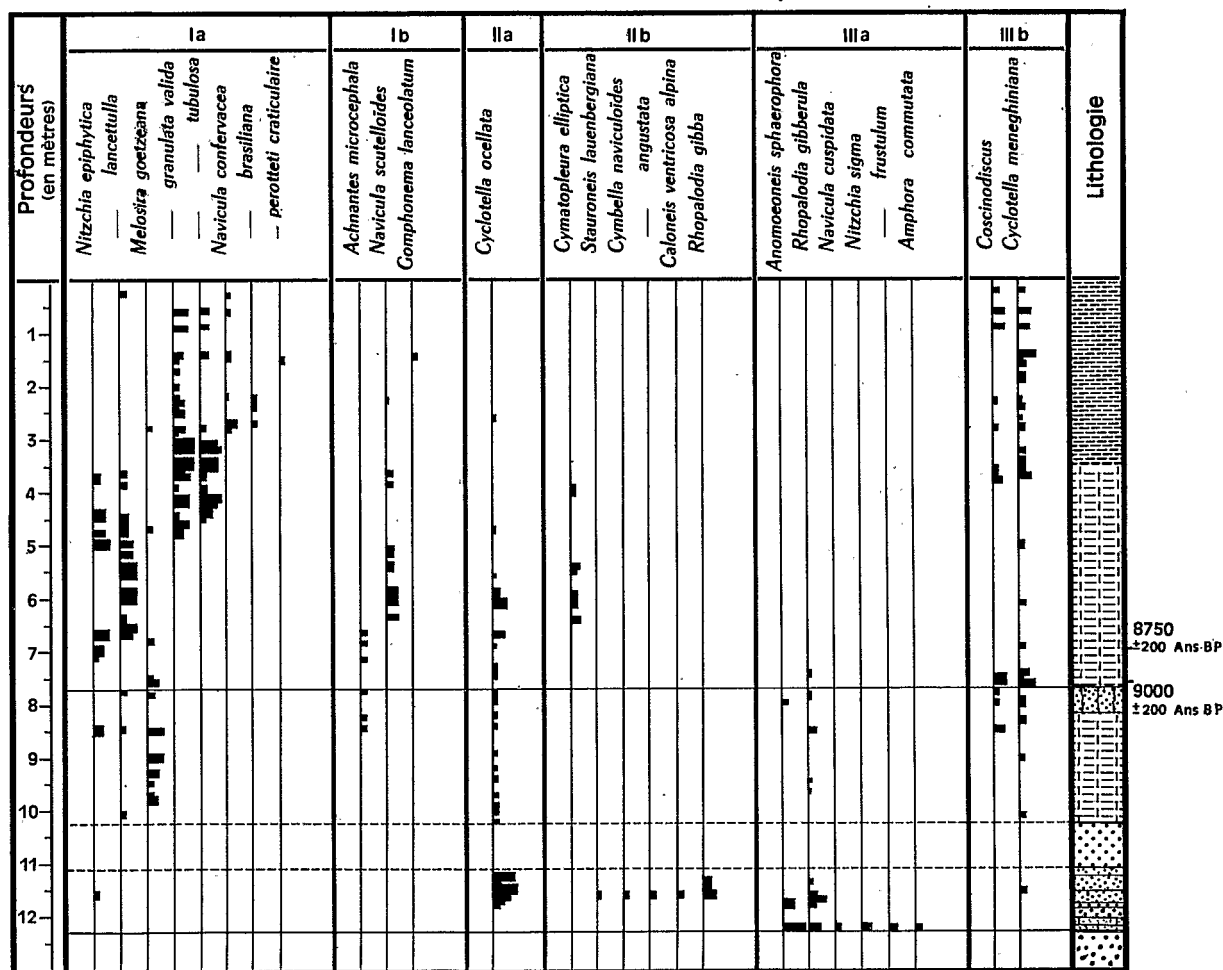


FIGURE 6

Série lacustre interglaciaire de Tjéri.

Variations de la fréquence des diatomées typiquement tropicales ou principalement tropicales (colonne Ia et Ib), d'une espèce qui se développe mieux dans les régions tempérées (colonne IIa), des formes alpines ou septentrionales (colonne IIb). Colonne IIIa : diatomées d'eaux saumâtres; colonne IIIb : *Cyclotella ocellata*, espèce halophyle; *Coscinodiscus*, genre habituellement marin.

guin in H. Faure et al., 1963). Néanmoins, certains niveaux, en outre caractérisés par des espèces qui se développent préférentiellement dans des milieux tempérés, pourraient indiquer un rafraîchissement notable des eaux des anciens lacs. Le premier de ces niveaux, localisé à Tjéri dans la séquence l_1 n'a pas plus de 3 cm d'épaisseur : nous y avons rencontré *Stauroneis lauenbergiana* des eaux courantes ou dormantes de l'Allemagne du Nord (F. Hustedt, 1959, p. 809), *Cymbella naviculoïdes* connue notamment dans une mare à 3 000 m d'altitude dans l'Est Africain (F. Hustedt, 1949, p. 114) et *C. angustata* qui vit surtout en montagne (F. Hustedt, 1930, p. 351).

Le deuxième niveau, plus épais, se situe dans la séquence holocène l_2 entre 6,40 et 4 m de profondeur ; il contient en abondance *Cymatopleura elliptica* : cette espèce est essentiellement européenne bien qu'elle ait été signalée une fois et dans des conditions mal précisées en Afrique Orientale dans le lac Tana à 1 800 m d'altitude.

Une autre espèce, *Cyclotella ocellata*, semble refléter les variations thermiques qui ont affecté les anciennes nappes lacustres pendant les douze derniers millénaires. En effet, cette diatomée, peu abondante dans les milieux tropicaux, se développe mieux dans les régions tempérées. Sa grande abondance dans les sédiments anciens pourrait par conséquent indiquer des conditions climatiques plus fraîches qu'actuellement (J. L. Richardson, 1964, p. 259). A l'appui de cette hypothèse, nous pouvons signaler que dans les séries du Quaternaire terminal et notamment dans celle de Tjéri, les maximums de fréquence de *C. ocellata* se situent au voisinage des couches à flore d'eaux froides ou tempérées. Enfin la disparition presque complète de cette espèce dans la partie supérieure des dépôts interdunaires du Kanem correspond peut-être à une accentuation des conditions tropicales.

Les niveaux qui se sont déposés pendant les périodes de rafraîchissement ne sont pas datés avec précision. Le plus ancien est antérieur à 10 000 ans (séquence l_1). Le plus récent paraît correspondre à la partie moyenne de l'Holocène : en effet, dans le Bahr-El-Ghazal et à Largeau des diatomites à *C. elliptica* ont été datées à la base de 7 000 ans environ (séquence l_{2b}).

III. — LES GRANDES TRAITES DE LA SÉDIMENTATION LACUSTRE

Les sédiments du Quaternaire terminal situés en dehors des zones d'épandages deltaïques sont le plus souvent formés d'une trame de diatomées

dont les cellules sont généralement disposées en chaînes parallèles à la stratification et d'un ciment phylliteux plus ou moins abondant de même orientation. A ces deux constituants majeurs, silice biochimique et argiles, s'ajoutent dans certains niveaux des sables éoliens remaniés à partir des dunes environnantes et des carbonates, dont la présence est épisodique dans les séries lacustres.

Les calcaires, qui ne représentent qu'une partie peu importante des dépôts, sont toujours associés aux faciès mis en place sous une très faible tranche d'eau. Ils forment des encroûtements tufacés sur d'anciennes touffes végétales ou des dalles microcristallines exceptionnellement très épaisses situées sur la bordure des anciens lacs ou dans les termes inférieurs et supérieurs des séquences. Les couches calcaires renferment souvent une faune abondante d'ostracodes et de mollusques dont les coquilles peuvent former de véritables faluns notamment sous les bancs de diatomites.

La prolifération des diatomées dans les lacs du Quaternaire terminal suppose la présence dans le milieu lacustre de réserves importantes de silice soluble constamment renouvelées au fur et à mesure de leur utilisation par les organismes. Les formations les plus riches en silice biochimique se développent dans les Pays-Bas et surtout aux abords du massif dunaire du Manga où elles atteignent jusqu'à 20 m d'épaisseur. La fréquence des diatomées, évaluée par comptage des cellules au microscope inversé, présente de fortes valeurs dans les niveaux qui correspondent aux phases d'expansion lacustre. Cette fréquence est extrêmement variable dans les sédiments du début des périodes transgressives mais il n'est pas exceptionnel que les couches déposées dans les milieux saumâtres de la base de certaines séquences soient formées de diatomées géantes comme les *Campylo-discus clypeus*. Par contre, les faciès de régression, qu'ils soient argileux ou limoneux, sont très pauvres en diatomées, mais renferment, par contre, de nombreux corpuscules d'opale, les phytolithaires, qui prennent naissance dans les tissus de certains hydrophytes supérieurs. Ces végétaux (*Papyrus*, *Phragmites*, *Typha*, etc...) ont pu, par conséquent, jouer un rôle appréciable dans l'immobilisation de la silice pendant les périodes où les paysages lacustres présentaient, comme le lac actuel, une ceinture végétale très développée.

Dans les milieux étroitement confinés la silice a pu exceptionnellement se déposer sans être au préalable fixée par les organismes. A la base de la série de Labdé existe souvent des alternances millimétriques de limons calcaires à diatomées d'eaux saumâtres natronées et de lits pulvérulents blancs azoïques localement indurés en silex, formés d'une substance siliceuse ne présentant pas de

structure cristalline discernable à l'analyse diffractométrique. Ces couches sont parfois affectées de petites failles de tassement ou de microslumping. La floculation des molécules de silice dans une eau fortement concentrée ne paraît pas inconcevable, mais il est également possible que les horizons siliceux aient pu à l'origine être constitués d'un silicate néoformé : la magadiite, récemment découverte dans les milieux natronés actuels (H. P. Eugster, 1967; C. Jacob, G. Maglione et Ch. Parent, sous presse).

L'origine des apports de silice dans les lacs du Quaternaire récent mérite d'être évoquée bien que nous ne puissions guère quitter pour le moment le domaine des hypothèses. Ces apports ont pu se faire par l'intermédiaire du réseau hydrographique et être ainsi en relation directe avec les différents types d'altération s'exerçant sur les bassins versants (H. Erhart, 1953). La présence d'une forte teneur en silice dosable dans les eaux du Chari (20 mg/l d'après M. A. Roche, 1967) et du lac Tchad (20 à 75 mg/l d'après J. C. Carmouze, 1968) confirme cette interprétation. Mais il est clair que ce schéma n'est pas applicable aux lacs isolés dans les dépressions fermées d'un paysage dunaire où les apports en substances dissoutes n'ont pu s'effectuer que par la nappe phréatique. Cette nappe pouvait être alimentée par les eaux d'infiltration ayant traversé les énormes masses dunaires des ergs anciens; de surcroît, elle baignait comme de nos jours un aquifère sableux atteignant communément 50 m d'épaisseur. Des réserves considérables de silice dissoute ont pu ainsi se constituer dans les eaux souterraines malgré la faible solubilité du quartz. De ce fait, la nature essentiellement siliceuse des sédiments lacustres ne serait pas nécessairement le reflet des différents modes d'altération régnant en amont.

Les minéraux argileux⁴ sont extrêmement monotones dans les dépôts du Quaternaire récent (et certainement dans l'ensemble du Plio-Quaternaire). Les faciès deltaïques du Nord (Angamma) et du Sud (région de Fort-Lamy) comme les faciès franchement lacustres à diatomées sont toujours caractérisés par la présence dominante des argiles gonflantes du groupe de la montmorillonite auxquelles peuvent s'associer de la kaolinite (30 % au maximum) et des traces d'illite altérée. Les édifices gonflants donnent souvent à l'analyse par les rayons X des raies de diffraction peu nettes ou parfois étalées sur les diagrammes entre 10 et 14 Å (présence d'interstratifiés illite-montmorillo-

nite). Ces associations minéralogiques sont extrêmement fréquentes dans la couverture pédologique actuelle du Tchad et notamment dans les vertisols et les solonetz solodisés (H. Paquet, G. Bocquier et G. Millot, 1966). Ces sols pouvaient représenter, pendant le Quaternaire récent, comme de nos jours, une part importante des zones drainées par le réseau hydrographique. Il est donc possible que les argiles lacustres soient remaniées à partir des formations pédologiques situées en amont du bassin de sédimentation.

CONCLUSION

La courbe ci-contre (fig. 7) représente de manière schématique et sans préciser quantitativement l'amplitude des phénomènes la succession des périodes de remaniement éolien et des périodes d'extension lacustre depuis un peu plus de 40 000 ans dans le fond de la cuvette tchadienne.

1°) Les trois grandes unités lithostratigraphiques dans la *série des Soulias* permettent de distinguer dans le Pléistocène supérieur du Tchad et avant 12 000 ans :

— Une phase aride ancienne matérialisée par les sables dunaires S_1 ;

— Plusieurs interstades lacustres que nous datons provisoirement de 40 000 à 22 000 ans;

— Une phase aride récente (sables éoliens S_2) dont les limites inférieure et supérieure ne sont pas pour le moment clairement définies.

De nouvelles recherches seront nécessaires pour déterminer, si, comme cela semble actuellement probable, les Arides du Tchad sont contemporains des épisodes pléni-glaciaires du Würm d'Europe occidentale.

2°) La période lacustre datée de 12-11 000 ans environ (séquence l_1 de la *série de Labdé*) paraît synchrone du Tardiglaciaire. Les diatomées montrent que les lacs de cette époque, certainement peu profonds, étaient soumis à de notables variations de température. Ces lacs ont pu localement, dans les interdunes du Kanem, ne pas s'assécher complètement avant la grande extension lacustre du début de l'Holocène.

3°) La transgression que nous datons suivant les régions de 10 000 ou 9 000 ans a profondément modifié la paléogéographie du bassin tchadien. Elle correspond à un changement climatique majeur qui s'est produit à un moment où s'accroissait en Europe et dans beaucoup d'autres régions du globe l'élévation des températures qui s'était amorcée pendant le Tardiglaciaire (T. van der Hammen *et al.*, 1967;

4. Les déterminations par analyses diffractométriques sont dues à l'Institut de Géologie de la Faculté des Sciences de Strasbourg et au Laboratoire de Spectrographie de l'O.R.S. T.O.M. à Bondy.

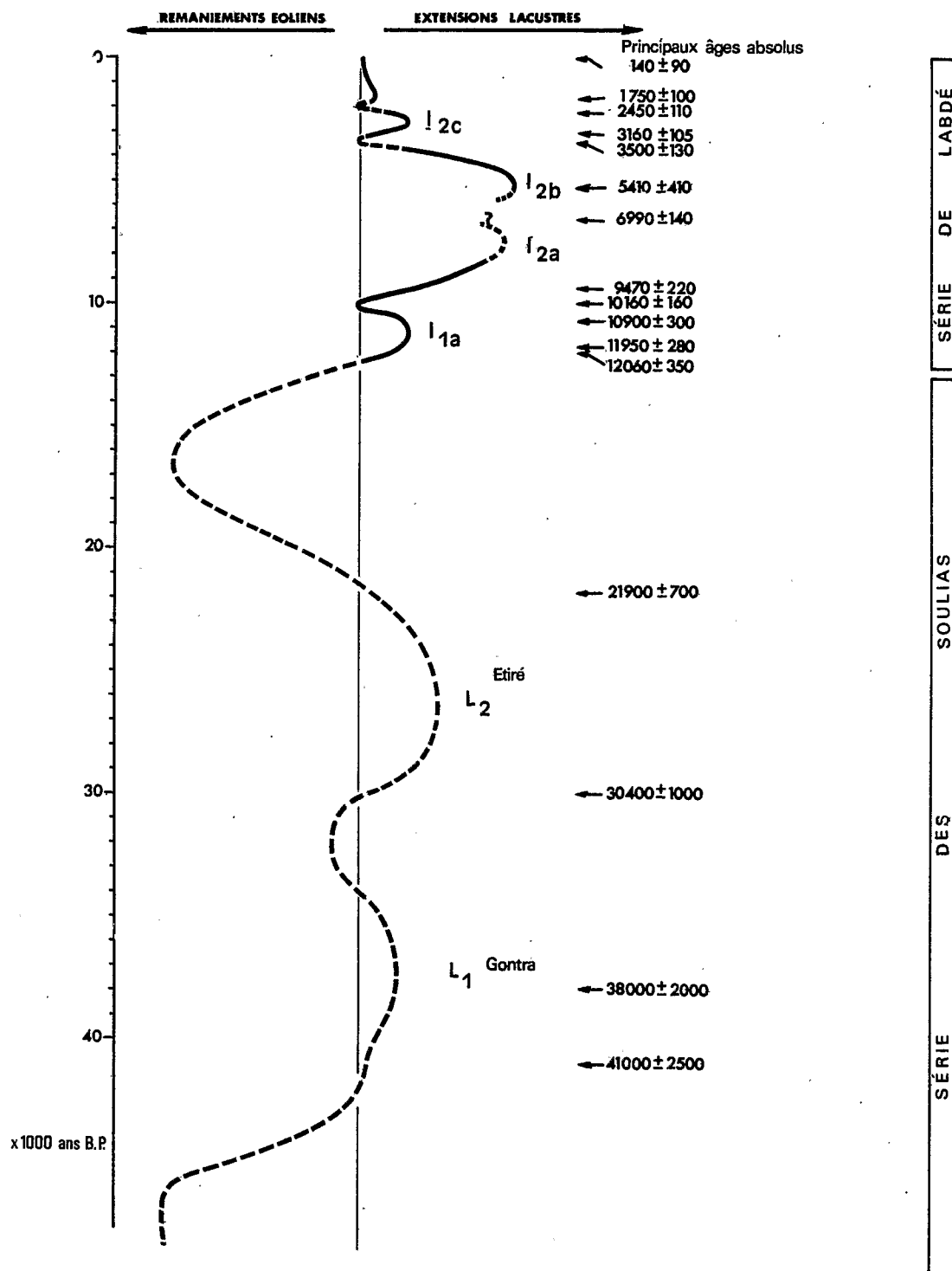


FIGURE 7

Courbe provisoire montrant l'alternance des périodes lacustres et des phases de remaniement éolien dans le fond de la cuvette tchadienne depuis un peu plus de 40 000 ans entre le 13° et le 18° parallèle.

L'amplitude des phénomènes (échelle des abscisses) ne peut être déterminée avec certitude sans connaître l'évolution paléogéographique du bassin tchadien dans son ensemble.

E. M. van Zinderen Bakker, 1967; E. Emiliani, 1955, 1964). Un tel synchronisme vient à l'appui de l'hypothèse évoquée dans l'introduction suivant laquelle les derniers pluviaux du Centre Africain sont liés à une expansion vers le Sahara du domaine de la mousson estivale soudanaise, ce qui s'accorde bien avec le caractère tropical, du point de vue paléocologique, des milieux lacustres transgressifs du Tchad. La mousson a probablement atteint le Tibesti au début de l'Holocène puisque les rivières issues de ce massif saharien ont édifié à cette époque une puissante formation deltaïque dont la flore ligneuse et la faune présentent un caractère tropical. Il devrait donc être possible d'identifier dans le Tibesti ou sur son versant méridional une période humide attribuable aux premiers millénaires de l'Holocène comme cela a été fait au Hoggar (G. Delibrias et P. Dutil, 1966).

4°) Les lacs holocènes ont connu d'importantes variations de niveau et d'extension et des changements de température assez importants pour permettre le développement, à une époque encore mal datée, d'une diatomée qui vit actuellement dans les zones tempérées. Ils se prêteront par conséquent à des reconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques détaillées. Pour le moment, les données chronologiques montrent seulement que ces lacs, pratiquement permanents aux abords du 13° et du 14° parallèle, se sont sans doute asséchés dans les régions sahariennes au Nord du 15° parallèle à des époques qui pourraient se situer vers 7 500 ans (?) et vers 4 000-3 500 ans. Ces changements paléogéographiques ne semblent pas s'être accompagnés de modifications importantes dans la nature des apports solubles ou détritiques collectés par le bassin lacustre.

BIBLIOGRAPHIE

- ALIMEN, H., BEUCHER, F. et CONRAD, G. (1966). — Chronologie du dernier cycle Pluvial Aride au Sahara nord-occidental. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 263, p. 5-8.
- BAKKER, E.M. van ZINDEREN (1962). — A late glacial and post-glacial climatic correlation between East Africa and Europe. *Nature*, t. 193, p. 201-203.
- BAKKER, E.M. van ZINDEREN (1967). — Upper pleistocene and holocene stratigraphy and ecology on the basis of vegetation changes in sub-saharan Africa. In: *Background to evolution in Africa*, W.W. Bishop et J. Desmond Clark, éditeurs; *The University of Chicago Press*, p. 125-147.
- BERNARD, E.A. (1962). — Théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux du Quaternaire africain. *Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, Mem. in-8°, t. 12, fasc. 1, 232 p.
- BUTZER, K.W. et HANSEN, C.L. (1968). — Desert and River in Nubia. *The University of Wisconsin Press*, 562 p.
- CARMOUZE, J.C. (1968). — Ions majeurs, phosphates et silicates dans le lac Tchad en avril 1968. *Off. Rech. Sci. Tech. Outre-Mer, Centre de Fort-Lamy*, 18 p. multicoopiées, 18 fig. h.t.
- CHAMARD, P. (1969). — Evolution du lac de Chemchane à l'Holocène. *Bull. Assoc. Sénégal. Et. Quaternaire Ouest Afric.*, t. 21, p. 16-28.
- CONRAD, G. (1968). — L'évolution continentale post hercynienne du Sahara algérien (Saoura, erg Chech-Tanezrouft, Ahmet Mouydir). *Thèse Doct. ès Sci.*, Paris 743 p. multicoopiées, biblio., 290 fig., 5 cartes h.t.
- COPPENS, Y. (1961). — Découverte d'un Australopithécine dans le Villafranchien du Tchad. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 252, p. 3851-3852.
- COPPENS, Y. (1965). — L'époque haddadienne, une page de la protohistoire du Tchad. *Revista da Faculdade de Letras de Lisboa*, t. 9, 8 p., 6 fig., h.t.
- COPPENS, Y. (1967). — Les faunes de Vertébrés quaternaires du Tchad. In: *Background to evolution in Africa*, W.W. Bishop et J. Desmond Clark, éditeurs; *The University of Chicago Press*, p. 89-95.
- COPPENS, Y. et KOENIGUER, J.C. (1967). — Sur les flores ligneuses disparues plio-quaternaires du Tchad. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 265, p. 1282-1285.
- DELIBRIAS, G. et DUTIL, P. (1966). — Formations calcaires lacustres du Quaternaire supérieur dans le massif central saharien (Hoggar). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 262, p. 55-58.
- DELIBRIAS, G. et HUGOT, H.J. (1962). — Datation par la méthode dite du C-14 du Néolithique de l'Adrar Bous (Ténéréen). *Mission Berliet « Ténéré-Tchad »*, *Trav. Sci.*, p. 71-72.
- DIELEMAN, P.J. et DE RIDDER, N.A. (1963). — Studies of salt and water movement in the Bol Guini Polder, Chad Republic. *Hydrology*, t. 1, p. 311-343.
- EMILIANI, C. (1955). — Pleistocene Temperatures. *J. Geol.*, t. 63, p. 538-578.
- EMILIANI, C. (1964). — Paleotemperatures Analysis of the Caribbean Cores A 254-Br-C CP-28. *Geol. Surv. Amer. Bull.*, t. 75, p. 129-144.
- EMILIANI, C. (1966). — Paleotemperatures analysis of the Caribbean cores P 6304-B and P 6304-9 and a generalized temperature for the past 435,000 years. *J. Geol.*, t. 74, p. 109-126.
- ERHART, H. (1953). — Sur la nature minéralogique et la genèse des sédiments de la cuvette tchadienne. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 237, p. 401-403.
- EUGSTER, H.P. (1967). — Hydrates sodium silicates from Lake Magadi, Kenya: precursors of bedded chert. *Science, U.S.A.*, 157, n° 3793, p. 1177-1180.
- FAIRBRIDGE, R.W. (1962). — New radiocarbon dates of Nile sediments. *Nature*, t. 196, p. 108-110.
- FAURE, H. (1962). — Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. Thèse, Paris, Publ. n° 1, *Dir. Mines Géol. Niger et Mém. Bur. Rech. géol. min.* (1966), n° 47, 630 p., 179 fig., 12 pl., carte couleur h.-t.

- FAURE, H. (1966). — Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. *Quaternaria*, t. 8, p. 167-176.
- FAURE, H. (1967). — Lacs quaternaires du Sahara. *Internat. Symp. Paleolimnology*, Tihany, Août 1967 (sous presse).
- FAURE, H. et ELOUARD, P. (1967). — Schéma des variations du niveau de l'Océan Atlantique sur la côte de l'Ouest de l'Afrique depuis 40.000 ans. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 265, p. 784-787.
- FAURE, H., MANGUIN, E. et NYDAL, R. (1963). — Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental: diatomites et âges absolus. *Bull. Bur. Rech. géol. min.*, t. 3, p. 41-63.
- FONTES, J.C., MAGLIONE, G. et ROCHE, M.A. (1969). — Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.* vol. VI, n° 1, p. 17-34.
- GERMAIN, L. (1935). — La faune malacologique du lac Tchad et des Pays-Bas du Tchad. *Archives du Muséum d'Hist. Nat.*, Paris, 6^e série, t. 12.
- HAMMEN, T. van der, MAARLEVELD, G.C., VOGEL, J.C. et ZAGWIJN, W.H. (1967). — Stratigraphy, climatic succession and radiocarbon dating of the last glacial in the Netherlands. *Geol. en Mijnbouw*, t. 3, p. 79-95.
- HUSTEDT, F. (1930). — Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, tome 10: *Bacillariophyta (Diatomeae)*, G. Fischer, éd., Jena; 466 p.
- HUSTEDT, F. (1949). — Exploratie van het National Albert Park, zending H. Damas (1935-1936), fasc. 8, *Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge* Bruxelles, 199 p., 16 pl. h.-t.
- HUSTEDT, F. (1959). — Die Kieselalgen, In: Dr. L. Rabenhorsts, *Kryptogamen-Flora von Deutschland*.
- JACOB, C., MAGLIONE, G. et PARENT, Ch. (en préparation). — Présence de magadiite, silicate sodique de néoformation des faciès évaporitiques des dépressions interdunaires du Kanem (Tchad). *Bull. Soc. Mineral. et Cristallogr.*
- LÉONARD, J. et COMPERE, P. (1967). — *Spirulina platensis* (GOM) GEITL., algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines. *Bull. Nat. Plantentium, Belg.*, t. 1, suppl. 23 p.
- MÜLLER, O. (1899). — Bacillariaceen aus den Natronthälern von El Kab (Ober. Aegypten). *Hedwigia*, t. 38, p. 274-321.
- NEEV, D. et EMERY, K.O. (1967). — The dead sea. 112 p., 54 fig., appendices p. 115-147, *Monism Press*, Jerusalem.
- PAQUET, H., BOCQUIER, G. et MILLOT, G. (1966). — Néoformation et dégradation des minéraux argileux dans certains Solonetz Solodisés et Vertisols du Tchad. *Bull. Serv. Carte géol. Als-Lorr.*, t. 19, p. 295-322.
- PIAS, J. (1967). — Quatre deltas successifs du Chari au Quaternaire (Républiques du Tchad et du Cameroun). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 264, p. 2357-2360.
- PULLAN, R. A. (1964). — The recent geomorphological evolution of the south central part of the Chad basin. *J. West Afric. Sci. Assoc.*, t. 9, p. 115-139.
- QUEZEL, P. et MARTINEZ, C. (1958). — Etude palynologique de deux diatomites du Borkou (Territoire du Tchad, A.E.F.). *Bull. Soc. Hist. Nat., Afr. noire*, t. 49, p. 230-244.
- ROCHE, M. A. (1968). — Première estimation des apports en sels au lac Tchad pour le Chari. *Cah. O.R.S.T.O.M., Section Hydrol.*, vol. 5, n° 1, p. 55-59.
- ROSET, J.-P. (en préparation). — Contribution à l'étude du peuplement préhistorique et protohistorique du Tibesti. *Cah. O.R.S.T.O.M., Section Sci. Hum.*
- ROSSIGNOL, M. et MALEY, J. (1969). — L'activité hors de France des palynologues et paléobotanistes français du Quaternaire. *Etude française sur Quatern.*; suppl. au *Bull. A.E.F.Q.*, p. 265-274.
- RICHARDSON, J.-L. (1964). — The history of an African rift lake: an interpretation based on current regional limnology. *Ph. D. Thesis*, Duke University, Durham, North Carolina, 472 p.
- ROGNON, P. (1967). — Le massif de l'Atakor et ses bordures (Sahara Central). *Etude géomorphologique. Centre Nation. Rech. Scient.*, Paris, 560 p., 32 pl., 148 fig., 11 cartes h.t.
- SCHNEIDER, J.-L. (1967). — Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques aux Pays-Bas du Tchad. *Bull. Assoc. Sénégal. Et. Quaternaire Ouest Afric.*, t. 14-15, p. 18-23.
- SERVANT, M. (1967). — Nouvelles données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad (Kanem). *Actes du VI^e Congrès Panafr. Préhist. Et. Quaternaire*, Dakar, 1967 (sous presse).
- SERVANT, S. (1967). — Répartition des diatomées dans les séquences lacustres holocènes au Nord-Est du lac Tchad: premières observations et perspectives de recherches. *Actes du VI^e Congrès Panafr. Préhist. Et. Quaternaire*, Dakar, 1967 (sous presse).
- TILHO, J. (1910, 1911, 1914). — Documents scientifiques de la mission Tilho 1906-1909. *Imp. nat.*, Paris, 3 vol. h.t.
- TILHO, J. (1926). — Du lac Tchad aux montagnes du Tibesti. Exposé géographique sommaire de l'exploration de M. Jean Tilho dans les régions du Tchad, du Borkou, de l'Ennedi et du Tibesti (1912-1917). Imprimé pour l'auteur, Paris 92 p., 1 carte h.t.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, P. (1969). — Monographie hydrologique du lac Tchad. *Off. Rech. Sci. et Techn. Outre-Mer*, 169 p. multicoopiées.
- TROMPETTE, R. et MANGUIN, E. (1967). — Nouvelles observations sur le Quaternaire lacustre de l'extrémité sud-est de l'Adrar de Mauritanie (Sahara occidental). *Actes du VI^e Congrès Panafr. Préhist. Et. Quaternaire*, Dakar 1967 (sous presse).
- VOGEL, J. C. et VAN DER HAMMEN, T. (1967). — The Denekamp and Paudorf Interstadials. *Géol. en Mijnbouw*, mai 1967, p. 188-194.

Manuscrit déposé le 22 septembre 1969.