



Evolution paléogéographique et paléoclimatique du bassin tchadien au Pléistocène supérieur

par Alain DURAND * et Philippe MATHIEU **

RÉSUMÉ. — L'étude sédimentologique de la région des deltas du Chari a permis de retracer son évolution paléogéographique et stratigraphique au Pléistocène supérieur (de 50 000 à 10 000 ans BP environ) : trois périodes de maximums lacustres ont été reconstruites (avant 35 000 ans BP, et vers 22 000 puis 11 000 ans BP), et l'existence d'une période aride vers 30 000 ans BP a été confirmée. Ces résultats s'intègrent parfaitement à ceux des travaux antérieurs dans la moitié nord du bassin tchadien, et leur sont complémentaires, car ils permettent d'apprécier les variations de la pluviosité dans la moitié sud du bassin et son rôle dans les variations des niveaux lacustres au centre du bassin.

Un essai de reconstitution de l'évolution paléogéographique et paléoclimatique des régions connues du bassin amène à distinguer l'origine et l'importance de la pluviosité simultanément au Nord et au Sud du bassin. On constate ainsi que souvent les variations climatiques ne sont pas simultanées et ont des causes différentes au Nord et au Sud. Par ailleurs, au centre du bassin, il semble que ces variations soient proches de celles observées depuis un siècle.

Mots clés : Bassin du Tchad, Pléistocène supérieur, Paléogéographie, Paléoclimatologie.

ABSTRACT. — *Paleogeographic and paleoclimatic evolution in the Chad basin during the Upper Pleistocene* : A sedimentologic study of the district of the Chari deltas enabled the authors to retrace its paleogeographic and stratigraphic evolution during the Upper Pleistocene (ca. 50,000 to 10,000 BP) : three periods of high lake levels were proved (before 35,000 BP and ca. 20,000 then 11,000 BP), and the fact that there was indeed an arid period was confirmed ca. 30,000 BP. These results perfectly combine with former studies carried on in the Northern part of the Chad basin, and complete them, for indeed they allowed the authors to evaluate the rainfall variations in the Southern part of the basin and the part they played in the lake level changes in the middle of the basin.

* Service de Géologie, Ecole des Sciences, B.P. 10662, Niamey, Niger.

** Section de Géologie, ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 Paris, France.

An attempt of reconstruction of the paleogeographic and paleoclimatic evolution of the known regions of the basin, leads to distinguish the origin and importance of rainfalls both in the Northern and Southern parts of the basin. Thus climatic variations are often not simultaneous and have result from different causes in each part. On the other hand, in the middle of the basin it seems that these variations are close to those that have been observed for the last century.

Key-words : Chad basin, Upper Pleistocene, Paleogeography, Paleoclimatology.

Introduction.

La découverte de dépôts lacustres et d'industries humaines en des lieux maintenant désertiques du bassin tchadien, suscita très tôt l'intérêt des observateurs. Les premières études géologiques (J. Tilho, 1910-1914; G. Garde, 1911) confirmèrent l'existence de variations climatiques quaternaires dont la chronologie a été précisée depuis par l'utilisation des datations au radiocarbone (H. Faure, 1962; H. Faure *et al.*, 1963). Parmi les travaux récents, les trois principaux concernent chacun une région et une méthode d'analyse différentes; F. Pirard (1964 à 1967) utilisa la géomorphologie dans le Manga (fig. 1), J. Pias (1958 à 1970) la pédologie dans le quart sud-est du bassin, enfin M. Servant (1969 à 1973) et S. Servant-Vildary (1970 à 1977) employèrent la stratigraphie et la paléoécologie (diatomées) dans le Centre et le Nord (du Bahr El Ghazal au Ténére). Les grands traits de la stratigraphie du Quaternaire récent sont maintenant bien définis (J. Pias, 1970; M. Servant, 1973). Les travaux en cours et à venir

chent à l'obtention d'une plus grande précision stratigraphique grâce à l'extension des domaines d'étude et à la mise en œuvre d'autres méthodes d'analyse. Ainsi J. Maley (1970 à 1980) cherche à reconstituer l'évolution climatique et ses mécanismes pendant les douze derniers millénaires, à l'aide de la palynologie. Pour notre part, nous avons entrepris l'étude sédimentologique du centre du bassin, dans la région des deltas du Chari (A. Durand, 1978; A. Durand et P. Mathieu, 1979, 1980; P. Mathieu, 1978) et le Manga nigérien (fig. 1) (A. Durand, 1980).

I. - HYDROLOGIE ET SÉDIMENTOLOGIE DU LAC TCHAD ET DE SA PÉRIPHÉRIE.

A. La situation actuelle.

L'hydrologie joue dans cette région un rôle très important dans les conditions de sédimentation, tant pour la variété des faciès (fluviaux, palustres, lacustres, évaporitiques, dépôts liés à la nappe phréatique, etc.), que pour leur répartition géographique. Un rappel de la situation actuelle fournit des éléments de comparaison pour l'interprétation et la discussion de nos propres observations sur les dépôts du Pléistocène supérieur. Nous ferons appel aux résultats des travaux multidisciplinaires que l'ORSTOM a entrepris depuis 1965 dans le bassin endoréique tchadien.

Nous pouvons distinguer au centre du bassin trois régions différentes du Sud au Nord : la région des plaines d'inondations et des deltas du Chari, la région du lac Tchad, la région des mares et lacs interdunaires du Kanem et du Bahr El Ghazal (fig. 1).

1. La région des plaines d'inondation ou « yaérés », et des deltas du Chari.

Elle est affectée directement par la pluviosité dans le Sud du bassin. C'est d'elle en effet que dépendent le débit des fleuves et leur charge solide, et donc leur pouvoir d'érosion et de dépôt. Les formations fluviales, sables et argiles (essentiellement kaoliniques), remanient les dépôts antérieurs fluviaux et éoliens. En période de crue des fleuves, cette région très plate est inondée. Il s'y accumule alors des sédiments argileux où domine la montmorillonite néoformée (J.P. Carmouze, 1976). De même la montée des eaux du lac provoque l'ennoiement de la zone aval des deltas, et y détermine également une sédimentation à montmorillonite dominante.

2. Le lac Tchad.

Il est situé dans une zone à climat sahélien : la pluviométrie varie du Sud au Nord de 500 à 200 mm/an. Les eaux du lac dépendent essentiellement des apports des fleuves Chari et Logone qui drainent une zone plus arrosée, à climat soudano-guinéen (plus de 1 000 mm/an). Le volume d'eau lacustre reflète donc moins les précipitations locales que la pluviosité sur le bassin en zone soudano-guinéenne et l'évaporation à la surface du lac.

Dans le lac actuel, la majorité des dépôts est constituée de montmorillonite; les apports sableux sont limités aux embouchures des fleuves, et les évaporites à la bordure nord (B. Dupont, 1970). Les eaux du lac sont peu salées. Une régulation saline du lac est en effet assurée à la fois par la sédimentation chimique et biochimique sélective dans le lac, et par une infiltration de solutions concentrées le long du rivage nord vers le Kanem (G. Maglione, 1976).

3. Le Kanem et le Bahr El Ghazal.

La situation de cette dernière région est plus complexe. En effet le lac Tchad n'occupe pas la zone la plus basse du bassin, mais une dépression sur son flanc sud-ouest. Son niveau oscille actuellement entre les cotes 279 et 283, alors qu'il existe au Nord-Est du Kanem (fig. 1) une zone déprimée, à la cote 180 : les Bas-Pays. Une vallée fossile, le Bahr El Ghazal, fonctionne comme un déversoir du lac en direction des Bas-Pays, et peut bénéficier d'un écoulement continu si l'eau du lac atteint la cote 286 (J. Rodier, 1962). Le lac Tchad occupe actuellement une position perchée par rapport à la nappe phréatique, mais sa contribution à l'alimentation de celle-ci est négligeable (M.A. Roche, 1973; A. Chouret *et al.*, 1977). De même, bien que la région du Bahr El Ghazal représente une dépression piézométrique, l'écoulement de la nappe phréatique y est aujourd'hui très faible. En l'absence d'apports de surface (fluviaux ou lacustres), ou par la nappe phréatique, les faibles précipitations locales (400 à 50 mm/an du Sud au Nord) constituent aujourd'hui l'unique apport d'eau dans le Kanem et le Bahr El Ghazal. Cette région est essentiellement constituée de dépôts sableux éoliens. Seule la bordure sud du Kanem est le siège de dépôts évaporitiques dans les dépressions interdunaires.

B. Hydrologie et sédimentologie des dépôts du Pléistocène supérieur.

1. Permanence de la situation géomorphologique.

Les auteurs ayant travaillé au Nord du lac Tchad considèrent qu'il n'y a pas eu d'écoulement du lac dans

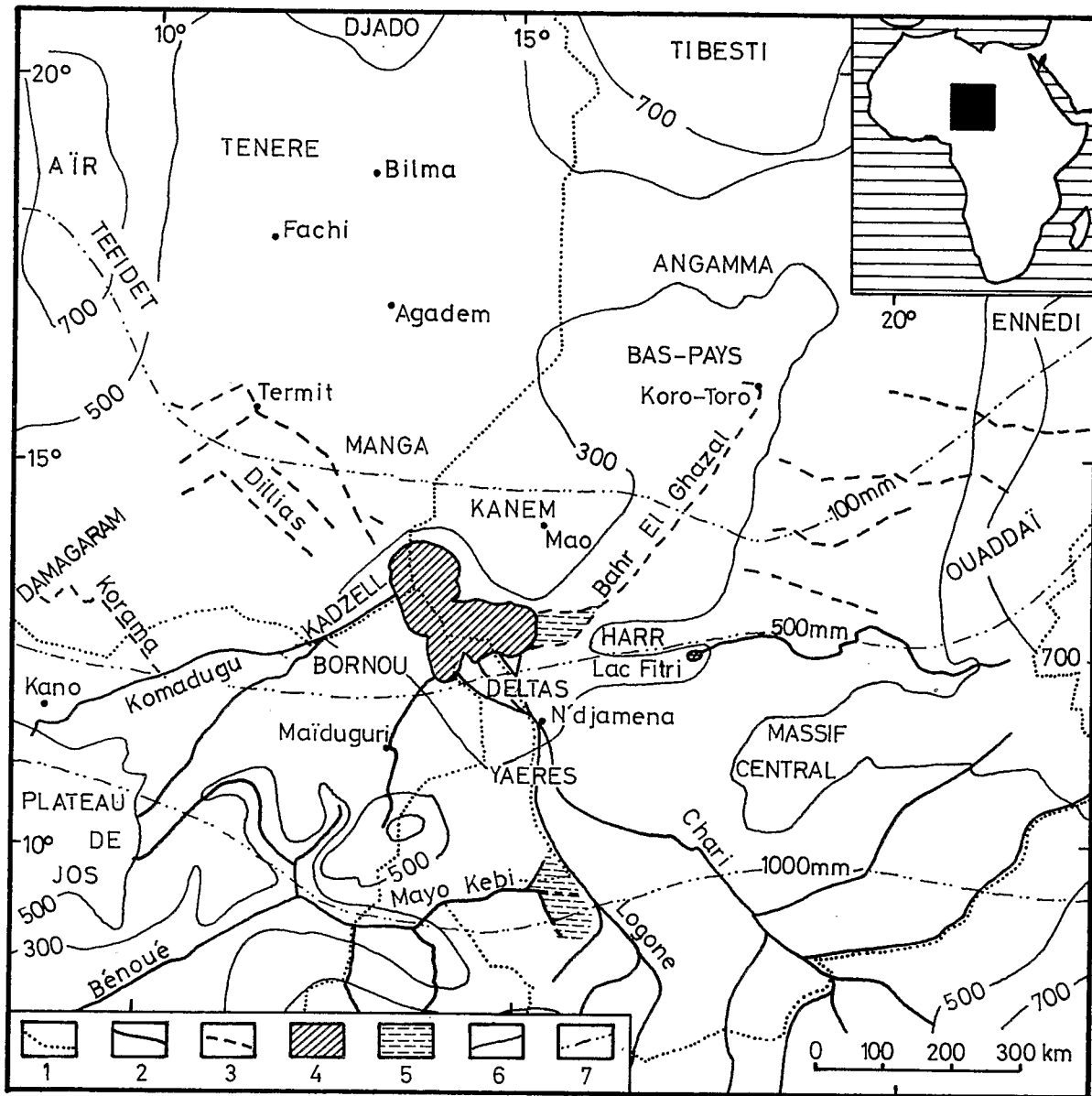


FIG. 1. - Carte de localisation du bassin du lac Tchad.

1 : frontières - 2 : cours d'eau permanents - 3 : cours d'eau temporaires - 4 : lac Tchad - 5 : seuils du Bahr El Ghazal et de la Bénoué - 6 : courbes de niveau (en mètres) - 7 : lignes isohyètes interannuelles (en millimètres).

FIG. 1. - Location map of the lake Chad basin.

1 : border lines - 2 : permanent watercourses - 3 : temporary watercourses - 4 : lake Chad - 5 : sills of Bahr El Ghazal and Benue - 6 : level contour lines (meters) - 7 : interannual isohyets contour lines (millimeters).

le Bahr El Ghazal pendant le Pléistocène supérieur (M. Servant, 1973 ; J. Maley, 1977). Le seuil du Bahr El Ghazal, constitué de sables éoliens de l'erg ancien (antérieur à 50 000 ans BP), empêchait le déversement vers les Bas-Pays des eaux fluviales provenant du bassin méridional, et conduisait donc à la formation d'un paléolac Tchad, dans les mêmes conditions qu'aujourd'hui.

2. Variation des niveaux lacustres et de la nappe phréatique.

Au Pléistocène supérieur dans la région du Kanem et du Bahr El Ghazal, ont existé des mares et des lacs interdunaires, parfois nombreux et profonds. En l'absence d'apports de surface, fluviales ou lacustres, l'eau de ces mares et lacs provenait des précipitations

locales, plus ou moins diminuées de l'évaporation, et de l'affleurement de la nappe phréatique (M. Servant, 1973). Nous savons que l'essentiel des réserves souterraines est d'origine ancienne en partie lacustre (J.C. Fontes *et al.*, 1970; M.A. Roche, 1973; A. Chouret *et al.*, 1977). L'alimentation de la nappe par le lac Tchad, aujourd'hui négligeable, a donc été dans le passé nettement plus importante. Il y a deux façons d'expliquer cette contradiction : ou bien les eaux lacustres étaient beaucoup plus abondantes dans le passé, de sorte que les conditions d'infiltration étaient tout à fait différentes des conditions actuelles; ou bien l'infiltration imperceptible à l'échelle d'une courte période d'observation devient notable en considérant des périodes géologiques plus longues.

3. Observation des variations climatiques.

Des études paléocéologiques (diatomées et pollens) ont mis en évidence les relations existant entre les variations des niveaux lacustres interdunaires d'une part, et les variations de la température et de la pluviosité locales et régionales d'autre part (S. Servant-Vildary, 1977 ; J. Maley, 1980).

L'étude sédimentologique de la région des deltas du Chari, en mettant en évidence les variations des dépôts fluviodeltaïques, voire leur interstratification avec une sédimentation typiquement lacustre, fournit de bonnes indications aussi bien sur les variations des précipitations dans le bassin versant méridional que sur les variations des niveaux lacustres, et donc indirectement sur l'évaporation locale et l'alimentation de la nappe phréatique au centre du bassin.

II. - ÉVOLUTION DE LA RÉGION DES DELTAS DU CHARI AU PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR.

A. Evolution lithostratigraphique.

1. Méthodologie.

Dans cette région extrêmement plate où les affleurements sont rares, nous avons échantillonné essentiellement une série de puits nouvellement créés par la Commission du Bassin du lac Tchad (fig. 2). Nous avons réalisé d'abord une étude sédimentologique (granulométrie, morphoscopie et minéraux lourds des sables, minéralogie des argiles, teneurs en carbonates) dont le détail des résultats analytiques a été exposé par

A. Durand (1978). L'interprétation s'est révélée très délicate en raison de la rareté des repères stratigraphiques. En effet, les dépôts sont peu variés (80 % de sables très fins et fins, généralement d'origine éolienne ancienne, et fréquemment remaniés); de plus les fossiles y sont très rares (un seul échantillon coquillier et très peu d'analyses significatives de diatomées). En outre l'accent doit être mis sur l'hétérogénéité latérale des faciès. Des dépôts sableux dans des chenaux ou des plages lacustres, peuvent passer latéralement à des dépôts argileux de plaine d'inondation ou de milieu lacustre. Cette hétérogénéité dans l'espace est aggravée par la migration dans le temps des lits fluviaux, ce qui bouleverse continuellement le paysage.

Suivant la méthode employée par M. Servant (1973) au Nord du lac Tchad, nous avons donc défini de grandes unités lithostratigraphiques, les corrélations s'appuyant en grande partie sur des âges radiométriques (A. Durand et P. Mathieu, 1979, 1980).

2. Les formations lithostratigraphiques.

Nous n'avons pratiquement pas trouvé de sables franchement éoliens dans cette région (la coupe de Ouled-Ambedja, fig. 2, est la seule exception). Par contre nous avons identifié trois phases de remblaiement fluviodeltaïque remaniant pour une grande part d'anciens sables éoliens. Elles sont séparées, parfois, par des dépôts carbonatés qui sont particulièrement importants pendant le Ghazalien et que nous avons datés. Les principales coupes (fig. 3) montrent ainsi la succession suivante, de bas en haut :

- une formation fluviodeltaïque inférieure, d'âge antéghazalien (antérieure à environ 40 000 ans BP);
- une formation fluviolacustre du Ghazalien (40 000-20 000 ans BP);
- une formation fluviodeltaïque intercalaire du Kanémien (20 000-12 000 ans BP);
- une formation fluviodeltaïque supérieure du Nigéro-Tchadien (à partir de 12 000 ans BP).

Cette succession peut être aisément replacée dans le cadre stratigraphique défini par M. Servant (1973) dans la partie septentrionale du bassin (fig. 4), et nous avons donc conservé les coupures et les termes stratigraphiques créés par cet auteur. La seule différence notable vient de la confirmation de l'existence vers 30 000 ans BP d'une phase aride séparant nettement le Ghazalien en deux parties distinctes. Par contre, des différences importantes liées à la paléogéographie et la paléoclimatologie apparaissent. Elles portent essentiellement sur deux points :

- les grandes phases d'éolisation reconnues au Nord correspondent au Sud à des remblaiements fluviodeltaïques;

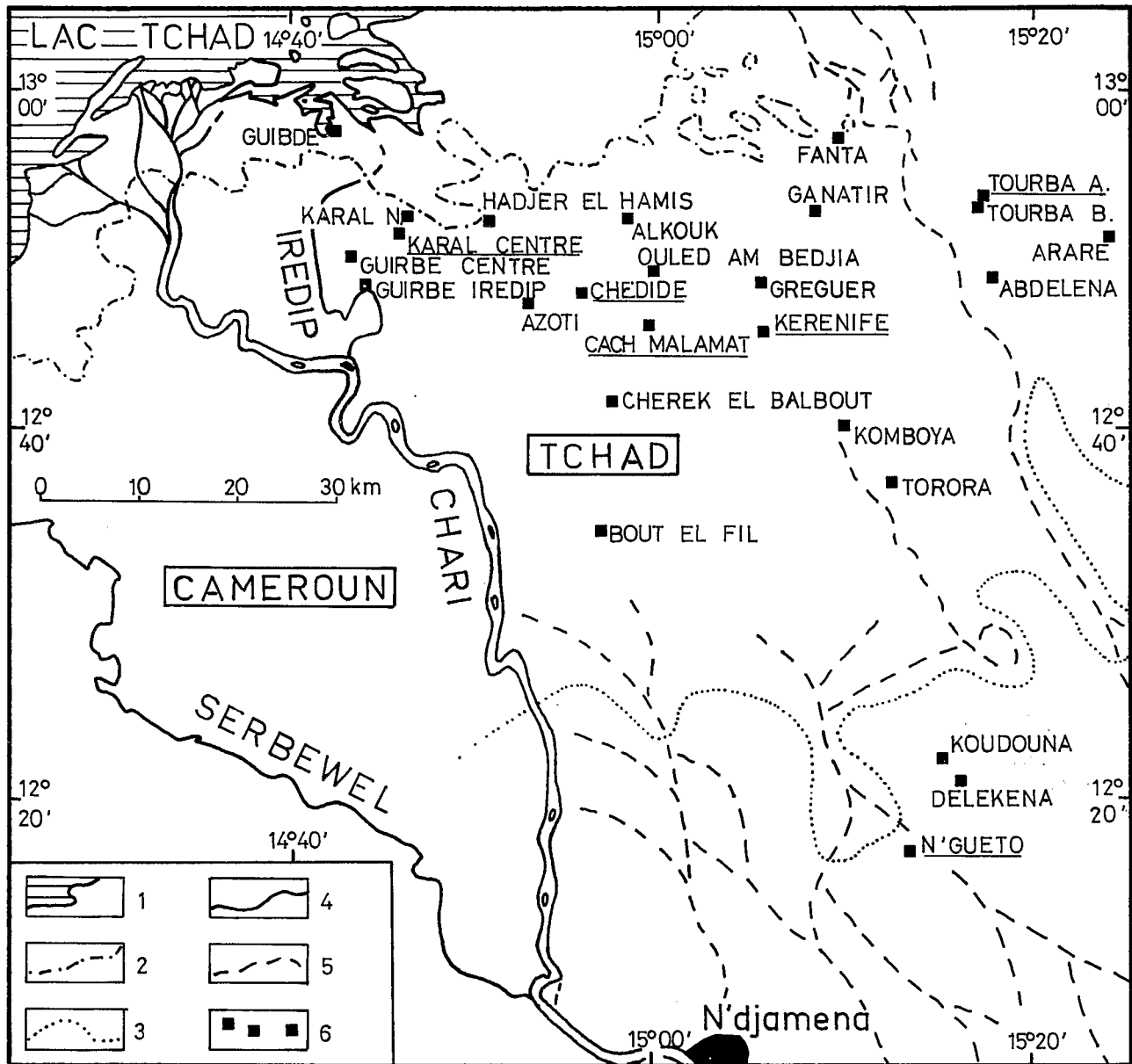


FIG. 2. - Carte de localisation de la région des deltas du Chari.

1 : rivage du lac Tchad à la cote 280 m - 2 : rivage du lac Tchad vers la cote 281,5 m, d'après la couverture photo aérienne IGN de 1951 - 3 : cote 290 m, d'après la carte IGN de 1958 - 4 : principaux bras du delta - 5 : écoulements temporaires - 6 : coupes géologiques.

FIG. 2. - Location map of the Chari deltas area.

1 : lake Chad shoreline 280 m high - 2 : lake Chad shoreline around 281,5 m high, according to aerial photographs by IGN in 1951 - 3 : level contour line 290 m high, according to 1958 IGN map - 4 : main delta's distributaries - 5 : temporary runs-off - 6 : geological sections.

— l'absence d'importants dépôts lacustres véritables semble indiquer que l'extension des paléolacs Tchad a été beaucoup plus restreinte que ce que supposaient les travaux antérieurs.

B. Evolution stratigraphique et paléogéographique.

1. L'Antéghazalien.

a) *L'erg ancien.* Dans le bassin tchadien, J. Pias (1970) a distingué par leur morphologie plusieurs ergs selon les localisations et orientations différentes des champs de dunes, le matériel sableux lui-même ne variant pratiquement pas. Il a décrit un « premier erg », ou erg ancien, surtout visible entre les 10^e et 11^e parallèles au Cameroun et au Nigeria, constitué de dunes longitudinales NE-SW de 5 à 10 m de haut et de 20 à 40 km de long, formées par des sables rouges provenant du Continental Terminal, ou de sables issus des « formations anciennes remaniées ». C'est à cet erg qu'appartiennent les « sables inférieurs » du Kanem (fig. 4) mis en place avant 40 000 ans BP environ (M. Servant, 1973).

Dans la région des deltas les matériaux situés à la base des coupes sont composés essentiellement de sables éoliens remaniés par les fleuves, et issus vraisemblablement de l'erg ancien. Les quinze premiers mètres de ces dépôts, datés par le ¹⁴C, sont antérieurs à 35 000 ans BP (fig. 3). En raison du taux de sédimentation admis de 5 à 10 cm/siècle (B. Dupont et G. Delibrias, 1970; M. Servant, 1973, p. 191), la période sèche qui présida à l'installation de l'erg ancien remonte à 50 ou 65 000 ans BP au moins (dates correspondant à celles avancées par H. Alimen, 1976, dans le Sahara Nord-Occidental).

b) *La formation fluviodeltaïque inférieure.* Alors qu'au Nord du lac Tchad les premiers dépôts lacustres apparaissent dans les interdunes vers 40 000 ans BP, le Sud connaissait des conditions plus humides depuis au moins 50 ou 65 000 ans BP. Dans la région des deltas du Chari, des dépôts fluviodeltaïques, généralement sableux et de plus en plus grossiers vers le Sud (jusqu'à 12 % de sables très grossiers à N'gueto, fig. 2), se sont déposés dans les creux du système dunaire de l'erg ancien, formant ainsi un paysage sans doute proche de celui de l'« archipel » actuel du lac Tchad (B. Dupont, 1970). Un paléolac Tchad pouvait exister alors au Nord de cette région, confiné comme aujourd'hui en bordure de l'erg du Kanem.

Plus au Sud, J. Pias (1970, p. 59-69) décrit d'importants dépôts deltaïques couvrant une superficie de

40 000 km² entre N'Djamena et le 9^e parallèle dans l'axe du Chari actuel. Leurs caractères sédimentologiques nous les font rattacher aux dépôts semblables du Sud de la formation fluviodeltaïque inférieure. Par sa situation et sa taille, ce vaste système fluviodeltaïque pourrait être comparé à celui du delta intérieur actuel du Niger au Mali.

2. Le Ghazalien.

Entre le lac Tchad et les Bas-Pays, de part et d'autre du Bahr El Ghazal, M. Servant (1973, p. 35-40) reconnaît des formations lacustres interdunaires, comprises entre deux formations de sables éoliens : les « sables inférieurs » antérieurs à 40 000 ans BP environ que nous venons d'évoquer, et les « sables intercalaires » compris entre 20 000 et 12 000 ans BP environ. Il désigne ces formations lacustres sous le terme de Ghazalien. Bien qu'il reconnaisse des discontinuités de sédimentation à l'intérieur du Ghazalien, les données dont il disposait alors n'étaient pas suffisantes pour établir des subdivisions. Nos observations, appuyées par les résultats récents de S. Servant-Vildary (1977), nous conduisent à proposer de distinguer un Ghazalien inférieur entre 40 000 et 30 000 ans B.P. environ, et un Ghazalien supérieur compris entre 30 000 et 20 000 ans B.P. environ (fig. 3 et 4).

a) *Le Ghazalien inférieur.* Dans la région des deltas du Chari, les dépôts fluviodeltaïques régressent progressivement et la surface émergée du « paléoarchipel » augmente. Dans un modelé dunaire, des dépressions s'individualisent et il s'y dépose de la calcite et de l'ankérite dès avant 35 000 ans BP (fig. 3). Ces dépôts carbonatés contiennent une microflore de diatomées qui révèle un milieu riche en sels, ainsi que des phytolithaires très abondants, indices d'une très faible hauteur d'eau et d'une forte évaporation. Les dépôts sableux émergés sont alors l'objet de remaniements et d'une reprise de l'éolisation.

b) *Le Ghazalien supérieur.* Après 30 000 ans BP, des dépôts fluviodeltaïques ont été observés sur certaines coupes alors que d'autres coupes montrent une lacune. L'augmentation des écoulements, signe du retour d'une pluviosité plus abondante, a sans doute été peu importante jusque vers 22 000 ans BP. Nous avons observé alors l'apparition, sans transition, de dépôts typiquement lacustres à diatomées planctoniques. L'extension maximum de ce lac qui recouvre la moitié nord de la région étudiée est datée de 21 800 ± 1 100 ans BP. Sa superficie n'aurait pas dépassé deux à trois fois celle du lac actuel. Au Sud, J. Pias (1970, p. 297) a décrit des dépôts qu'il regroupe sous le nom de « série fluviolacustre ancienne », et qu'il considère comme appartenant

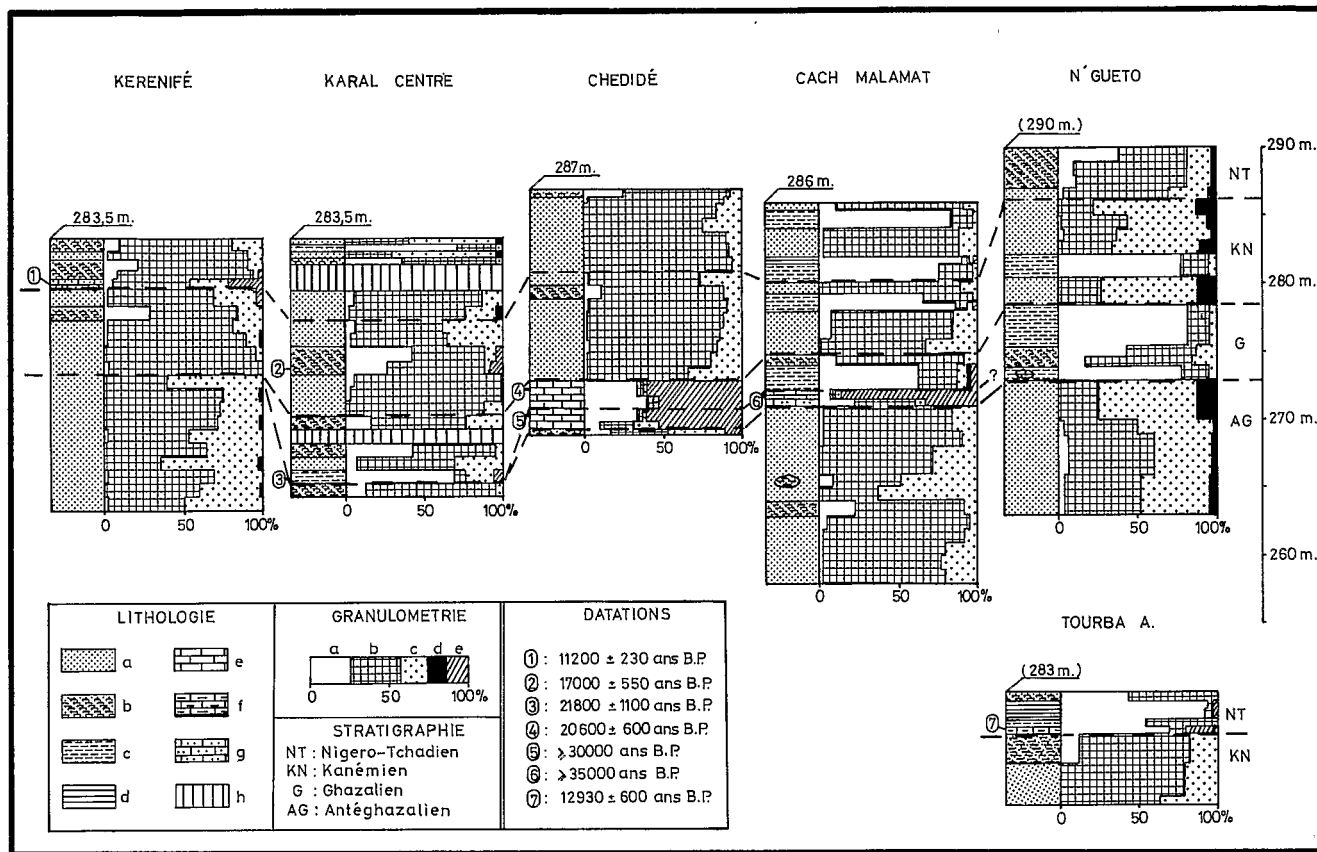


FIG. 3. - Principales coupes géologiques de la région des deltas du Chari.

Lithologie : a : sables > 90 % ; b : 50 % < sables < 90 % ; c : 50 % < argiles + silts < 90 % ; d : argiles + silts > 90 % ; e : carbonates ; f : marnes ; g : sables carbonatés ; h : absence d'échantillons.
Granulométrie : a : argiles + silts (< 63 µm) ; b : sables très fins et fins (63 à 250 µm) ; c : sables moyens et grossiers (250 à 1 000 µm) ; d : sables très grossiers (> 1 000 µm) ; e : carbonates.
Topographie : les altitudes indiquées entre parenthèses ont été estimées par rapport à la carte IGN de 1958 ; les autres ont été nivelées avec précision.

FIG. 3. - Main geological sections of the Chari deltas area.

Lithology : a : sands > 90 % ; b : 50 % < sands < 90 % ; c : 50 % < clays + silts < 90 % ; d : clays + silts > 90 % ; e : carbonates ; f : marls ; g : carbonated sands ; h : no samples.
Granulometry : a : clays + silts (< 63 µm) ; b : very fine and fine sands (63 to 250 µm) ; c : middle sized and coarse sands (250 to 1 000 µm) ; d : very coarse sands (> 1 000 µm) ; e : carbonates.
Topography : the altitudes between parentheses were estimated according to 1958 IGN map ; the other altitudes were precisely levelled.

nant à cette période. Le grand paléolac Tchad se trouvait donc dans le prolongement d'une vaste zone probablement marécageuse. Cette situation semble analogue à la situation existant actuellement après la saison des pluies. Une évolution vers des conditions arides se produisit ensuite, marquée par des dépôts fluviodeltaïques, éoliens et carbonatés dès avant 20 600 ± 600 ans BP.

3. Le Kanémien.

a) *En surface*, J. Pias (1970) a décrit un deuxième erg qui affleure au Nord du 11° parallèle et correspond aux

« sables intercalaires » de M. Servant (1973). Ce dernier a créé le terme de Kanémien pour désigner la période aride ayant présidé à leur dépôt, soit entre 20 000 et 12 000 ans BP environ. Ce terme de Kanémien est mis en parallèle avec celui d'Ogolien en Afrique de l'Ouest (P. Michel, 1977). J. Pias a différencié cet erg du premier, par son orientation NW-SE. Aujourd'hui nous savons que l'orientation des dunes n'est pas un critère chronologique. L'orientation est fonction de la direction du vent qui malgré une direction originelle commune (celle de l'alizé), varie énormément à l'échelle du continent africain selon les obstacles rencontrés (M. Mainguet et L. Canon, 1976). Comme nous l'avons déjà noté pour l'erg ancien, l'âge

BORD SUD DU LAC TCHAD (A. Durand et P. Mathieu, 1979, 1980)		NORD DU LAC TCHAD (M. Servant, 1973; S. Servant-Vildary, 1977)		
dépôts de la formation fluviodeltaïque supérieure	pas de variations importantes	plusieurs oscillations lacustres	dépôts lacustres interdunaires de la <u>Série de Labdé</u>	Nigéro-Tchadien
11000 B.P. 12000 B.P.	maximums	lacustres	11000 B.P. 12000 B.P.	
dépôts de la formation fluviodeltaïque intercalaire		dépôts et remaniements éoliens des sables intercalaires de la <u>Série des Soulias</u>		Kanémien
17000 B.P. et 20000 B.P.			20000 B.P.	
dépôts lacustres et fluviodeltaïques du Ghazalien supérieur	maximum	lacustre	dépôts lacustres interdunaires de la <u>Série des Soulias</u>	Ghazalien sup.
22000 B.P.			22000 B.P.	
30000 B.P.	émersion et évaporitiques	érosion et éoliens		Ghazalien inf.
dépôts lacustres interdunaires et fluviodeltaïques du Ghazalien inférieur	maximum	lacustre	38000 B.P.	
35000 B.P.			40000 B.P.	
dépôts de la formation fluviodeltaïque inférieure		dépôts et remaniements éoliens des sables inférieurs de la <u>Série des Soulias</u>		Anti-ghazalien
50000 à 65000 B.P.				
dépôts et remaniements éoliens de l'erg ancien				

FIG. 4. — Corrélations lithologiques, paléogéographiques et stratigraphiques de part et d'autre du lac Tchad au Quaternaire récent.

FIG. 4. — Lithologic, paleogeographic and stratigraphic correlations on both sides of lake Chad during recent Quaternary.

de la mise en place d'un erg est difficile à déterminer en raison de l'éventualité de remaniements postérieurs au dépôt lui-même.

b) *D'après les coupes de la région des deltas du Chari*, certaines zones ont pu rester constamment émergées et être soumises à l'action éolienne. Par contre, nous n'avons jamais observé de dépôts éoliens généralisés indiquant l'émergence complète de la région. La diminution des apports fluviaux a provoqué l'individualisation de dépressions interdunaires fermées où se sont déposés des carbonates dès avant 20 600 ans BP. Mais les écoulements fluviaux n'ont jamais cessé complètement. Sur certaines coupes (par exemple Karal centre, ou Cach Malamet, fig. 3), plus de cinq mètres de dépôts fluviodeltaïques suivent le maximum lacustre

de 22 000 ans BP. Ils comportent des intercalations argileuses lenticulaires dont la base est datée de $17\ 000 \pm 550$ ans BP. Postérieurement à 17 000 ans BP, les dépôts fluviodeltaïques abondent, mais les dépôts caractéristiques d'une émergence généralisée manquent. Il est donc très probable qu'à toujours existé, au moins à l'amont, une pluviosité notable, de 20 000 à 12 000 ans BP.

c) *En d'autres parties du bassin*, J. Hervieu (1970) a signalé des écoulements de type sahélien au Nord du Cameroun entre 20 et 17 000 ans BP. M. Servant (1973, p. 264-265) montre que le Bahr El Ghazal a connu au Kanémien des écoulements suffisants pour entraîner le creusement de la vallée actuelle. Comme ce creusement ne peut provenir du déversement d'un trop plein lacustre inexistant, cela révèle une pluviosité locale non négligeable. De même, sont apparues dès 16 500 ans BP des pluies d'hiver d'origine méditerranéenne sur le Tibesti (D. Jäkel, 1977) comme sur les autres massifs montagneux du Sahara central (F. Faure, 1969; P. Rognon, 1967). Ces pluies ont alimenté des écoulements notables sur les reliefs du Nord du bassin et permis une infiltration très efficace (P. Rognon, 1976).

L'ensemble de ces observations conduit donc à penser que l'aridité n'a pas été aussi prononcée au Kanémien que ce que l'on supposait jusqu'à maintenant.

4. Le Nigéro-Tchadien.

M. Servant (1973) a utilisé le terme de Nigéro-Tchadien pour désigner la période de dépôts lacustres du Kanem, du Manga et des Bas-Pays, postérieure au Kanémien.

Dans la région des deltas, les dépôts localisés de la série fluviodeltaïque intercalaire du Kanémien, ont cédé la place à des dépôts plus fins, localement carbonatés, à partir de $12\ 930 \pm 600$ ans BP (fig. 3). Un rivage lacustre a été reconnu à 20 km environ au Sud du rivage actuel, et le début de l'extension lacustre correspondante a été daté de $11\ 200 \pm 230$ ans BP.

Il est tout à fait surprenant que la région des deltas n'ait pas enregistré les fluctuations climatiques observées ensuite au Nord du Lac. Ainsi la baisse générale des niveaux lacustres qui a eu lieu vers 10 000 ans BP (M. Servant, 1973) n'a pas été identifiée de façon certaine, et surtout le sommet des coupes étudiées ne révèle aucune extension lacustre importante à l'Holocène. De nouvelles données en cours d'étude dans le Manga et le Sud du bassin devraient nous permettre de discuter ce point ultérieurement.

III. - ÉVOLUTION PALÉOHYDROLOGIQUE ET PALÉOCLIMATIQUE DU BASSIN TCHADIEN AU PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR.

En reportant sur une carte très schématique (fig. 5) du bassin tchadien les éléments connus de l'hydrographie au Pléistocène supérieur, nous nous sommes attachés à en faire ressortir les variations relatives, et non pas absolues, étant donné l'échelle considérée. Ainsi le nombre des mares et lacs interdunaires et de piémont, les superficies des lacs et des zones fluviodeltaïques, ou l'importance du réseau hydrographique, ne sont fonction que de leur importance estimée à partir des données du chapitre précédent. De même les localisations ne peuvent être considérées valables qu'à l'échelle régionale.

1. L'Antéghazalien.

A une époque antérieure à au moins 50 000 ans BP la bassin subissait une sécheresse accentuée présidant à la formation d'ergs. Puis la mise en place des sables dunaires fut interrompue par la construction d'un vaste delta de 40 000 km² dont les dépôts affleurent entre le 9° et le 12° parallèle dans l'axe du Chari actuel (« premier delta » de J. Pias, 1970) et ont été retrouvés sur plus de 15 m d'épaisseur à la base des coupes étudiées dans la région des deltas. Cela traduit certainement l'augmentation des précipitations sur le bassin des fleuves en zone soudano-guinéenne (fig. 5a). Cette construction fluviodeltaïque peut être comparée au delta intérieur actuel du Niger au Mali. Dans le même temps, le Kanem ne connaissait toujours que des conditions sèches favorables à la mise en place de formations dunaires (« sables inférieurs » de M. Servant, 1973). L'extension restreinte du paléolac Tchad, confiné comme aujourd'hui au Nord de la zone fluviodeltaïque, serait ainsi expliquée par une évaporation locale importante.

2. Le Ghazalien inférieur.

Vers 40 000 ans BP, la nappe phréatique affleurerait dans les creux interdunaires du Kanem, formant des mares peu profondes (M. Servant, 1973). Le contexte climatique ne paraissant pas avoir varié, cet affleurement de la nappe phréatique indique probablement une alimentation des aquifères à partir des eaux venues des régions méridionales du bassin. Ainsi dans un contexte climatique relativement aride, tel l'actuel, les faibles quantités d'eau disponibles annuellement pour l'alimentation des aquifères, auraient néanmoins permis une élévation notable du niveau de la nappe phréatique

en raison de la durée du phénomène (soit au moins 10 000 ans, de 50 à 40 000 ans BP environ).

Vers 38 000 ans BP, la présence dans les sédiments lacustres du Kanem de diatomées d'eau fraîche est interprétée par S. Servant-Vildary (1977, p. 101) comme révélant l'arrivée de masses d'air froid venant du Nord, provoquant l'installation d'un « climat humide et frais ». L'évaporation diminuant, les niveaux lacustres s'élevèrent (fig. 5b). Au Nord-Ouest, des traces de ruissellement sur les reliefs avoisinants du Ténéré (Termit, Fachi et Bilma) peuvent y indiquer l'existence d'une pluviosité occasionnelle, mais il n'y avait pas alors de formations lacustres (M. Servant, 1973). Ces arrivées d'air froid n'étaient donc pas accompagnées d'une pluviosité importante venant du Nord. L'alimentation des mares du Kanem était dans la dépendance des aquifères et non pas dans celle d'une augmentation sensible de la pluviosité locale. Dans la région des deltas, les dépôts étaient toujours de type fluviodeltaïque, sans recouvrement lacustre, ce qui doit traduire la permanence des conditions climatiques antérieures.

Puis entre 38 et 35 000 ans BP les lacs interdunaires du Kanem et du Bahr El Ghazal disparurent et les précipitations diminuèrent sur la partie méridionale du bassin (fig. 5c). Un climat de type sahélo-saharien avec des dépôts évaporitiques, et des remaniements éoliens, s'installa sur la région des deltas. Ce régime persista avec de courtes oscillations encore plus arides jusque vers 29 000 ans BP (fig. 5d).

3. Le Ghazalien supérieur.

Après 29 000 ans BP, les conditions climatiques évoluèrent au Kanem vers une plus grande humidité. Les diatomées y indiquent l'apparition d'un climat « plus frais à pluies fines et mieux réparties » entre 28 800 et 25 600 ans BP (S. Servant-Vildary, 1977, p. 96-99). En conséquence le nombre des lacs interdunaires augmenta. Dans la région des deltas, la fin des dépôts évaporitiques et la présence d'une lacune ou de dépôts éoliens et fluviatiles, pourraient indiquer une pluviosité un peu plus abondante que précédemment sur le bassin méridional, mais toujours limitée et mal répartie (lacune d'érosion par des crues ?) (fig. 5e).

Vers 26 000 ans BP environ a débuté une période marquée au Kanem, d'après l'étude des diatomées (S. Servant-Vildary, 1977) par l'arrivée fréquente de masses d'air froid venues du Nord. Cela provoqua l'augmentation du nombre et de la profondeur des lacs interdunaires avec un maximum lacustre proche de 22 000 ans BP. A la même époque, dans les régions septentrionales, des mares peu profondes, interdunaires et de piémont, sont apparues entre 26 et 21 000 ans

BP (Fachi, Bilma et Termit). Une augmentation de la pluviosité dans le bassin méridional, liée à la baisse de l'évaporation dans le centre du bassin, favorisa l'installation d'un grand paléolac Tchad qui recouvrit une grande partie de la région des deltas vers 22 000 ans BP (fig. 5f).

4. Le Kanémien.

La pluviosité diminuant, les mares et lacs interduinaires du Kanem s'asséchèrent après 20 000 ans BP. Il y a eu entre 20 et 17 000 ans BP établissement d'un climat de type sahélien au Nord du Cameroun (J. Hervieu, 1970) et le paléolac Tchad atteignit alors probablement un niveau minimum, mais la permanence des écoulements laisse supposer qu'il ne s'est jamais totalement asséché (fig. 5g-h). Entre 17 et 14 000 ans BP des pluies d'hiver d'origine méditerranéenne apparurent au-dessus du Tibesti (D. Jäkel, 1977) et les écoulements persistèrent dans la zone fluviodeltaïque, et peut-être le Bahr El Ghazal. Il est particulièrement délicat d'essayer de déterminer l'étendue de la zone véritablement désertique. Cette estimation était basée précédemment, d'une part sur la superficie actuelle des affleurements de sables éoliens (J. Pias, 1970), et d'autre part sur l'absence de dépôts lacustres dans la moitié nord du bassin (M. Servant, 1973). Nous avons vu que le dépôt originel des sables éoliens est certainement très ancien, et il n'est pas possible d'estimer l'importance des remaniements éoliens postérieurs. Par ailleurs rien, dans les dépôts observés dans la région des deltas du Chari, n'indique que le climat y était alors plus aride qu'aujourd'hui.

5. Le Nigéro-Tchadien.

Dès avant 13 000 ans BP, l'augmentation de la pluviosité dans le bassin méridional alimenta la zone fluviodeltaïque. Puis il y a eu réapparition des mares et lacs du Kanem à partir de 12 000 ans BP environ. L'extension rapide et simultanée des lacs dans tout le bassin à partir de 12 000-11 000 ans BP, avec un maximum vers 11 000-10 500 ans BP (fig. 5j) peut être due à nouveau à l'arrivée d'air froid depuis le Nord du bassin (S. Servant-Vildary, 1977).

Conclusions.

Au Pléistocène supérieur la permanence des principaux traits géographiques du centre du bassin tchadien est remarquable. Dans la morphologie dunaire d'un erg ancien, les fleuves alimentés depuis le Sud produisirent

au centre du bassin des remblaiements fluviodeltaïques où sont intercalés des remaniements éoliens et des évaporites, ou des dépôts lacustres planctoniques, selon les conditions climatiques.

Ces conditions semblent relativement proches de celles observées depuis un siècle et s'inscrivent dans les limites déduites à partir des observations récentes (J.Y. Gac, 1979). Ainsi pendant la période la plus aride, reconnue vers 30 000 ans BP, les dépôts évaporitiques existant actuellement sur la bordure nord du lac étaient décalés d'environ 100 à 150 km vers le Sud. De même pendant la période la plus humide, vers 22 000 ans BP, le paléolac Tchad avait une superficie qui était au plus le triple de l'actuelle. Ces deux extrêmes ont été reconnus depuis la Mauritanie (P. Chamard, 1970), le Sahara Nord-occidental (H. Alimen *et al.*, 1966; G. Conrad, 1969) et la moitié nord du Tchad (S. Servant-Vildary), jusqu'en Éthiopie (F. Gasse, 1975, 1977). Il est donc important de pouvoir en fixer les limites.

Par contre, à l'intérieur de ces limites, les variations climatiques n'ont pu être appréciées que d'une façon relative et sur des périodes assez longues (la précision chronologique étant généralement de l'ordre du millénaire). Deux points se dégagent néanmoins de nos observations. D'une part, les hauts niveaux lacustres, au centre du bassin, sont liés d'abord à des arrivées d'air froid depuis le Nord (M. Servant, 1973; S. Servant-Vildary, 1977), et ensuite à la pluviosité d'origine subéquatoriale sur le bassin méridional. Cette pluviosité peut intervenir soit indirectement par l'alimentation de la nappe phréatique sur une longue période (maximum lacustre de 38 000 ans BP), soit plus directement avec l'augmentation de la pluviosité (maximums de 22 000 et 11 000-10 500 ans BP). Ce dernier point est conforté par l'existence alors au centre du bassin de flores de type tropical (J. Maley, 1976; S. Servant-Vildary, 1977).

Par ailleurs, nous avons pu mettre en évidence la non-simultanéité fréquente des événements entre le Nord et le Sud du bassin (cela dans la limite de précision des datations par la méthode du radiocarbone). Ainsi, par exemple, les arrivées d'air froid depuis le Nord ne sont pas liées à une baisse simultanée de la pluviosité dans le Sud, car c'est elle qui alimenta les hauts niveaux lacustres. De même, alors que l'influence du climat méditerranéen apparaît au Nord vers 16 500 ans BP, un changement n'est notable au Sud qu'à partir de 14 ou même 13 000 ans BP. Néanmoins, nous n'avons pas encore d'éléments suffisants pour définir des zones climatiques et discuter de leurs mouvements éventuels au Pléistocène supérieur. C'est d'abord par analogie avec la situation actuelle que nous proposons d'attribuer la pluviosité sur le bassin méridional.

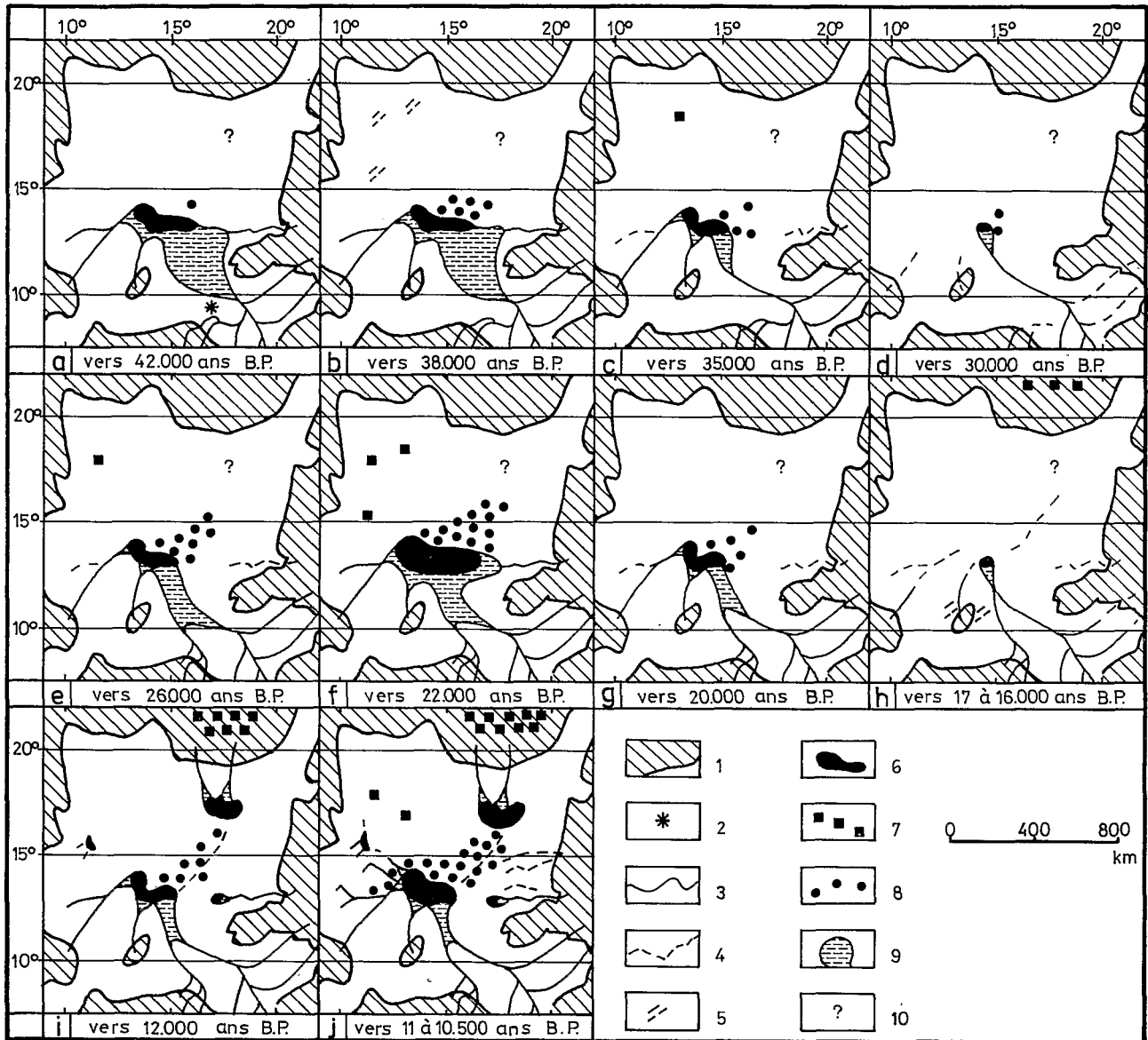


FIG. 5. - Evolution schématique des éléments connus de l'hydrographie du centre du bassin du lac Tchad au Pléistocène supérieur.

1 : altitudes supérieures à 500 m - 2 : les variations du cours du Logone et du Chari sont dessinées d'après J. Pias (1970), mais la question complexe et controversée de la capture du Logone par le Bénoué n'est pas abordée ici - 3 : cours d'eau permanents - 4 : cours d'eau temporaires - 5 : ruissellement localisé. Il n'y a pas de données utilisables pour les massifs périphériques - 6 : lacs hydrographiques et grands lacs de piémont - 7 : petits lacs de piémont ou intramontagnards - 8 : lacs et mares interdunaires - 9 : zones fluviodeltaïques et plaines d'inondations - 10 : il n'y a pas de données antérieures au Nigéro-Tchadien pour le Quaternaire récent des Bas-Pays.

FIG. 5. - Schematic evolution of the hydrography in the center of the lake Chad basin during upper Pleistocene.

1 : over 500 m high mountains - 2 : the variations of the flow of the Logone and Chari were drawn according to J. Pias (1970) but it is not argued whether the Benue captured the Logone - 3 : permanent watercourses - 4 : temporary watercourses - 5 : located rainwash. Available data concerning the mountains surrounding the lake Chad basin could not be used - 6 : hydrographic lakes and large piedmont lakes or intramontane lakes - 7 : small piedmont or intramontane lakes - 8 : interdunes lakes and pools - 9 : fluviodeltaic areas and flood plains - 10 : for recent Quaternary in the « Bas-Pays » there are no data previous to Nigero-Tchadian.

dional à une zone climatique soudano-guinéenne ou subéquatoriale. De même, c'est par analogie avec des observations météorologiques récentes que M. Servant (1973) propose l'hypothèse de descentes de « gouttes d'air polaire » vers l'équateur. D'autre part, l'analyse des variations relatives de la pluviosité et de la température telle que nous l'avons envisagée précédemment s'applique difficilement au cas d'un climat aride. L'absence de nappes d'eau de surface, et donc de dépôts lacustres et de diatomées, supprime alors tout point de comparaison. De même, les transitions, en particulier dans les cas d'un climat sahélien, auront tendance à passer inaperçues. Il n'est donc pas encore possible de discuter du mécanisme même des variations climatiques.

Remerciements. Nous remercions pour l'aide qu'ils nous ont apportée l'Université de Niamey et Monsieur O. Boureïma (Chef du Service de Géologie) ainsi que la CBLT. Nous remercions vivement M. Icole qui nous a guidé dans cette étude et également pour leurs conseils et critiques bienveillantes MM. H. Faure, J. Hervieu, J. Lang, P. Rognon et J. Trichet.

RÉFÉRENCES

- ALIMEN H. (1976). - Alternances « Pluvial-Aride » et « Erosion-Sédimentation » au Sahara nord-occidental. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XVIII, fasc. 4, p. 301-311.
- ALIMEN H., BEUCHER F. et CONRAD G. (1966). - Chronologie du dernier cycle Pluvial-Aride au Sahara nord-occidental. *C.R. Acad. Sc., Paris*, (D), t. 263, p. 5-8.
- CARMOUZE J.P. (1976). - La régulation hydrochimique du lac Tchad. Contribution à l'analyse biogéodynamique d'un système lacustre endoréique en milieu continental cristallin. *Travaux et documents ORSTOM*, n° 58, 421 p.
- CHAMARD P. (1970). - Le bassin-versant de la sebkha de Chemchane (Adrar de Mauritanie). Etude géomorphologique. Thèse 3^e cycle, Dakar, 207 p., ronéo.
- CHOURET., FONTES J.C. et MATHIEU P. (1977). - La nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad (République du Tchad). Etude complémentaire. *ORSTOM*, N'Djamena, 72 p. + annexes, ronéo.
- CONRAD G. (1969). - L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech, Tanzezrouft, Ahnet-Mouydir). *C.N.R.S.-CRZA*, Paris, n° 10, 528 p.
- DUPONT B. (1970). - Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. ORSTOM, sér. géol.*, vol. II, n° 1, p. 9-11.
- DUPONT B. et DELIBRIAS G. (1970). - Datation par le carbone C 14 d'un niveau sédimentaire de l'archipel du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. II, n° 1, p. 43-47.
- DURAND A. (1978). - Etude du Quaternaire récent dans la région des deltas du Chari (bassin du Tchad). Rapport préliminaire. *ORSTOM*, N'Djamena et Univ. Niamey, 123 p., ronéo.
- DURAND A. (1980). - Cordons dunaires périlacustres et oscillations du lac Tchad au Quaternaire récent. *26^e C.G.I., Paris*. Résumés, vol. II, p. 650.
- DURAND A. et MATHIEU P. (1979). - Essai de reconstitution de l'évolution paléoclimatique du bassin tchadien au Pléistocène supérieur, à partir de l'étude des formations fluvio-deltaïques du fleuve Chari. *Bull. ASEQUA*, n° 56-57, p. 69-71.
- DURAND A. et MATHIEU P. (1980). - Le Quaternaire supérieur sur la rive sud du lac Tchad (République du Tchad). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. XI, n° 1, à paraître.
- FAURE H. (1962). - Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. *Mém. BRGM*, 1966, n° 47, 630 p.
- FAURE H., MANGUIN E. et NYDAL (1963). - Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental : diatomites et âges absolus. *Bull. BRGM*, n° 3, p. 41-63.
- FONTES J.C., MAGLIONE G. et ROCHE M.A. (1970). - Eléments d'hydrologie isotopique dans le bassin du lac Tchad. *C.R. Coll. Kinshasa, 1969, I.A.E.A.*, Vienne, p. 209-219.
- GAC J.Y. (1979). - Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. Thèse, Strasbourg, 249 p., ronéo.
- GARDE G. (1911). - Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad et à l'Est et au Nord-Est du Tchad. Thèse, Librairie scientifique A. Hermann et fils, édit., Paris, 284 p.
- GASSE F. (1975). - L'évolution des lacs de l'Afar central du Plio-Pléistocène à l'Actuel. Reconstitution des paléomilieux lacustres à partir de l'étude des Diatomées. Thèse, Paris, 406 p. et annexes, ronéo.
- GASSE F. (1977). - Evolution of Lake Abhé (Ethiopia and TFAI), from 70,000 b.p. *Nature*, vol. 265, n° 5589, p. 42-45.
- HERVIEU J. (1970). - Influence des changements de climat quaternaire sur le relief et les sols du Nord-Cameroun. *Ann. Géogr.*, t. 433, p. 386-398.
- JÄKEL D. (1977). - Abfluss und fluviale Formungsvorgänge im Tibesti. Gebirge als Indikatoren zur Rekonstruktion einer Klimageschichte der Zentralsahara im Spätpleistozän und Holozän. *X^e Congrès INQUA*, Birmingham.
- MAGLIONE G. (1976). - Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires au Tchad. *Travaux et documents ORSTOM*, n° 50, 335 p. et 5 planches photos.
- MAINGUET M. et CANON L. (1976). - Vents et paléovents du Sahara. Tentative d'approche paléoclimatique. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XVIII, fasc. 2-3, p. 241-250.
- MALEY J. (1970). - Contribution à l'étude du bassin tchadien. Atlas de pollens du Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 40, (1), p. 29-48, 25 pl.
- MALEY J. (1976). - Essai sur le rôle de la zone tropicale dans les changements climatiques : l'exemple africain. *C.R. Acad. Sci., Paris* (D), t. 283, p. 337-340.
- MALEY J. (1977). - Analyses polliniques et paléoclimatologie des douze derniers millénaires du bassin du Tchad (Afrique centrale). *INQUA 1977. Supplément Bull. AFEQ*, 1977, 1, n° 50, p. 187-197.

- MALEY J. (1980). - Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. Thèse, Montpellier, 586 p., ronéo.
- MATHIEU P. (1978). - Découverte d'oolithes ferrugineuses en stratigraphie sous le delta actuel du Chari (Tchad). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. X, n° 2, p. 203-208.
- MICHEL P. (1977). - Recherches sur le Quaternaire en Afrique occidentale. *INQUA 1977 - Supplément. Bull. AFEQ*, 1977 - 1, n° 50, p. 143-153.
- PIAS J. (1958). - Transgressions et régressions du lac Tchad à la fin de l'ère tertiaire et au Quaternaire. *C. R. Acad. Sci., Paris (D)*, t. 246, p. 800-803.
- PIAS J. (1960). - Sédimentation au Quaternaire dans l'Est de la cuvette tchadienne (massifs du Ouaddaï et de l'Ennedi, plaines de Piedmont). *C. R. Acad. Sci., Paris (D)*, t. 250, p. 1514-1516.
- PIAS J. (1967). - Quatre deltas successifs du Chari au Quaternaire (Républiques du Tchad et du Cameroun). *C. R. Acad. Sci., Paris (D)*, t. 264, p. 2357-2360.
- PIAS J. (1970). - Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. *Mem. ORSTOM*, n° 43, 408 p. et 8 planches photo.
- PIRARD F. (1964). - Carte de reconnaissance hydrogéologique du Niger Sud-oriental à 1/1 000 000. *BRGM*, Orléans.
- PIRARD F. (1965). - Carte de reconnaissance géologique du Manga à 1/500 000. *BRGM*, Orléans.
- PIRARD F. (1967). - Notice explicative sur la carte géologique de reconnaissance du Manga (Niger Sud-oriental). *BRGM*, Orléans.
- ROCHE M.A. (1973). - Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse, Paris, 398 p., ronéo.
- RODIER J. (1962). - Résultats des études entreprises sur les phénomènes d'écoulement dans la dépression du Bahr El Ghazal. Réunion sur l'aménagement régional du bassin du Tchad et Réunion des hydrologues des pays riverains du Tchad, Fort Lamy, 9 p., ronéo.
- ROGNON P. (1967). - Le massif de l'Atakor et ses bordures (Sahara central). *CNRS-CRZA*, Paris, n° 9, 513 p.
- ROGNON P. (1976). - Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40 000 ans. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XVIII, fasc. 2-3, p. 251-282.
- SCHNEIDER J.L. (1967). - Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques aux Bas-Pays du Tchad. *Bull. ASEQUA*, n° 14-15, p. 18-23.
- SERVANT M. (1969). - Etat actuel des recherches stratigraphiques sur le Quaternaire dans les Bas-Pays du Tchad. *Bull. ASEQUA*, n° 22, p. 105-111.
- 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, p. 95-114.
- SERVANT M. (1973). - Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse, Paris, 348 p., ronéo.
- SERVANT M. et SERVANT-VILDARY S. (1970). - Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.*, (2), vol. XII, fasc. 1, p. 63-76.
- SERVANT-VILDARY S. (1977). - Etude des Diatomées et paléolimnologie du bassin tchadien au Cénozoïque supérieur. *Travaux et documents ORSTOM*, n° 84, 2 vol., 345 p. + annexes.
- TILHO J. (1910-1914). - Documents scientifiques de la Mission TILHO (1906-1909). Paris, Imp. Nat., 3 vol.