

## MECANISME DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AUX BASSES LATITUDES

JEAN MALEY

*Laboratoire de Palynologie du C.N.R.S., Faculté des Sciences, Montpellier (France) et O.R.S.T.O.M.,<sup>1</sup>  
Centre de Fort-Lamy (Tchad)*

(Accepté pour publication le 17 Août, 1973)

### ABSTRACT

Maley, J., 1973. Mécanisme des changements climatiques aux basses latitudes. (Mechanism of climatic changes at low latitudes.) *Palaeogeogr. Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 14: 193–227.

During the last millennium, the higher levels of lake Chad were connected with cooler periods, particularly at the time of the "Little Ice Age". This connection shows that, on the African continent, the monsoon is pushed by the Southern Polar Front from the Southern Hemisphere. It is essential to consider the part by the Polar Fronts of the two hemispheres — and especially their antagonism, to account for the climatic mechanisms in the lower latitudes.

### RÉSUMÉ

Au cours du dernier millénaire les hauts niveaux du lac Tchad ont correspondu à des périodes plus fraîches, particulièrement lors du "Petit Age Glaciaire". Cette correspondance montre que la mousson sur le continent africain est poussée par le Front Polaire Sud de l'hémisphère austral. Le rôle joué par les Fronts Polaires des deux hémisphères, particulièrement leur antagonisme, est capital pour expliquer les mécanismes climatiques des basses latitudes.

### INTRODUCTION

La comparaison des changements climatiques entre l'Afrique et l'Europe ou, d'une manière plus générale, entre les latitudes basses et les latitudes moyennes et hautes, a été un thème fréquent de recherches. Un synchronisme plus ou moins parfait a été mis en évidence par les datations absolues. Cependant aucune théorie globale n'a encore pu expliquer le mécanisme régissant ce synchronisme. Des explications partielles très intéressantes ont déjà été données.

Ainsi par exemple, il est maintenant bien établi que, durant les glaciations, les extensions glaciaires se sont répercutées sur la circulation atmosphérique: "front polaire et front tropical ont été rejetés loin vers le S par rapport à leur position actuelle" (Tricart, 1956, p.166). Des météorologues ont montré, tel Pédelaborde (1967), que la descente du Front Polaire Nord sur le Sahara ("gouttes polaires"), y est encore actuellement à l'origine de certaines pluies. On comprend ainsi aisément l'importance que ce phénomène a pu avoir dans le passé.

<sup>1</sup> Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

27 FEB. 1974

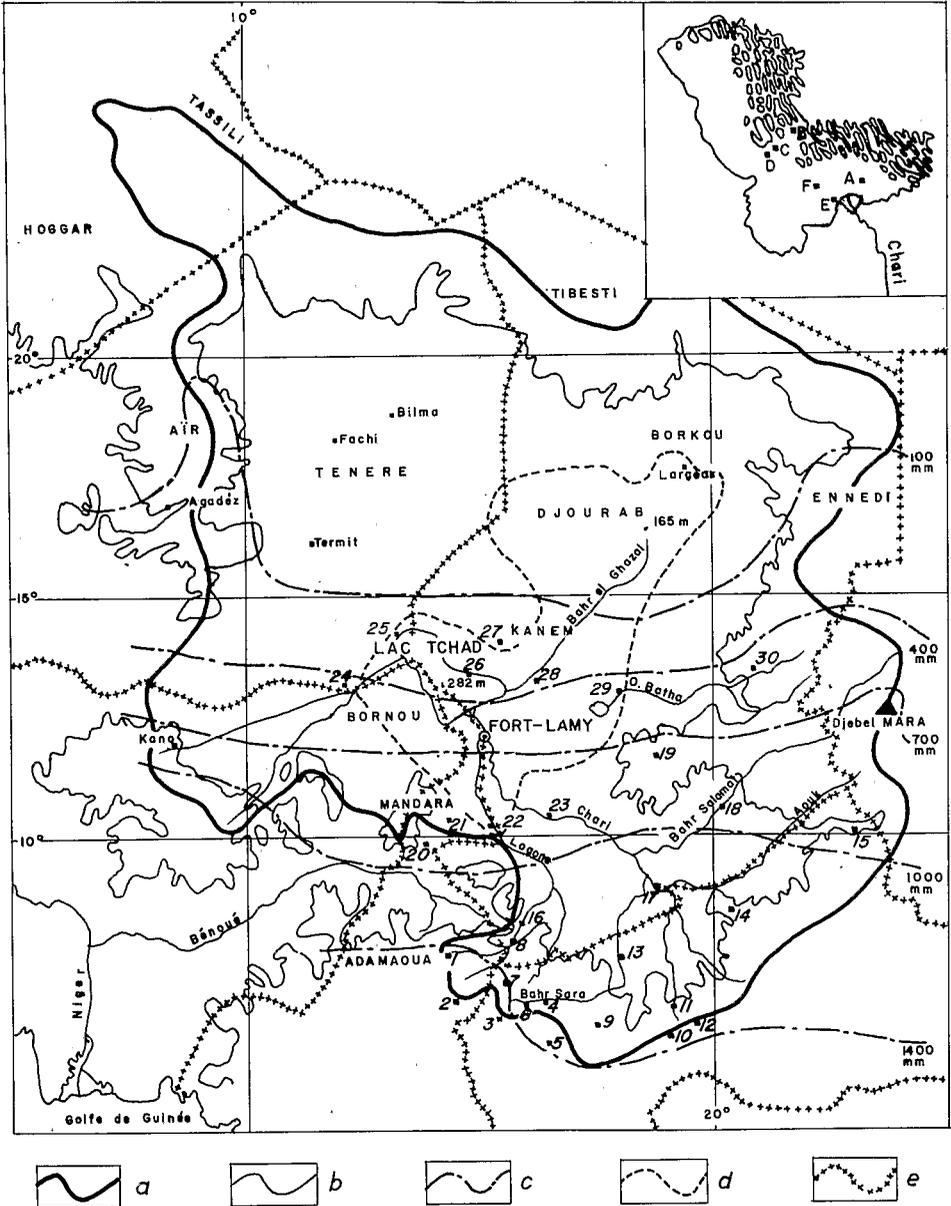
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B6699

La grande extension de la mousson sur l'Afrique durant un interglaciaire ou période "hyperthermale" a été montrée par Van Zinderen Bakker (1967). Mais, comme on le verra plus loin, ce schéma est partiel et ne peut s'appliquer qu'au début du dernier interglaciaire, par exemple.

Devant cette absence de théorie globale, Van Zinderen Bakker (1972, p.151) écrivait récemment: "It is evident from the available data that a new conception of the basic



principles underlying the climatic changes in Africa is needed for the formulation of a new working hypothesis”.

L'étude de la mousson sur le bassin du Tchad m'a permis de reprendre cette question sur des bases nouvelles.

#### LA MOUSSON SUR LE BASSIN DU TCHAD

Le bassin du Tchad, situé sur la marge sud du Sahara, est caractérisé par son endoréisme: les eaux des fleuves convergent vers le lac Tchad puis s'évaporent ou s'infiltrent. Le lac, à l'altitude moyenne de 282 m, n'occupe pas le point le plus bas du bassin, 165 m, mais seulement une large dépression sur son flanc sud. Avec une superficie de 24.400 km<sup>2</sup>, environ les 5/6 de la Belgique, et une profondeur moyenne de 3,85 m, il n'est qu'un lac résiduel comparé au Paléotchad holocène qui atteignait il y a 5400 ans une superficie proche de 350.000 km<sup>2</sup> à la cote 320 m (Pias, 1958, 1968; Schneider, 1967a; Servant, 1970; Servant et Servant, 1970 (Fig.1, 2A,D).

Le climat du bassin du Tchad est déterminé par l'action antagoniste de deux vents:

- (1) l'alizé boréal qui traverse le désert et souffle du nord-est,
- (2) l'alizé austral qui vient du Golfe de Guinée et souffle du sud-ouest.

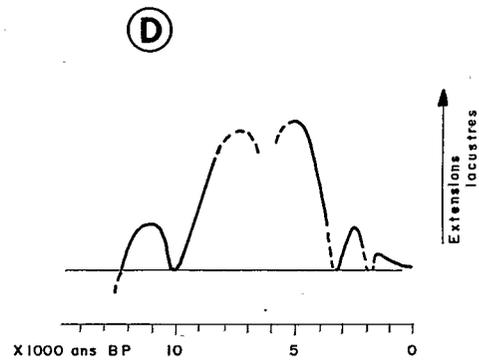
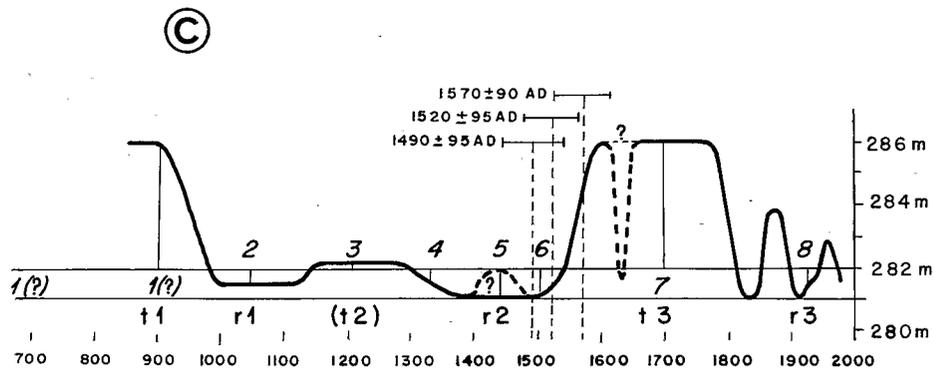
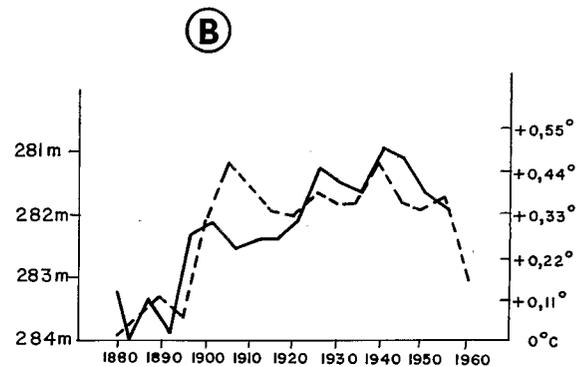
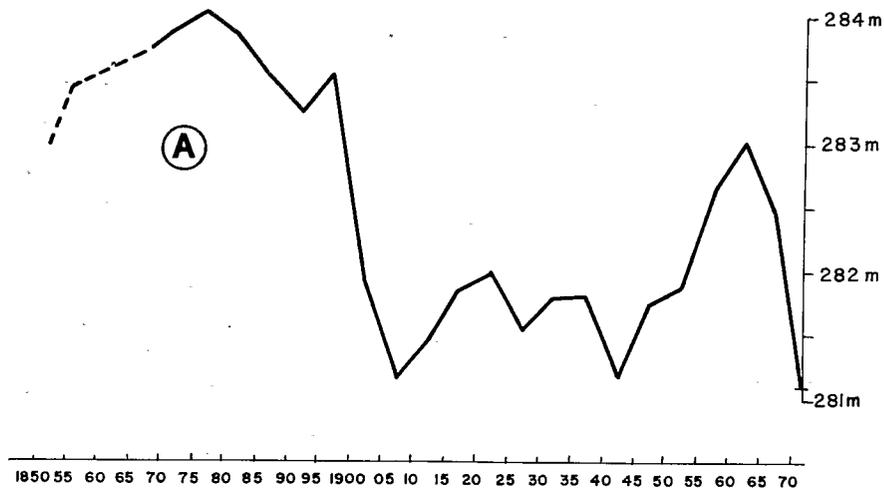
Le premier, appelé localement harmattan, est un vent sec, le second correspond à la mousson et apporte régulièrement chaque année les pluies sur le continent africain. Les deux alizés convergent ensemble en formant la zone de Convergence Intertropicale (CIT) (Lamb, 1957). Sur l'Afrique, ce contact entre un air sec et un air humide constitue un front très net que les météorologues appellent Front Intertropical (FIT). Au cours de l'année, le FIT se déplace, grosso modo, perpendiculairement aux méridiens. Les latitudes les plus basses sont atteintes en janvier, les plus hautes en août. A ce moment là, l'extrémité nord de la zone tropicale est atteinte; au Tchad, elle se situe sur les massifs du Tibesti et de l'Ennedi. La saison des pluies est donc de plus en plus courte lorsqu'on remonte vers le Nord. Le maximum de pluies coïncide avec le maximum du rayonnement

Fig.1. Le bassin du Tchad. *a* = limite du bassin; *b* = courbe de niveau à 500 m d'altitude; *c* = isohyètes; *d* = limite du Paléotchad holocène à l'altitude de 320 m; *e* = frontières entre états. Stations météorologiques: 1 = Ngaoundéré; 2 = Meiganga; 3 = Bouar; 4 = Bossangoa; 5 = Bossembélé; 6 = Bozoum; 7 = Bocaranga; 8 = Pandzangué; 9 = Bouca; 10 = Dékoa; 11 = Crampel; 12 = M'Brès; 13 = Batangafo; 14 = N'Délé; 15 = Birao; 16 = Moundou; 17 = Sarh (= Fort-Archambault); 18 = Am-Timam; 19 = Mongo; 20 = Guider; 21 = Maroua; 22 = Bongor; 23 = Bousso; 24 = Mainé-Soroa; 25 = Nguigmi; 26 = Bol; 27 = Mao; 28 = Moussoro; 29 = Ati; 30 = Abéché.

Dans le carton en haut, situation des échantillons prélevés dans le lac Tchad. *A* = Carotte des "Eaux Libres du Sud"; *B* = Carotte de Baga-Sola dans l'archipel; *C* = station de la "Grande Barrière", actuel, pour comparaison; *D, E, F* = oolithes ferrugineuses.

Fig.1. The Chad basin. *a* = limit of the basin; *b* = contour line 500 m high; *c* = isohyetes; *d* = limit of the Holocene Paleochad 320 m high; *e* = border lines between states. Meteorological stations: see above.

In the inset, situation of the samples in Lake Chad. *A* = drilling from the "Eaux Libres du Sud"; *B* = drilling from Baga-Sola in the archipelago; *C* = station of the present "Grande Barrière", for comparison; *D, E, F* = ferruginous oolithes.



solaire. Ces deux maxima caractérisent le climat tropical et s'opposent au climat méditerranéen caractérisé par le maximum des pluies durant la saison fraîche.

Selon l'hypothèse classique, le moteur de la mousson serait l'attraction des basses pressions sahariennes provoquées par l'échauffement du continent durant la saison chaude. Mais de nombreux météorologues se sont rendus compte que cette hypothèse n'expliquait pas complètement le phénomène observé.

A la suite des travaux de Rossby (1947), Pédelaborde (1970) a formulé une nouvelle hypothèse: la mousson sur le continent africain résulterait essentiellement de poussées originaires de l'Hémisphère Sud en hiver. Les basses pressions sahariennes n'auraient alors qu'un rôle très accessoire.

L'étude climatologique de la petite crue récente du lac Tchad (1953–1964) (Fig.2A) m'a semblé être un champ d'expérience capable de mettre à l'épreuve ces deux hypothèses.

#### ROLE DE LA TEMPERATURE ET DE LA PLUIE DANS LES VARIATIONS DU LAC TCHAD

De nombreuses recherches ont été menées dans la zone tropicale sur les conditions météorologiques qui y ont prévalu depuis la fin du siècle dernier (Brooks, 1954; Lamb,

Fig.2. A. Variation du niveau du lac Tchad depuis 1850 (d'après Touchebeuf de Lussigny, 1969); moyennes des hauts niveaux sur 5 ans. Le début de la courbe, en pointillés, est estimé d'après des observations anciennes.

B. Comparaison de l'évolution de la température moyenne (trait continu) dans la zone tropicale (30° N à 30° S) et de la variation du niveau du lac Tchad depuis 1880 (pointillés). Températures moyennes d'après Mitchell (1963) basées sur un grand nombre de stations à travers le globe; en ordonnées, augmentation de la température moyenne (degrés centigrades) et niveaux du lac Tchad.

C. Schéma des variations du niveau du lac Tchad depuis 1 millénaire (chronologie approchée). Les chiffres 1–8 correspondent à la position des échantillons sur la coupe de Baga-Sola. L'échantillon 1 peut se situer entre les VIII<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> siècles. Les datations absolues (<sup>14</sup>C) sont indiquées avec leur marge d'erreur. Niveaux du lac: 286 m, très haut niveau, écoulement continu dans le Bahr-el-Ghazal; 284 m, haut niveau de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle; 282 m, niveau moyen actuel; 281 m, assèchement partiel du lac.

D. Schéma des extensions lacustres au cours de l'Holocène (d'après Servant et Servant, 1970, fig.7).

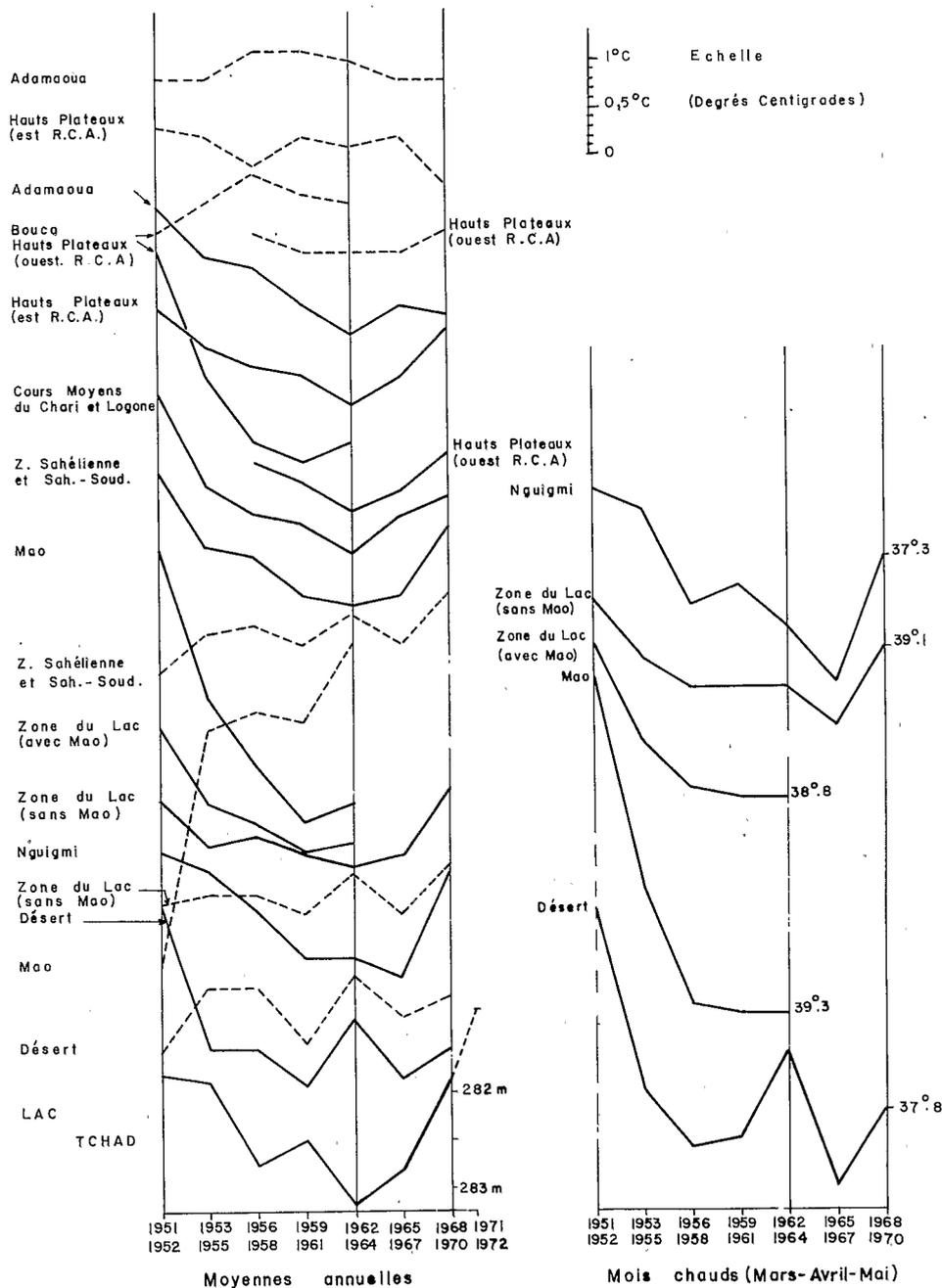
Fig.2. A. Variation of Lake Chad level since 1850 (from Touchebeuf de Lussigny, 1969); averages of higher levels for 5 years running. The beginning of the curve, in dots, is estimated from earlier observations.

B. Comparison of the evolution of average temperature (unbroken line) in the tropical zone (30° N to 30° S) and of the variation of Lake Chad level since 1880 (dots). Average temperatures from Mitchell (1963) computed from many stations all over the world; in ordinates, increment of average temperature (centigrade degrees) and Lake Chad levels.

C. Diagram of the variations of Lake Chad level in the last millennium (approaching chronology). Numbers 1–8 correspond to the position of the samples on the section of Baga-Sola. Sample 1 may range between the VIII<sup>th</sup> and X<sup>th</sup> centuries. The absolute datings (<sup>14</sup>C) are indicated with their standard deviation. Levels of the lake: 286 m, very high level, continuous flow in Bahr-el-Ghazal; 284 m, high level at the end of XIX<sup>th</sup> century; 282 m, actual middle level; 281 m, partial drying of the lake.

D. Diagram of lacustrine transgressions during Holocene (from Servant et Servant, 1970, fig.7).

1966; Mitchell, 1963; etc.). Ces études montrent qu'une baisse plus ou moins nette de la pluviométrie a été synchronisée d'une augmentation rapide de la température. Butzer (1971) a montré que l'arrêt de la baisse du lac Rodolphe puis sa crue récente étaient concomitantes



d'une baisse faible mais nette de la température régionale ainsi que d'une augmentation sensible de la pluviosité locale et de celle du plateau éthiopien.

### La température (Fig.3)

Mitchell (1963) a établi une courbe de variation des températures moyennes pour la zone tropicale (30°N à 30°S) depuis 1880. Une comparaison de celle-ci avec la courbe inverse des variations de niveau du lac Tchad montre que la température joue effectivement un grand rôle dans ces changements de niveau (Fig.2B). J'ai étudié ce phénomène pour la crue (1953–1964) puis pour la décrue récente (1965–1970) du lac Tchad. Durant cette période, on dispose de nombreuses données de température sur l'ensemble du bassin (Tchad, Niger, Cameroun, Centrafrique); les références sont données en annexe de la bibliographie. Plutôt que d'utiliser la température moyenne, j'ai utilisé la température maximale qui est le facteur le plus dynamique entrant dans son calcul:  $Ta = (Tx + Tn)/2$ .  $Ta$  (Température Moyenne),  $Tx$  (Température Maximale),  $Tn$  (Température Minimale).

Dans une étude récente du climat de l'Afrique Centrale, Riou (1972, p.145) écrit: "Plus significative que la température moyenne, qui ne traduit pas l'influence de l'humidité de l'air, est la température maximale moyenne qui rend mieux compte du climat diurne et qui est fortement influencée par la pluviosité". D'autre part, il m'a semblé plus intéressant de regrouper les stations des grandes zones géographiques et climatiques, plutôt que d'étudier séparément chacune d'elles. Les courbes de variation des températures maximales ont été construites en prenant la moyenne sur 3 ans, sauf pour le début sur 2 ans (années 1951–1952). A titre indicatif, les courbes des températures minimales moyennes ont été tracées en pointillés pour certaines stations.

---

Fig.3. Moyennes des températures maximales ( $Tx$ ) en traits pleins et des températures minimales ( $Tn$ ) en pointillés. Températures annuelles: colonne 1; températures des mois de la saison chaude (Mars, Avril, Mai): colonne 2. Moyennes sur 3 ans sauf pour 1951–1952, sur 2 ans. Comparaison avec les niveaux du lac Tchad, moyennes sur 3 ans (colonne 1, en bas). Stations météorologiques: pour chaque zone il est donné le nom ou le numéro des stations (cf. Fig.1) utilisées, puis les moyennes des  $Tx$  et des  $Tn$  de 1951–1952 et de 1962–1963–1964, période du plus haut niveau du lac.

Désert: Bilma, Largeau ( $Tx$ : 37,2° et 36,0°,  $Tn$ : 18,9° et 19,7°). Zone du lac (sans Mao): Fort-Lamy, 24, 25 ( $Tx$ : 35,6° et 34,9°,  $Tn$ : 19,7° et 20,0°). Nguigmi ( $Tx$ : 35,0° et 33,9°,  $Tn$ : 19,8° et 19,8°), Mao ( $Tx$ : 38,2° et 35,5°,  $Tn$ : 19,0° et 22,4°). Zone du lac (avec Mao): Fort-Lamy, 24, 25, 27 ( $Tx$ : 36,3° et 35,1°,  $Tn$ : 19,5° et 20,6°). Zones sahélienne et sahélo-soudanienne: Fort-Lamy, 19, 24, 25, 29, 30 ( $Tx$ : 36,7° et 35,3°,  $Tn$ : 20,1° et 20,7°). Cours moyens du Chari et du Logone: 16, 17, 18, 21, 23 ( $Tx$ : 35,8° et 34,1°,  $Tn$ : 20,0° et 20,3°). Hauts plateaux de la R.C.A. (est): 14, 15 ( $Tx$ : 34,4° et 33,4°,  $Tn$ : 19,3° et 19,1°). Bouca, Hauts plateaux de la R.C.A. (ouest): ( $Tx$ : 34,0° et 32,0°,  $Tn$ : 18,7° et 19,0°). Hauts plateaux de la R.C.A. (ouest), depuis 1956: ( $Tx$ : 31,8° et 31,3°,  $Tn$ : 19,2° et 19,0°). Adamaoua: 1, 2, 3 ( $Tx$ : 29,7° et 28,4°,  $Tn$ : 16,8° et 17,0°) Degrés Centigrades.

Fig.3. Averages of maximum temperatures ( $Tx$ ) on continuous lines and of minimum temperatures ( $Tn$ ) on broken lines. Annual temperatures: column 1; temperatures of the months in the warm season (March, April, May): column 2. Averages for 3-years running except for 1951–1952, 2-years running. Comparison with lake Chad levels, averages for 3-years running (column 1, et the bottom). Meteorological stations: for each zone, the name or number of the station is given (cf. Fig.1), then the averages of  $Tx$  and of  $Tn$  of 1951–1952 and of 1962–1963–1964, time of the lake highest level, see above.

L'examen des courbes des températures maximales montre immédiatement que la crue du lac s'est produite en même temps que l'ensemble des températures a baissé sur presque toute l'étendue du bassin. Cette baisse est liée en partie à l'augmentation générale des pluies sur le bassin, comme on le verra plus loin, mais est initialement due à une baisse du rayonnement solaire global. En effet, pour la zone du lac Tchad, j'ai étudié séparément les mois de la saison la plus chaude (mars, avril et mai) où l'influence des pluies et de la nébulosité est quasi nulle sur la température. Durant cette période, la température dépend entièrement du rayonnement solaire global (Riou, 1972). L'allure régressive des courbes durant la crue du lac est la même entre ces trois mois et l'année entière. Ceci tend à prouver qu'il s'agit d'un léger refroidissement généralisé. Mitchell (1963), Lamb (1966), etc., ont montré qu'à la même époque, en de nombreuses stations du globe, une tendance à la baisse des températures avait été observée, ainsi qu'une baisse du rayonnement solaire global (index solaire de Baur) (Lamb, 1966; Bray, 1971). De la neige a été signalée sur les sommets du Tibesti durant la Période des températures maximales les plus basses, pour les hivers 1958-1959 et 1962-1963 (Messerli, 1972).

Pour le bassin du Tchad, lors de la crue récente, l'écart le plus grand des températures maximales (2,7°C) a été observé à Mao qui est la station la plus proche de l'équateur thermique. Au Tchad, celui-ci est situé approximativement sur le 15ème parallèle (Riou, 1972). Cette observation permet de dire qu'une faible variation du rayonnement solaire global a une grande incidence sur la température des régions proches de l'équateur thermique. Le lac Tchad n'en est pas très éloigné (entre les parallèles 14°30' et 12°30'). Cette proximité en fait un indicateur climatique très sensible.

En effet, l'évaporation de l'eau du lac Tchad est étroitement contrôlée par la température locale de l'air. Le niveau du lac monte lorsque la quantité d'eau évaporée est inférieure à la quantité introduite par le Chari. Les infiltrations sont à peu près compensées par les pluies sur le lac (Touchebeuf de Lussigny, 1969). En moyenne, pour les années récentes, il s'évapore chaque année une épaisseur d'eau de 2,29 m, ce qui est considérable pour un lac dont la profondeur moyenne est de 3,85 m. Des calculs précis montrent que, corrélativement aux variations de température, l'évaporation annuelle sur le lac a été de 2,66 m en 1954 (année de températures maximales élevées) et de 2,15 m en 1962 (année de faibles maxima) (Touchebeuf de Lussigny, 1969).

Lors de la crue récente, les faibles variations de la température moyenne ne rendent pas compte de cette variation importante de l'évaporation. En effet, entre le début et le maximum de la crue, la température moyenne de l'ensemble du bassin a baissé de 0,4°C. Pour la zone du lac, la baisse a été infime, moins de 0,1°C, tandis que celle des températures maximales a été de 1,3°C. Le calcul de ces valeurs a été fait en utilisant les données de Fort-Lamy, Maïné-Soroa, Nguigmi et Mao. Les températures maximales sont donc ici de meilleurs indicateurs climatiques.

#### *La pluie (Fig.4)*

J'ai effectué aussi une compilation des données pluviométriques annuelles d'un grand

nombre de stations météorologiques du bassin du Tchad et de quelques unes voisines de sa limite méridionale. Les relevés couvrent une période plus longue que pour les températures. J'ai construit les courbes depuis 1940, en établissant une moyenne sur 3 ans et sur 4 pour 1940-1943. Les stations ont été regroupées suivant les bassins hydrographiques au sud, et ensuite suivant les zones climatiques. La lecture des courbes est moins aisée que pour celles des températures, cependant on constate que pour la période de la crue du lac, la pluviométrie a, presque partout, été supérieure à la moyenne. La baisse continue des températures n'a pas été influencée par les années à faible pluviométrie.

Les variations des crues du Bahr Sara à Manda et du Chari à Sahr (Touchebeuf de Lussigny, 1969; Chouret, communication personnelle, 1972) suivent assez bien, pour les années récentes, les variations de la pluviométrie sur leur bassin. Bouchardeau et Lefèvre (1957) ont montré qu'il y avait une assez bonne relation entre l'hydraulicité du Chari et la pluviosité sur le bassin. La moyenne sur trois ans de la valeur maximale de la crue du Chari à Fort-Lamy intègre donc assez bien les données pluviométriques de l'ensemble du bassin. On constate que les trois maxima de sa courbe se situent entre 1953 et 1963, période de la crue du lac Tchad. Les années 1956-1958 sont nettement déficitaires. Un déphasage s'observe entre les années excédentaires ou déficitaires du Chari et leur répercussion sur le niveau du lac.

### *Conclusions*

Cette étude climatologique montre qu'une pluviosité supérieure à la moyenne est associée à une baisse des températures maximales; cette baisse est initialement indépendante de l'augmentation de la nébulosité et de l'humidité. Ces observations sont en opposition avec l'hypothèse thermique selon laquelle la mousson serait attirée vers l'intérieur du continent africain du fait de sa température élevée en été. Si cette hypothèse était exacte, les périodes ayant une température relativement plus élevée devraient être celles où la pluviosité est la plus importante. En revanche, ces observations apportent une première confirmation à l'hypothèse de Pédelaborde (1970).

Cependant le rôle de la convection thermique n'est pas à rejeter totalement. En effet, durant l'été boréal, l'attraction des basses pressions sahariennes peut, certaines années, accentuer beaucoup les pluies sur la zone sahélienne. Ainsi pourrait s'expliquer la forte pluviosité sur le Sahel pour les années 1950-1951-1952 (Fig.4, courbe 4) qui se situe en même temps qu'une période à températures maximales élevées. Durant ces trois années, la pluviosité a été faible ou moyenne sur la partie méridionale du bassin. A titre d'hypothèse, ceci pourrait être causé par un déphasage de quelques années de la tendance générale des températures entre les deux hémisphères.

### ÉTUDE DES FLUCTUATIONS DU LAC TCHAD DEPUIS UN MILLENAIRE

L'étude stratigraphique et palynologique des sédiments déposés dans le fond du lac

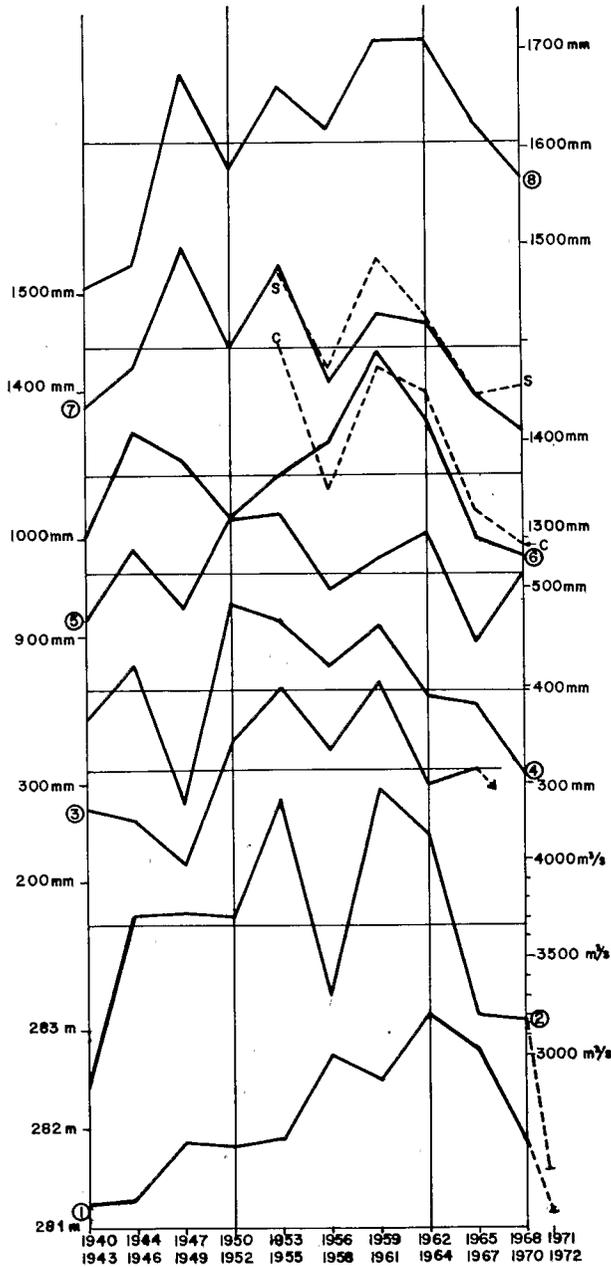


Fig.4. Pluviométrie sur le bassin du Tchad de 1940 à 1970. Les traits horizontaux correspondent aux valeurs moyennes. Comparaison avec les niveaux du lac Tchad. Moyennes sur 3 ans, sauf de 1940 à 1943 sur 4 ans. 1 = Hauts niveaux du lac Tchad; 2 = hydraulité du Chari à Fort-Lamy: valeurs maximales de la crue en  $m^3/s$ ; 3 = pluviométrie de la zone du lac Tchad; reconstitution d'après 5 stations entourant le lac (Touchebeuf de Lussigny, 1969, p.70); 4 = pluviométrie sur les zones

Tchad m'a permis de remonter dans le temps à partir de l'actuel et d'étudier d'une manière précise les transgressions et les régressions du lac depuis environ un millénaire.

### *Les témoignages historiques*

Les premiers explorateurs européens qui arrivèrent sur les bords du lac, le Major Denham en 1823, Barth en 1851, Rohlfs en 1866, Nachtigal de 1870 à 1873 puis, à la suite de la pénétration française, Tilho en particulier, entre 1906 et 1909, sont unanimes à rapporter qu'autrefois, le trop plein du lac se déversait dans le Bahr-le-Ghazal, fleuve qui s'enfonçait dans le désert pour aller alimenter un autre lac au Borkou (Tilho, 1911). Barth écrit que plusieurs indigènes lui racontèrent qu'il existait encore un homme très âgé (en 1851) qui avait été en pirogue du lac Tchad au Borkou durant sa tendre jeunesse. Le fait rapporté par Barth, d'après Tilho (1911), aurait pu se passer entre 1790 et 1800.

Les estimations faites par des hydrologues (Rodier, 1962) montrent qu'un écoulement continu du Bahr-el-Ghazal a lieu lorsque le lac est à une cote voisine de 286 m. Près du lac, des niveaux coquilliers se rencontrent vers cette altitude (Rodier, 1962; Schneider, 1967b). Il est donc possible de conclure que le lac était à cette cote vers la fin du XVIIIème siècle.

Les observations scientifiques menées par Tilho (1910), puis par les hydrologues de F.O.R.S.T.O.M.<sup>1</sup>, ont permis de reconstituer d'une manière précise les fluctuations du lac depuis le début du XIXème siècle (Bouchardeau et Lefèvre, 1957; Touchebeuf de Lussigny, 1969) (Fig.2A).

En 1823 le lac était à un niveau moyen proche de 282 m. Entre cette date et 1850 il y eut une période d'assèchement. De 1850 à 1900 le lac était en crue, oscillant entre 283 et

---

sahélienne et sahélo-soudanienne: stations, Fort-Lamy, 24, 25, 26, 27, 28, 30; 5 = pluviométrie sur les cours moyens du Chari et du Logone: stations, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22; 6 = pluviométrie sur le cours supérieur du Chari: stations 10, 11, 12, 14; C en pointillés: hydraulicité du Chari à Sahr (station 17), maxima de la crue en m<sup>3</sup>/s; 7 = pluviométrie sur le cours supérieur du Bahr Sara: stations 3, 4, 9, 6, 13; S en pointillés: hydraulicité du Bahr Sara avant son confluent avec le Chari, maxima de la crue en m<sup>3</sup>/s; 8 = Cours supérieur du Logone: stations 1, 2, 4.

Fig.4. Pluviometry on the Chad basin from 1940 to 1970. The horizontal lines correspond to average values. Comparison with lake Chad levels. Averages for 3-years running, except for 1940 up to 1943, 4-years running. 1 = Higher levels of lake Chad; 2 = hydraulicity of the Chari at Fort-Lamy: maximum values of flood in m<sup>3</sup>/s; 3 = pluviometry of the zone of lake Chad; reconstitution based on 5 stations around the lake (in Touchebeuf de Lussigny, 1969, p.70); 4 = pluviometry on the sahelian and sahélo-soudanian zones: stations, Fort-Lamy, 24, 25, 26, 27, 28, 30; 5 = pluviometry on the middle waters of the Chari and the Logone: stations, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22; 6 = pluviometry on the head waters of the Chari: stations 10, 11, 12, 14; C in dots: hydraulicity of the Chari at Sahr (station 17), maximum of the flood in m<sup>3</sup>/s; 7 = pluviometry on the head waters of the Bahr Sara: stations 3, 4, 9, 6, 13; S in dots: hydraulicity of the Bahr Sara before its junction with the Chari river, maximum of the flood in m<sup>3</sup>/s; 8 = head waters of the Logone: stations 1, 2, 4.

284 m, sans atteindre le très haut niveau de la fin du XVIIIème siècle. L'eau du lac envahit le Bahr-el-Ghazal sur 180 km seulement. De 1900 à 1950, le niveau du lac redescendit pour osciller entre 281 et 282 m. De 1953 à 1964, le lac connut une petite crue brève mais très nette; la cote la plus haute a été de 283,32 m en janvier et février 1963. En 1971, le lac était de nouveau très bas, proche des plus bas niveaux enregistrés entre 1900 et 1950 (Chouret, communication personnelle, 1972).

### *Les données stratigraphiques*

L'étude stratigraphique et sédimentologique des dépôts récents du lac Tchad a permis à Dupont et Delibrias (1970) et Dupont et Cheverry (1970) de présenter le schéma suivant à partir de l'alternance de couches d'argile (hauts niveaux: transgressions), d'argile sableuse et vase tourbeuse (bas niveaux: régressions):

- (1) Phase lacustre ancienne (transgression t I).
- (2) Régression (r I).
- (3) Phase lacustre (t 2).
- (4) Régression (r 2) conduisant à un assèchement partiel daté de  $460 \pm 95$  ans B.P. Une autre datation inédite (Cheverry) donne  $430 \pm 95$  ans B.P. Cet assèchement se situe donc approximativement en l'an 1500.
- (5) Phase lacustre (t 3).
- (6) Régression actuelle (r 3).

### *Essai chronologique*

Dupont et Delibrias (1970) ont donné une vitesse moyenne de sédimentation de 1 cm en 10 ans dans l'archipel sud. La sédimentologie de la carotte utilisée montre que cette vitesse correspond essentiellement à celle d'une phase transgressive. Sur la carotte de Baga-Sola, étudiée plus loin, on peut établir que les 23 cm déposés depuis environ 460 ans donnent une vitesse moyenne de 1 cm en 20 ans. Il est possible ici de fractionner le calcul. La datation inédite (Gif, 1235) d'un haut niveau d'une mare du Kanem (Nioum), voisine du lac, est de  $380 \pm 90$  ans B.P., soit vers 1570; la dernière phase transgressive était donc probablement commencée à cette date. Les témoignages historiques indiquent que cette phase s'est achevée vers 1800. Le très haut niveau lacustre, situé vers 286 m, a donc duré environ 230 années, soit un dépôt de 1 cm en 15 ans. Ce très haut niveau semble avoir été à peu près continu, cependant une courte régression peut y être envisagée. En effet, une autre carotte (B. 67) montre un petit niveau tourbeux dans le tiers inférieur du dépôt correspondant à ce très haut niveau (Dupont et Delibrias, 1970). Les 8 autres centimètres de la carotte de Baga-Sola correspondent à des phases régressives ayant duré en tout 230 années, soit une vitesse de 1 cm en 29 ans.

Entre la fin de la transgression t I et la fin de la phase régressive r 2 datée de ca. 1500, il s'est déposé 27 cm de sédiment, correspondant essentiellement à des bas niveaux du lac, comme on le verra par la suite. La vitesse de 1 cm en 29 ans fournit une durée de 783

années, soit la fin de t I vers 717 de notre ère. La vitesse moyenne calculée par Dupont et Delibrias (1970) donne une durée probablement trop brève de 270 ans, soit vers l'an 1230. La vitesse moyenne calculée à Baga-Sola nous conduit en l'an 960 pour la fin de t I. Il est donc permis de conclure que la fin de t I se situe approximativement entre le VIIIème et le Xème siècle (Fig.2C):

- (1) Fin de t I entre le VIIIème et Xème siècle.
- (2) Fin de r 2 vers 1500.
- (3) Début de t 3 vers 1570.
- (4) Fin de t 3 vers 1800, soit t 3 de la fin du XVIème à la fin du XVIIIème.

#### LES ANALYSES POLLINIQUES

J'ai entrepris l'analyse pollinique de deux carottes prélevées dans le fond du lac. La première, longue de 55 cm, a été prélevée par Dupont en avril 1968 dans l'archipel sud, près de Baga-Sola (station 163) (carton de la Fig.1, point B); elle présente une stratigraphie claire correspondant au schéma présenté par cet auteur. La seconde carotte a été prélevée par Dupont et Maley en décembre 1966 dans les "Eaux Libres du Sud", à 15 km au nord du delta. Cette carotte, longue de 60 cm, était formée par de l'argile gris-bleu sans stratigraphie apparente (carton de la Fig.1, point A).

Ces analyses polliniques font suite à un travail sur la sédimentation pollinique actuelle dans la zone du lac Tchad (Maley, 1972). Les spectres polliniques établis sur des boues actuelles du fleuve, du lac et de mares voisines, donnent une bonne image de la végétation locale, sur quelques centaines de mètres autour de la station, régionale et de l'ensemble du bassin.

#### Méthodologie

Comme pour ce travail, les pollens sont regroupés ici selon l'appartenance écologique et la dominance actuelle plus ou moins marquée dans les différentes zones climatiques des plantes auxquelles ils appartiennent. Une certaine simplification a été rendue nécessaire pour établir cette classification. Les cinq éléments phytogéographiques suivants ont été constitués: (1) élément sahélien; (2) élément sahélo-soudanien; (3) éléments soudanien et soudano-guinéen rassemblés dans le groupe des pollens allochtones méridionaux; (4) élément pluri-régional.

Afin de mieux rendre le dynamisme de la végétation, en plus de ces éléments, les taxons et les groupes de plantes ayant une signification écologique intéressante ont été étudiés séparément. La plupart des plantes se retrouvent dans plusieurs groupements:

- (1) Les plantes herbacées: les Gramineae, les Cyperaceae.
- (2) L'ensemble des arbres: les arbres régionaux, les Combretaceae.
- (3) Les plantes aquatiques: *Aeschynomene elaphroxylon*, arbre aquatique dont le nom vernaculaire est "ambatch".
- (4) Les plantes nettement allochtones à la zone étudiée, soit: les plantes allochtones

méridionales correspondant aux éléments soudanien et soudano-guinéen, les plantes allochtones septentrionales.

(5) Les pollens indéterminés et indéterminables.

Il n'a été tenu compte ici que des pourcentages relatifs car les sédiments et les résidus polliniques ne sont pas homogènes. Certains culots résiduels contiennent beaucoup de débris divers, tandis que d'autres sont très "propres".

Afin d'obtenir une meilleure lecture des résultats, le pourcentage relatif des pollens de chaque élément ou groupe a été comparé avec celui de l'échantillon actuel ou subactuel de surface. Les coefficients de fréquence relative ainsi obtenus ont été utilisés pour construire les courbes présentées ici avec des ordonnées semi-logarithmiques (Fig.3, 4). Les pourcentages des pollens des plantes allochtones septentrionales n'ont pas été représentés sur les figures car ils sont soit nuls, soit infimes. Leur signification est cependant importante, comme cela sera montré plus loin.

Les échantillons de la carotte des "Eaux Libres du Sud" ont été prélevés tous les 10 cm avec des tubes de 1,5 cm de diamètre enfoncés directement dans le sédiment humide. Les échantillons de Baga-Sola représentent chacun une unité stratigraphique; les prélèvements ont été faits de la même manière, avec des tubes de 3 cm de diamètre.

La stratigraphie de Baga-Sola est la suivante (de bas en haut) (Dupont et Delibrias, 1970) (Fig.5):

- (1) Argile structurée ancienne, observée sur 15 cm (fin de t 1).
- (2) Argile sableuse brune, 3 cm (r 1).
- (3) Argile structurée, 13 cm (t 2).
- (4) "Tourbe", 2 cm
- (5) Argile granuleuse, 7 cm
- (6) "Tourbe" argileuse, 3 cm
- (7) Argile molle, 15 cm (t 3).
- (8) Vase tourbeuse récente sur 5 cm (r 3).

### *Interprétation (Tableau I)*

#### *Carotte de Baga-Sola (Fig.5)*

D'une manière générale, l'évolution des spectres polliniques est en accord avec

---

Fig.5. Evolution dans le temps des différents éléments et groupes de la carotte de Baga-Sola. L'échantillon actuel de surface a été pris comme référence et les pourcentages relatifs des autres échantillons lui ont été comparés. Les coefficients de fréquence relative ainsi obtenus ont été utilisés pour construire les courbes suivant des ordonnées semi-logarithmiques. Les droites tracées en face de chaque élément ou groupe correspondent à la valeur 1 du rapport. Les valeurs semi-logarithmiques ont été indiquées pour les Cyperaceae.

Fig.5. Evolution in time of the different elements and groups of the core from Baga-Sola. The actual surface sample was taken as reference and the relative percentages of the other samples were compared to it. The coefficients of relative frequency thus obtained were used to draw the curves according to semi-logarithmic ordinates. The lines drawn in front of each element or group correspond to value 1 of the ratio. The semi-logarithmic values were indicated for the Cyperaceae.



TABLEAU I

Pourcentages des pollens regroupés selon l'appartenance écologique et la dominance actuelle plus ou moins marquée dans les différentes zones climatiques des plantes auxquelles ils appartiennent (Pour la position des stations, voir le carton de la Fig. 1)

Echantillons Eléments et groupes	A "Eaux Libres du Sud"							B Baga-Sola, Archipel Sud actuel sur- face							C* <sup>1</sup>	D* <sup>2</sup>	E* <sup>3</sup>	F* <sup>4</sup>	
	actuel sur- face	-10 cm	-20 cm	-30 cm	-40 cm	-50 cm	-60 cm	no. 8	no. 7	no. 6	no. 5	no. 4	no. 3	no. 2	no. 1				
	Elément sahélien	1,14	0,65	0,83	1,58	1,14	1,47	4,17	1,64	2,79	2,65	2,28	1,38	3,62	2,68	7,28	1,47	1,38	1,26
Elément sahélo-sou- danien	1,96	4,44	2,31	2,83	3,73	4,16	3,91	0,82	1,56	0,54	0,59	0,25	0,46	0,71	1,56	1,80	1,03	1,16	1,42
Elément pluri-régional	1,25	0,49	1,85	1,02	1,14	1,20	1,82	1,42	2,20	1,92	1,85	2,25	2,14	3,76	3,06	0,90	0,96	1,37	1,20
Plantes allochtones méridionales	5,20	11,34	13,53	14,18	11,35	13,95	17,49	3,60	3,31	1,09	0,70	1,00	1,20	1,10	2,65	3,70	3,18	9,29	5,14
Plantes allochtones septentrionales	0,03	—	—	0,22	0,28	0,13	—	0,20	0,07	0,09	—	—	—	—	0,20	—	—	—	—
Plantes aquatiques (total)	6,43	3,61	2,50	5,33	2,58	4,96	1,30	9,93	15,25	26,37	35,00	36,40	27,80	24,20	3,40	12,76	9,20	5,38	9,96
Combretaceae	0,57	2,63	1,94	2,27	2,87	4,16	7,83	0,69	1,34	0,45	0,67	0,75	0,67	0,83	1,02	0,73	0,89	2,00	1,31
Ensemble des arbres	10,12	18,42	17,88	19,40	17,81	21,74	29,76	8,63	9,39	11,99	2,70	3,50	3,55	3,60	7,01	13,01	7,47	12,24	12,81
Arbres régionaux (total)	4,43	4,59	2,59	3,51	3,44	4,15	4,43	4,36	4,73	10,43	1,35	2,00	1,44	1,61	3,33	8,67	3,52	1,89	6,57
Ambatch	2,28	0,32	0,46	0,22	0,14	0,13	—	3,00	2,01	9,34	0,26	1,00	0,26	0,29	0,27	7,03	2,35	0,63	3,83
Arbres régionaux sans Ambatch	2,15	4,27	2,13	3,29	3,30	4,02	4,43	1,36	2,72	1,09	1,10	1,00	1,18	1,32	3,06	1,64	1,17	1,26	2,74
Gramineae	18,30	47,03	40,12	39,61	44,10	42,41	37,85	23,84	31,96	18,04	20,30	22,40	28,30	26,30	45,29	23,32	26,29	39,28	45,95
Cyperaceae	61,40	23,02	26,96	26,10	25,43	22,68	19,58	54,61	37,56	46,97	36,60	32,60	33,60	37,30	29,76	51,63	51,28	30,83	30,55
Total	79,70	70,05	67,08	65,71	69,53	65,09	57,43	78,45	69,52	65,01	56,90	55,00	61,90	63,60	75,05	74,95	77,57	70,11	76,50
Autres herbacées	6,60	4,76	5,09	7,71	5,31	8,05	6,78	9,65	17,08	21,15	38,40	38,80	32,60	29,80	11,98	8,25	9,20	7,28	7,77
Herbacées (total)	86,30	74,81	72,17	73,76	74,84	73,27	64,21	88,10	86,60	86,15	95,30	93,80	94,50	93,40	87,03	83,20	86,77	77,39	84,27
Divers indéterminés	0,50	0,32	1,39	1,13	0,71	1,61	0,26	0,30	0,20	—	—	0,10	—	0,05	0,60	0,50	0,34	0,73	0,22
Indéterminables	3,00	6,41	8,61	5,67	6,60	3,22	5,74	2,90	3,70	1,83	1,90	2,50	2,10	3,00	5,20	3,20	5,39	8,65	3,28
Nombre total de pollens comptés	2799	608	1079	881	696	745	383	3162	2682	1092	1184	797	1491	1673	1469	1222	1445	947	913

\*<sup>1</sup> Grand Barrière, station 167, actuel. \*<sup>2</sup> Oolithes ferrugineuses, station 168 (Grande Barrière).

\*<sup>3</sup> Oolithes ferrugineuses, station 30 (ouest delta). \*<sup>4</sup> Oolithes ferrugineuses, station 186 (est delta).

l'interprétation de Dupont et Delibrias (1970). Cependant l'étude palynologique précise de nombreux points et minimise l'extension t 2.

*Echantillon 1.* Il correspond à un stade lacustre beaucoup plus important que l'actuel. Plusieurs caractéristiques du spectre montrent que les terres émergées devaient être relativement éloignées de la station: (1) le faible pourcentage des pollens des plantes aquatiques, de l'ambatch et des Cyperaceae; (2) le pourcentage relativement élevé des pollens de Gramineae qui voyagent facilement dans l'atmosphère. Loin des terres, la diminution des autres pollens provoque leur augmentation relative.

D'autre part, les pollens de l'élément sahélo-soudanien, du groupe des allochtones méridionaux et des Combretaceae présentent des pourcentages nettement supérieurs à ceux de l'échantillon suivant. Ces pollens, comme cela a été montré (Maley, 1972), sont introduits en majorité dans le lac par les eaux du fleuve. Le pourcentage des pollens allochtones méridionaux est cependant inférieur à l'actuel; il y a deux explications possibles: (1) soit l'échantillon correspond à la fin du cycle lacustre et le mouvement régressif est déjà amorcé; (2) soit la plus grande masse d'eau a provoqué une dilution plus grande d'un nombre de pollens supérieur à celui introduit actuellement dans le lac.

Le fort pourcentage des pollens de l'élément sahélien et des arbres régionaux qui lui sont liés, est à remarquer. En effet, un haut niveau lacustre correspond en partie à une pluviosité accrue, comme on le verra plus loin. Celle-ci entraîne un accroissement de toute la végétation, en particulier de la végétation sahélienne, très sensible à ce facteur (Gillet, 1962). Les terres les plus proches étaient au nord, en pleine zone sahélienne actuelle; il est donc normal que leurs pourcentages soient élevés.

*Echantillon 2.* Le niveau du lac a considérablement baissé. Le lac devait avoir un niveau comparable à celui qui a prévalu de 1900 à 1950. Cependant l'environnement végétal immédiat était différent de l'actuel.

Tout d'abord, bien que la dilution de la masse pollinique soit bien plus faible qu'au stade précédent, la baisse de pourcentage des pollens apportés en majorité par le fleuve (cf. supra) est la conséquence de conditions arides sur l'ensemble du bassin: baisse de la pluviosité et des nappes phréatiques.

Ensuite, l'autre point intéressant est l'importance relativement grande prise par les pollens des plantes aquatiques. Mais, à la différence de ce qui existe aujourd'hui, les pollens des Cyperaceae et surtout de l'ambatch, ont des pourcentages nettement plus faibles que ceux de l'époque actuelle. Ces plantes sont actuellement absentes de la partie nord-occidentale du lac où la concentration des sels, quoique faible, arrête leur développement (Maley, 1972). Bien que l'évaporation intense fasse disparaître chaque année une épaisseur d'eau supérieure à 2 mètres, le lac Tchad demeure presque entièrement un lac d'eau douce. Une régulation saline intervient naturellement d'une façon encore mal expliquée. A titre d'hypothèse, ce pourcentage plus faible pourrait être causé par des eaux légèrement saumâtres autour du point étudié. Une communication épisodique devait exister encore avec le lac; le faible pourcentage des pollens allochtones méridionaux l'atteste. La disposition de l'archipel facilite un tel processus d'isolement. Les îles corres-

pondent au sommet d'anciennes très grandes dunes parallèles. La présence de sable dans le sédiment étudié montre qu'au cours de la phase régressive, des ravinements ont affecté ces masses sableuses. Des barrages plus ou moins importants ont pu se former entre les îles. La végétation aquatique les a consolidé par la suite. Chaque année ou lors des crues plus fortes, l'eau du lac pénétrait dans ces zones isolées.

*Echantillon 3.* Les mêmes conditions que précédemment règnent durant cette époque. Ce confinement n'entrave pas la sédimentation de l'argile. Le seul fait notable du spectre est l'augmentation des pollens de l'élément sahélien. La végétation sahélienne avait sans doute envahi tout l'archipel, comme cela s'observe actuellement. Cette proximité et la diminution du nombre des pollens des autres éléments et groupes favorisaient l'augmentation relative des pollens d'espèces sahéliennes.

On ne peut donc pas retenir l'hypothèse d'une nouvelle transgression (Dupont et Delibrias, 1970) mais seulement celle d'un niveau moyen (282 m) qui n'a pas permis au lac d'envahir complètement cette zone.

*Echantillon 4.* Une nouvelle baisse du lac est intervenue lors du dépôt de cette "tourbe" F. Les pollens des plantes aquatiques sont à leur maximum de développement. L'aridité doit être importante puisque les pollens de l'élément sahélien présentent un pourcentage plus faible que l'actuel. La légère remontée des pollens d'ambatch (arbre aquatique) correspond sans doute à des conditions aquatiques locales plus favorables: (1) soit que l'abaissement du taux de sels dissous dans l'eau facilitait le développement de quelques ambatches. Cela pourrait s'expliquer par la destruction des barrages hypothétiques décrits plus haut; (2) soit que l'eau douce du lac ait pu pénétrer dans un bras voisin, entre d'autres îles, y favorisant la croissance de l'ambatch.

*Echantillon 5.* Les conditions sont de nouveau voisines de celles de l'échantillon 3. Ces faibles changements de l'environnement correspondent probablement à des déplacements de végétation aquatique comme on peut les observer encore aujourd'hui. Des masses considérables de végétation aquatique flottante (plusieurs centaines de mètres carrés) se déplacent en quelques heures sous la poussée du vent et peuvent barrer complètement un bras entre deux îles. Si un vent contraire suffisamment fort n'intervient pas rapidement, un barrage de végétation aquatique se forme.

Bien que la plupart des pourcentages soient au plus bas, le dépôt d'argile (Dupont et Delibrias, 1970) peut signifier un niveau moyen plutôt qu'un bas niveau du lac, associé généralement à un dépôt de "tourbe".

*Echantillon 6.* Entre les échantillons 5 et 6 se situe un assèchement du lac ayant provoqué une dessiccation irréversible de l'argile du sommet de la couche 5 (Dupont et Delibrias, 1970), ainsi qu'un dépôt de carbonates dans la région de Bol (Dupont et Cheverry, 1970). Cet échantillon correspond à un retour de l'eau douce dans toute cette

zone, ayant rétabli un contact direct avec les "Eaux Libres" du lac. Le fort pourcentage des pollens d'ambatch doit être interprété comme correspondant au développement de forêts de cet arbre aquatique dans la zone moyenne du lac, comme cela s'est aussi produit récemment entre 1900 et 1950. Le fort pourcentage des pollens de Cyperaceae est aussi directement en rapport avec un milieu marécageux alimenté par de l'eau douce. La partie moyenne du lac est formée par de nombreux hauts fonds qui favorisent le développement d'une végétation aquatique luxuriante et surtout de cet arbre. Son bois a une densité deux fois plus faible que celui du liège. Au début du siècle, la prolifération de l'ambatch était telle qu'elle empêchait l'eau de pénétrer dans la partie nord-ouest du lac et par voie de conséquence, avait entraîné son assèchement en 1906-1907. C'est pour cette raison que ce haut fond est appelé la "Grande Barrière".

Les pourcentages des pollens des autres éléments et groupes ont peu varié, les pollens des Combretaceae sont à leur point le plus bas. Tout ceci correspond à la poursuite des conditions arides.

*Echantillon 7.* Une phase transgressive très nette suit cette régression. La remontée du niveau du lac est attestée par la baisse très importante des pollens d'ambatch ainsi que des Cyperaceae. La remontée très forte des pollens de Gramineae est aussi un indice de haut niveau lié à l'éloignement de la terre ferme.

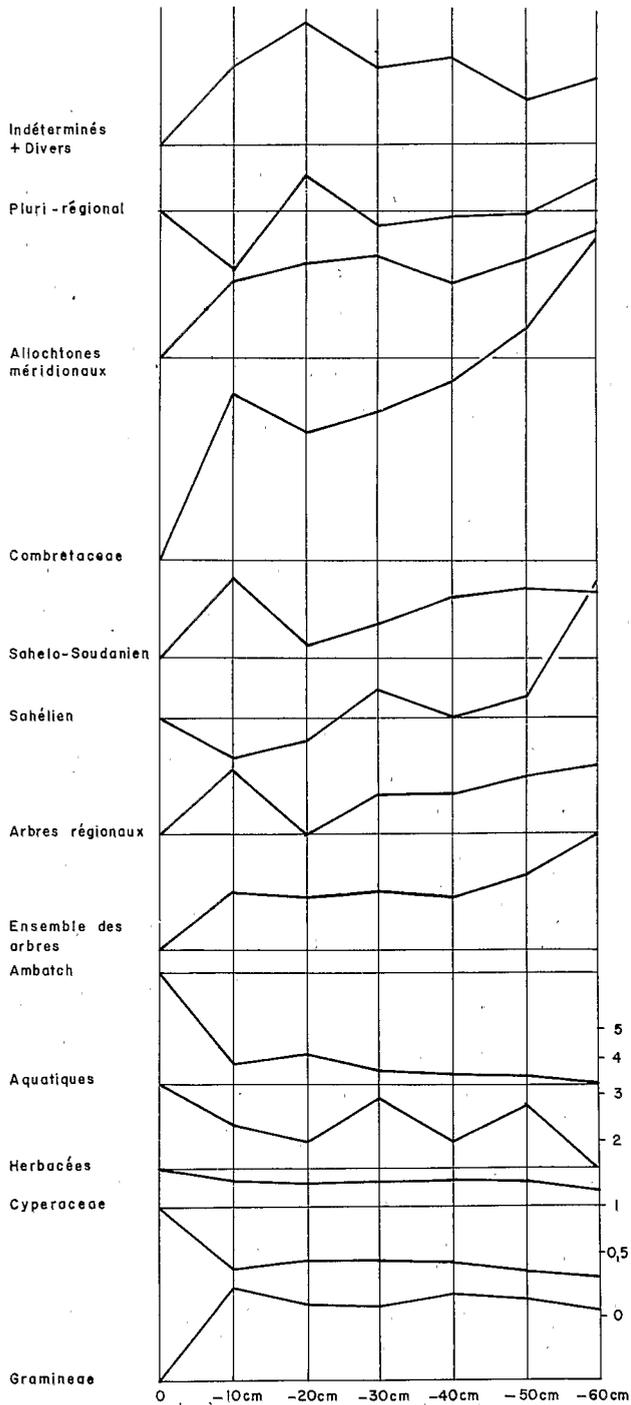
Une humidité plus grande sur l'ensemble du bassin peut être détectée par l'augmentation des pollens des principaux éléments et groupes. Les pollens des arbres régionaux présentent un pic important, concomitant avec celui des pollens de l'élément sahélo-soudanien. Les pollens des Combretaceae présentent aussi un pic qui ne semble que partiellement lié à la remontée des pollens allochtones méridionaux; ceux-ci, malgré tout, demeurent à un pourcentage inférieur à l'actuel. Comme pour l'échantillon 1, ce fait pourrait s'expliquer par une plus grande dilution des pollens allochtones méridionaux. Une explication botanique et écologique sera donnée aussi plus loin. Il est aussi possible que la durée relativement brève de cette période humide, un peu plus de 2 siècles, n'ait pas été suffisante pour annuler complètement les effets désastreux de la longue phase aride antérieure.

Le pourcentage des pollens de l'élément sahélien présente une faible augmentation. Etant donné l'éloignement des terres, ceci peut correspondre en fait à une recrudescence de la végétation sahélienne.

*Echantillon 8.* Il s'agit de l'échantillon récent de surface du fond du lac; il a été étudié par ailleurs (Maley, 1972). Son spectre pollinique donne une image cohérente de la végétation actuelle.

#### *Carotte des "Eaux Libres du Sud" (Fig.6)*

L'absence de stratigraphie apparente m'a conduit à prélever un échantillon tous les 10 cm. Bien que l'interprétation soit plus difficile, les traits principaux de la carotte de Baga-Sola se retrouvent ici.



*Echantillon – 60 cm.* Il correspond à un haut niveau lacustre. En effet, comme cela avait été montré pour l'échantillon 1 de Baga-Sola, le faible pourcentage des pollens des plantes aquatiques et des Cyperaceae, ainsi que l'absence totale de pollen d'ambatch, indiquent que les franges porteuses de végétation aquatique étaient très éloignées. D'autre part, le fort pourcentage des pollens de Gramineae par rapport à ceux des Cyperaceae est aussi un indice de l'éloignement de la terre ferme.

L'indice d'une plus grande humidité générale est attesté par le fort pourcentage des pollens de Combretaceae, de ceux des éléments sahélien et sahélo-soudanien, des allochtones méridionaux et particulièrement des arbres, en opposition avec un pourcentage des pollens de plantes herbacées remarquablement bas: 64,21% soit 22% de moins que le pourcentage actuel. L'explication donnée pour l'élément sahélien de l'échantillon 1 de Baga-Sola peut s'appliquer ici. En effet, il semble bien qu'on assiste également à la fin d'un haut niveau.

*Echantillon – 50 cm.* Les pollens des éléments et des groupes qui attestent une plus grande humidité sont tous ici en diminution sauf ceux de l'élément sahélo-soudanien. L'indice d'une baisse du niveau du lac s'observe par l'augmentation du pourcentage des pollens des plantes aquatiques, des Cyperaceae et l'apparition d'un pollen d'ambatch. Le rapprochement des terres, particulièrement le bord sud du lac, s'observe peut-être dans la légère augmentation des pollens de l'élément sahélo-soudanien.

*Echantillon – 40 cm.* La régression du lac est très nette ici, ainsi que l'augmentation générale de l'aridité. Le groupe des pollens allochtones méridionaux, des Combretaceae, de ceux des éléments sahélo-soudanien et sahélien et des arbres continuent ou amorcent une baisse de leur pourcentage. Les pollens des plantes herbacées ont maintenant un pourcentage voisin de 75%. Les pollens des Cyperaceae augmentent légèrement ainsi que ceux de l'ambatch, prouvant une baisse de niveau du lac. Par contre, la baisse du pourcentage des pollens des plantes aquatiques s'explique mal car l'évolution de ce groupe est ici en opposition avec celle de tous les autres.

*Echantillon – 30 cm.* L'interprétation de cet échantillon peut se concevoir avec une certaine stabilisation du niveau du lac. Les pollens des Cyperaceae et de l'ambatch varient peu; les pollens des plantes aquatiques présentent un fort pourcentage proche de celui de l'échantillon actuel caractérisant un bas niveau.

L'augmentation relative des pollens de l'élément sahélien pourrait s'interpréter ici par une légère extension de cette végétation (cf. no. 1 de Baga-Sola). La remontée du pourcentage des pollens allochtones méridionaux pourrait s'interpréter par la dilution moins

---

Fig.6. Evolution dans le temps des différents éléments et groupes de la carotte des "Eaux Libres du Sud" (cf. Fig.5).

Fig.6. Evolution in time of the different elements and groups of the core from the "Eaux Libres du Sud" well (cf. Fig.5).

grande de ceux-ci dans un lac dont le volume des eaux serait relativement faible. D'autre part, il faut remarquer que les pollens des Combretaceae et de l'élément sahélo-soudanien continuent de baisser alors que ceux des arbres et des herbacées ne varient pour ainsi dire pas. Tout ceci peut s'expliquer par un arrêt, ou tout au moins par un affaiblissement de l'aridification.

*Echantillon – 20 cm.* Son spectre pollinique se compare très bien avec celui de l'échantillon 6 de Baga-Sola, caractérisé par un pourcentage important des pollens d'ambatch. Une légère augmentation du pourcentage des pollens de cet arbre aquatique s'observe très bien ici. Cependant les pollens de tous les autres éléments et groupes accusent une baisse très nette de leur pourcentage, correspondant à une nouvelle dégradation de la végétation liée à une reprise de l'aridification.

*Echantillon – 10 cm.* Comme pour l'échantillon précédent, une très bonne corrélation s'établit avec le numéro 7 de Baga-Sola. La remontée du niveau du lac se note par: (1) la baisse des pourcentages des pollens de Cyperaceae, (2) l'augmentation des pollens de Gramineae due à l'éloignement des rives; (3) la diminution des pollens d'ambatch.

L'évolution de la courbe des pollens des plantes aquatiques ne correspond pas à celle des autres groupes et éléments. Ce fait avait déjà été remarqué pour le niveau – 40 cm. La cause possible pourrait être un apport de pollens depuis le delta.

L'augmentation générale de l'humidité est très nettement marquée dans les forts pourcentages des pollens des arbres régionaux, de ceux de l'élément sahélo-soudanien et par la remontée des pollens de Combretaceae. La baisse des pollens de l'élément sahélien s'interprète ici par un éloignement des terres.

#### *Comparaison des deux carottes*

La comparaison est très bonne; les deux carottes reflètent les mêmes phénomènes climatiques et lacustres. De par sa situation dans l'archipel, Baga-Sola présente des spectres très influencés par les conditions lacustres locales, tandis que les spectres de la carotte des "Eaux Libres du Sud", sous l'influence directe des eaux du Chari, reflètent mieux les changements de l'ensemble de la végétation du sud du bassin. Les deux carottes se complètent donc l'une l'autre. Ces corrélations permettent d'établir une bonne correspondance entre l'échantillon – 60 cm des "Eaux Libres" et le numéro 1 de Baga-Sola. Dans les "Eaux Libres", la vitesse moyenne de sédimentation aurait été alors de 1 cm en 18 ou 20 ans. L'échantillon – 50 cm des "Eaux Libres" est comparable au numéro 2 de Baga-Sola.

A l'autre extrémité des carottes, les échantillons – 20 et – 10 cm des "Eaux Libres" correspondent respectivement aux numéros 6 et 7 de Baga-Sola. La comparaison est plus floue pour les échantillons intermédiaires, bien que les correspondances énumérées plus haut prouvent qu'ils se sont déposés durant le même laps de temps. Ceci provient sans doute du mode rigide de prélèvement tous les 10 cm sur la carotte des "Eaux Libres".

Pour cette période, des prélèvements plus serrés auraient peut-être fait apparaître une évolution des courbes plus facilement comparable à celle de Baga-Sola.

#### *Histoire récente de la végétation*

La grande régression du lac Tchad au début du dernier millénaire s'est accompagnée d'une aridification importante du climat. La végétation de toute le bassin a beaucoup souffert de cette aridité. La période humide des XVIème, XVIIème et XVIIIème siècles a favorisé une reprise de la végétation, cependant la nouvelle aridité qui a suivi a poursuivi et même amplifié sa dégradation. La carotte des "Eaux Libres du Sud" retrace le mieux l'histoire récente de la végétation.

*Les pollens des Combretaceae.* Ils présentent une évolution régressive remarquable, indépendante de celle des éléments soudanien et soudano-guinéen (pollens allochtones méridionaux). Malheureusement, à de rares exceptions près, il n'est actuellement pas possible de distinguer avec sûreté les pollens des genres *Combretum*, *Terminalia*, *Anogeissus* et *Guiera* (Maley, 1972). Le regain d'humidité des XVIème, XVIIème et XVIIIème siècles s'est traduit par un renversement de cette tendance mais ensuite le retour des conditions arides a accéléré leur baisse jusqu'à l'époque actuelle. La zone soudanienne, qui est limitée approximativement au Tchad par les isohyètes 700 et 1000 mm, correspond à une région où se sont concentrées des alluvions argileuses. Les sols qui s'y formèrent sont imperméables et provoquent un déficit hydrique (Audry, 1967; Gavaud, 1968). Ce déficit est d'autant plus important que la pluviosité est plus faible et que l'évaporation est plus forte. Grondard (1964) a montré que cette zone est occupée en majorité par des formations végétales dominées par les Combretaceae. Il s'y mêle aussi beaucoup d'essences sahélo-soudaniennes, particulièrement des *Acacia* (Gillet, 1969). La courbe des Combretaceae pourrait alors s'interpréter de la façon suivante:

(1) Durant une période nettement plus humide que l'actuelle et antérieure à la fin de t 1, les essences sahélo-soudaniennes étaient confinées beaucoup plus au nord et les Combretaceae abondaient. Corrélativement, on peut envisager une remontée de taxons soudano-guinéens.

(2) L'aridité croissante a favorisé l'extension vers le sud de certains taxons du secteur sahélo-soudanien, tels les *Acacia*. Cette aridité a entraîné aussi la disparition de nombreuses Combretaceae. L'augmentation des *Acacia* n'apparaît pas dans les spectres polliniques car ses pollens sont de grosses polyades dont la capacité de dissémination est très faible (Maley, 1972). L'étude de sédiments plus anciens permettra sans doute de préciser cette reconstitution.

#### *Les pollens allochtones méridionaux (domaine soudanien et secteur soudano-guinéen).*

Les plantes dont proviennent ces pollens occupent actuellement le sud du bassin du Tchad. La limite méridionale du secteur soudano-guinéen correspond approximativement à l'isohyète 1400 mm. Le fait remarquable dans l'évolution de ce groupe est qu'il

TABLEAU II

Tableau des pourcentages des principaux pollens allochtones méridionaux et de l'élément sahélo-soudanien de la carotte des "Eaux Libres du Sud"

	actuel	-10 cm	-20 cm	-30 cm	-40 cm	-50 cm	-60 cm
Allochtones méridionaux							
<i>Uapaca cf. togoensis</i>	3,12	3,94	4,54	5,56	3,44	4,16	2,08
<i>Hymenocardia acida</i>	0,08	1,48	2,78	1,81	1,29	2,01	3,91
<i>Alchornea cordifolia</i>	0,81	2,96	2,22	2,72	1,00	3,89	4,96
<i>Maytenus senegalensis</i>	0,47	0,82	0,83	0,90	1,43	0,93	2,08
<i>Prosopis africana</i>	0,42	0,32	0,46	1,13	0,71	0,67	1,82
Elément sahélo-soudanien							
<i>Mitragyna inermis</i>	0,12	0,65	0,46	0,34	0,28	0,67	1,04
<i>Celtis integrifolia</i>	1,07	1,97	0,92	2,27	2,29	2,55	2,08

conserve des pourcentages élevés jusqu'à la période humide récente; puis entre celle-ci et l'époque actuelle, il perd 6%, passant de 11 à 5% environ. Il semble que l'aridification se soit alors accélérée ou bien qu'elle ait franchi un seuil au-delà duquel la végétation s'est considérablement dégradée, d'une manière voisine de celle des Combretaceae. L'influence de la dernière période humide ne semble pas avoir favorisé une remontée du pourcentage de cet élément. L'étude du tableau des pourcentages des principales espèces amène différentes constatations (Tableau II):

(1) *Hymenocardia acida* et *Alchornea cordifolia* suivent assez bien l'évolution de la courbe générale de cet élément.

(2) *Maytenus senegalensis* et *Prosopis africana* présentent des pourcentages assez bas dès le début de la grande régression du lac; ces deux espèces ont donc été beaucoup plus sensibles à la dégradation climatique.

(3) *Uapaca cf. togoensis* présente une évolution très curieuse, presque inverse de la courbe générale. A titre d'hypothèse, on pourrait avancer que l'aridification a entraîné leur concentration sur les bords des cours d'eau, ce qui facilita ensuite la dissémination de ses pollens vers le lac (Letouzey, 1969). Les pourcentages observés à Baga-Sola sont trop faibles pour pouvoir être interprétés. Il faut noter cependant que *Uapaca cf. togoensis* a un comportement voisin de celui des "Eaux Libres du Sud".

*Les pollens de l'élément sahélo-soudanien.* Ils présentent une évolution régressive à partir de l'échantillon - 50 cm et une remontée spectaculaire durant la dernière période humide. La décroissance est moins accentuée que celle des pollens de Combretaceae, mais l'allure de la courbe des "Eaux Libres" reflète le même processus d'aridification. Les pourcentages respectifs des pollens de *Mitragyna inermis* et de *Celtis integrifolia* sont en accord avec le mouvement d'ensemble de la courbe.

*Les pollens de l'élément sahélien.* La végétation sahélienne est très sensible aux variations de la pluviosité (Gillet, 1962). L'extension de cette végétation, située en majorité au

nord du lac actuel, se produit durant les périodes humides, c'est-à-dire au cours des transgressions du lac. Cependant, on observe une baisse importante des pollens de cet élément durant la dernière transgression (t 3), mais par contre, à cette époque, Baga-Sola en présentait encore un pourcentage nettement plus élevé que l'actuel; ce regain de la végétation sahélienne est indirectement confirmé par les témoignages oraux cités en fin d'article (cf. pp. 223 et 224).

*Les pollens allochtones d'origine septentrionale* (Maley, 1972). Leur source la plus proche est le Tibesti distant de 800 km. Ces pollens se rencontrent dans l'échantillon récent de surface qui correspond à une période nettement aride. Il est probable qu'ils ont été transportés jusqu'au lac par des tempêtes de l'harmattan. Ces pollens se rencontrent aussi durant la phase d'aridification principale (échantillons -50, -40 et -30 cm).

*Les pollens des arbres et des herbacées.* La baisse des pollens de l'ensemble des arbres est inversement proportionnelle à l'augmentation de ceux des herbacées; l'écart est d'environ 20% pour chacun d'eux. Ces variations des pourcentages durant un millénaire impliquent un changement important dans le paysage végétal de la plus grande partie du bassin du Tchad. D'une manière générale, le temps relativement court (un siècle ou moins peut-être) durant lequel un nouveau climat s'installait, conduisant à une baisse générale de l'humidité, était le théâtre d'une dégradation rapide de la végétation. Celle-ci semblait ensuite plus ou moins en équilibre avec le climat ambiant et de ce fait constituait un nouveau climax.

L'évolution de la végétation se fait par paliers. Entre la fin de t 1 et le début de r 1 (échantillons -60 et -50 cm des "Eaux Libres") les arbres perdent 7 points et les herbacées augmentent de la même valeur. Ensuite les pourcentages restent stationnaires. La période humide récente (t 3) semble avoir eu une influence très faible sur les herbacées et l'ensemble des arbres, mais par contre les arbres régionaux, près du lac, accusent une forte augmentation de leur pourcentage. Puis entre la fin de t 3 et l'actuel, les arbres perdent 8 points et les herbacées en gagnent 12.

#### *Remarques*

(1) Genèse d'oolithes ferrugineuses: Après la période humide récente (t 3), la dégradation de la végétation paraît sévère. Il est possible qu'à la suite du changement climatique rapide intervenu au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, une reprise de l'érosion des sols ait accéléré le processus de dégradation de la végétation. En effet, cette nouvelle érosion pourrait être une des causes de la genèse d'oolithes ferrugineuses dans le sud du lac Tchad. Celles-ci tapissent une grande partie du fond du bassin sud du lac (Dupont, 1970). L'analyse pollinique a déjà montré leur caractère autochtone (Maley, 1972). Trois échantillons d'oolithes pures ont été analysés; leurs spectres polliniques sont intermédiaires entre celui de la phase humide (t 3) et celui de l'époque actuelle (cf. le Tableau II). La genèse des oolithes atteste que les changements intervenus au début de la dernière régression (r 3) durent être très particuliers et différents de ce qui se passa entre t 1 et r 1 car aucun niveau d'oolithes ferrugineuses n'y a été repéré et même auparavant durant

l'Holocène (Servant, 1970). Les botanistes qui ont étudié la végétation des marges méridionales du Sahara ont remarqué que l'aridité actuelle était la plus intense que ce désert ait connu depuis des milliers d'années. Gillet (1968, p.156) écrit très nettement: "A aucun moment, l'Ennedi n'a connu un climat aussi sec que celui qui règne actuellement".

(2) L'action anthropique: D'autre part, il est clair qu'au Tchad cette dégradation de la végétation n'est pas liée à une action anthropique, mais est due à une aridification climatique. En effet, depuis 3 ou 4 siècles et jusqu'à une époque très récente, la densité de la population et les méthodes culturales n'ont guère variées.

### *Conclusion*

L'analyse pollinique de ces deux carottes m'a permis de reconstituer l'histoire de la végétation du bassin du Tchad et de préciser l'amplitude des oscillations du lac. On peut conclure que l'amplitude des variations du lac correspond à l'amplitude des changements climatiques sur le bassin. L'analyse pollinique est donc ici un instrument capital et irremplaçable.

### L'AFRIQUE TROPICALE DEPUIS UN MILLENAIRE

Les grands traits de l'évolution du lac Tchad depuis un millénaire ne sont pas des phénomènes isolés en Afrique.

Les Egyptiens ont relevé les niveaux du Nil depuis le VII<sup>ème</sup> siècle jusqu'à l'époque actuelle avec seulement quelques interruptions aux XVI<sup>ème</sup> et XVII<sup>ème</sup> siècles. Brooks (1954), d'après ces données, a établi une courbe de ses fluctuations. Elles sont comparables à celles du lac Tchad:

- (1) Niveaux bas ou moyens du VII<sup>ème</sup> au XVI<sup>ème</sup> siècle, avec un très bas niveau vers 1500.
- (2) Un très haut niveau est atteint vers 1600.
- (3) Lacune d'observation, mais le Nil semble avoir baissé.
- (4) Un très haut niveau vers 1750.
- (5) Un bas niveau au début du XIX<sup>ème</sup> siècle.
- (6) Un dernier haut niveau vers 1880.
- (7) Depuis le début du siècle, le niveau est bas.

Bouchardeau et Lefèvre (1957) ont montré que sur 13 années d'observation commune avec le Chari (1933 à 1945), la concordance était bonne pour 10 années, médiocre pour 1937 et nulle en 1935 et 1936. Ces auteurs ont utilisé cette concordance pour reconstituer les niveaux du lac Tchad jusqu'en 1870.

Butzer (1971) a pu reconstituer les variations du lac Rodolphe, au sud de l'Ethiopie depuis un millénaire environ; on retrouve approximativement les mêmes phénomènes qu'au Tchad, à des dates proches d'après sa chronologie "longue". Le lac Rodolphe et les grands lacs de l'Afrique de l'Est ont connu des hauts niveaux à la fin du siècle dernier ainsi qu'une crue depuis une dizaine d'années (Lamb, 1966; Butzer, 1971).

Il est maintenant bien établi que les XVIème, XVIIème et XVIIIème siècles ont correspondu à un climat un peu plus froid que l'actuel sur l'ensemble du globe: cette période a été appelée le "Petit Age Glaciaire" (Lamb, 1963, 1965; Le Roy Ladurie, 1967; etc.). Par exemple, à cette époque, la température de l'Atlantique Nord était de 1° à 3°C plus basse que celle de l'époque actuelle et la surface de l'inlandsis arctique avait beaucoup augmenté (Lamb, 1963). Les glaciers étaient partout en crue, souvent jusqu'à un stade qu'ils n'avaient pas atteint depuis plusieurs millénaires.

En Afrique, l'abaissement de la température a été aussi sensible. Les glaciers des hautes montagnes de l'Est Africain étaient en crue durant cette époque. Ainsi sur le Ruwenzori, la dernière avancée glaciaire (Stade du Lac Gris) a été datée par De Heinzelin (1962) des XVIIème et XVIIIème siècles. La température moyenne y aurait baissé de 0,5°C (Whittow et Osmaston, 1966). Des voyageurs ont aussi rapporté qu'à cette époque la neige demeurait des mois sur les montagnes du plateau éthiopien (Lamb, 1963). Le recul des glaciers s'est effectué au XIXème siècle et s'est accéléré depuis le début du siècle.

L'inlandsis antarctique a réagi aussi positivement à cette période froide. L'analyse pollinique d'une tourbière des îles Kerguelen, situées sur la convergence antarctique actuelle, montre un refroidissement très net vers 1500-1550. Le réchauffement se fait ensuite progressivement, mais surtout à partir de 1750 (Bellair et Delibrias, 1967).

D'autre part, la régression du lac Tchad (r 1) au début de ce millénaire, a eu lieu en même temps que le petit optimum climatique du Moyen-Age aux latitudes moyennes et hautes (Lamb, 1963, 1965).

### *Conclusions*

Depuis un millénaire, il est donc bien établi que l'augmentation de la pluviosité en Afrique tropicale est synchrone d'un refroidissement généralisé de la température et cela, semble-t-il, dans des proportions égales. Le fait inverse a aussi été vérifié.

C'est dans le cadre de la circulation atmosphérique générale et en suivant l'hypothèse dynamique planétaire de Rossby (1947) et Pédelaborde (1970), qu'une explication complète peut être apportée à ces faits. En effet, la circulation intertropicale ne constitue pas un système fermé mais dépend de la circulation atmosphérique sur les zones polaires adjacentes. Ainsi Rossby donne une explication purement polaire des anticyclones subtropicaux qui sont les moteurs des alizés. Ces hautes pressions subtropicales se trouvent toujours sous le bord équatorial du Jet Stream polaire qui limite le grand tourbillon polaire stratosphérique et suivent le déplacement latitudinal annuel du Jet. Ces hautes pressions sont alimentées par la subsidence de l'air polaire qui s'affaisse sur le bord équatorial du Jet. Ainsi, les alizés transportent vers l'équateur de l'air polaire qui se tropicalise en s'échauffant et en s'humidifiant lorsqu'il survole l'océan.

La variation de la température de la stratosphère antarctique semble être le phénomène primaire conditionnant finalement la mousson sur l'Afrique. Plusieurs constatations viennent appuyer cette proposition: (1) sur l'Afrique et particulièrement sur le bassin du Tchad, la mousson commence à reculer au cours de la première quinzaine de

septembre et cela d'une manière assez régulière depuis une quinzaine d'années (Gillet, 1968, p.47); (2) sur l'Antarctique, le réchauffement stratosphérique de printemps s'amorce aussi régulièrement à la fin août, début septembre (Phillpot, 1969); (3) dans la stratosphère antarctique, au cours de l'hiver et du printemps, les variations de la température ont une répercussion immédiate sur la vigueur des vents d'ouest (Barbé et al., 1966) qui entraînent la contraction ou l'extension du tourbillon polaire et qui modifient ainsi la position du Jet Stream.

De cette manière, un refroidissement généralisé entraîne une augmentation relative du froid hivernal sur l'hémisphère austral, provoquant une remontée plus importante des anticyclones subtropicaux vers l'équateur, celui de Sainte Hélène en particulier pour l'Atlantique Sud. En même temps, sur l'hémisphère boréal en été, cette remontée accentue la mousson sur la zone tropicale et l'y maintient plus longtemps chaque année. Il faut remarquer qu'à saison comparable, l'atmosphère antarctique est nettement plus froide que l'arctique (12°C de moins pour la troposphère antarctique (Flohn, 1967)). Il est probable que, dans notre hypothèse, ce soit cette différence qui détermine la position de la CIT presque toujours au nord de l'équateur. Ce refroidissement généralisé entraîne dans la zone tropicale une diminution de l'évaporation, favorisant une rapide montée du niveau du lac Tchad. La température qui est un élément important du bilan hydrologique des lacs africains, joue à chaque fois dans le même sens que la pluviosité. Les crues comme les décrues sont donc très rapides. La décrue du début du siècle en est un bon exemple — en 10 ans le lac baissa de plus de 2,50 m.

Sur l'Afrique tropicale, le synchronisme régulier liant l'augmentation de la pluviosité aux refroidissements généralisés, est un élément important pour la prévision du temps à long terme. L'étude de la composition isotopique de l'oxygène (rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) d'une carotte de glace prélevée à Camp Century, au nord du Groëndland, a retracé la courbe des grandes oscillations climatiques depuis 100.000 ans. Pour les 8 derniers siècles, cette courbe est très précise; son extrapolation mathématique prévoit, avec une probabilité de 85%, un refroidissement qui culminerait vers 1980–1990 (Johnsen et al., 1970). Etant donné que les grandes tendances de la température sont généralement à peu près synchrones sur les deux hémisphères, on peut prévoir avec une bonne probabilité que la fin du siècle va être plus humide sur l'Afrique.

Actuellement sur le Sahara, les pluies sont causées en grande majorité par les deux processus suivant (Mayençon, 1961): (1) soit, de Juin à Septembre, par des déplacements exceptionnels du FIT vers le nord; les pluies de mousson peuvent atteindre ainsi le Tropique du Cancer; (2) soit, d'Octobre au mois de Juin suivant, par des avancées directes du Front Polaire nord ("gouttes polaires"), liées en même temps à des pénétrations d'air tropical humide (Jalu, 1960). Cet air humide, nécessaire à la genèse des pluies, peut être soit attiré par un système dépressionnaire, soit apporté par des pulsations du FIT, loin de sa position moyenne, dès le mois d'Avril, liées au début de l'hiver antarctique.

Il est donc compréhensible qu'un refroidissement général de la température entraîne une vigueur accrue des Fronts Polaires des deux hémisphères et est finalement la cause de la recrudescence des pluies au Sahara. A ce propos, Butzer (1961) a montré qu'à la fin du

siècle dernier, les marges méridionales et septentrionales du Sahara ont évolué parallèlement dans le sens d'une diminution de la pluviosité. D'autre part, depuis une trentaine d'années, les principales tendances de la pluviosité sont synchrones entre le Sahel tunisien (Flohn, 1971, fig. 1) et le bassin du Tchad (Fig.4, courbe 2), particulièrement lors de la crue récente du lac. Flohn (1971) a calculé la pluviosité du Sahel tunisien depuis une soixantaine d'années, en regroupant les moyennes annuelles de 10 stations. Pour cette période, la pluviosité moyenne a été de 148 mm, et l'amplitude des variations a été d'environ 30 mm. Dubief (1963) a fait des observations allant dans le même sens pour le massif du Hoggar et le Sahara septentrional. Tous ces faits sont importants pour expliquer la contraction du désert à certaines périodes du Quaternaire.

#### ESSAI D'INTERPRETATION CLIMATIQUE DE L'HOLOCENE AFRICAIN

Le rôle joué par les Fronts Polaires (FP) des deux hémisphères, particulièrement leur antagonisme, est capital pour expliquer les changements climatiques aux basses latitudes (Maley, 1973). Le balancement annuel de la zone de convergence intertropicale (CIT) résulte alors des contractions et extensions opposées des FP Nord et Sud. La vigueur des FP et leur extension vers l'équateur sont d'autant plus grandes que l'air polaire est plus froid.

Le synchronisme mondial des grandes variations de température a été démontré pour la fin du Würm et pour l'Holocène, non seulement entre les Tropiques (Emiliani, 1961) et les latitudes moyennes (Van der Hammen et al., 1967; Gross, 1958; Lamb et al., 1966) et hautes (Dansgaard et al., 1969) de l'Hémisphère Nord, mais encore entre les deux hémisphères (Van Zinderen Bakker, 1969; Bowler et Hamada, 1971). Au cours de l'Holocène, la température atteint son maximum vers 6000 ans B.P. pour décroître ensuite légèrement par paliers jusqu'à l'époque actuelle. L'inlandsis arctique atteint son aire minimale avec un certain retard vers 4000-3500 ans B.P. (Lamb, 1963). Ce synchronisme mondial et l'exemple récent de la remontée de l'anticyclone de Sainte Hélène lors du "Petit Age Glaciaire", permettent de penser que l'action des deux FP a varié en phase, tout au moins dans un passé récent.

Le déplacement synchrone des zones climatiques sur les deux hémisphères pourrait aussi se concevoir par la seule variation du FP Nord. En effet, la plupart des glaciologues pensent que, proportionnellement à sa surface, l'inlandsis antarctique aurait peu varié, en particulier durant le Pléistocène supérieur, époque la mieux connue (Hollin, 1969). On peut donc en déduire que la force expansive du FP Sud a peu changé. Par contre, lors des grandes glaciations, la surface des inlandsis sur l'Hémisphère Nord a surpassé de beaucoup celle de l'Antarctique. Dans ces conditions, l'amplitude des variations du FP Nord a du être bien supérieure à celle du FP Sud, et les expansions vers le Sud du FP Nord auraient repoussé le FP Sud; l'image d'un ressort qui se comprime peut être donnée ici.

En Afrique, on constate que depuis 10 000-12 000 ans jusque vers 5 000-4 000 ans B.P., les grands lacs de la zone tropicale sèche (Tchad: Servant et Servant, 1970; Rodolphe: Butzer et al., 1972) présentent des très hauts niveaux lors de chaque pulsation

positive de la température et des régressions, parfois accompagnées d'aridification lors des brèves périodes de refroidissement. Ensuite, jusqu'à l'époque actuelle, les hauts niveaux ne se produisent que lors des périodes légèrement plus fraîches, tel le "Petit Age Glaciaire", et les bas niveaux correspondent alors à des réchauffements climatiques. L'action des FP et leur antagonisme sur les basses latitudes semblent pouvoir expliquer ces observations contradictoires en apparence, ainsi que la répartition complexe dans le temps et dans l'espace des manifestations de l'humidité et de l'aridité au Sahara et sur ses marges. Pour cela, il est nécessaire d'observer le déplacement des deux FP au cours des saisons d'une même année:

(a) Lors des grandes avancées glaciaires de la fin du Würm, le FP Nord avait, durant toute l'année, une action prépondérante sur le Sahara et en été il repoussait la mousson loin vers le Sud.

(b) Lors du réchauffement du début de l'Holocène et avant la période charnière des 5000-4000 ans B.P., l'augmentation de la température et le début du retrait de l'inlandsis arctique provoquèrent un affaiblissement du centre d'action polaire. Pour cette époque, les déductions suivantes peuvent être faites:

(1) Durant l'été boréal il se produisit un recul important du FP Nord. Ce recul favorisa une très forte extension de la mousson au nord de l'équateur.

(2) En effet, en même temps, durant l'hiver austral, l'air polaire antarctique était plus froid qu'actuellement. Le FP Sud était donc capable de pousser vigoureusement les anticyclones subtropicaux vers l'équateur, en particulier celui de Sainte Hélène, générateur de la mousson africaine.

(3) Ensuite, quelques mois plus tard, durant l'hiver boréal, le FP Nord pouvait encore étendre son action sur le Sahara septentrional et y provoquer des pluies. Un rétrécissement du désert se conçoit donc facilement au début de l'Holocène.

(c) Le retrait progressif de l'inlandsis arctique et le réchauffement continu de l'air polaire boréal diminuèrent la force du FP Nord et son influence sur le Sahara. Vers 5000 ans B.P. les lacs africains cités plus haut commencèrent à régresser. Comme pour l'Arctique, il semble donc que le centre d'action antarctique diminua aussi de vigueur, affaiblissant la poussée de la mousson sur l'Afrique. Dans la zone tropicale, d'autre part, la température était alors au moins aussi élevée que l'actuelle (Emiliani, 1961); elle accrut son influence sur le bilan hydrologique de ces lacs, accélérant leur régression. Le Sahara et ses régions limitrophes prirent alors progressivement leur aspect actuel.

Cette nouvelle théorie devrait pouvoir aider à la compréhension des changements climatiques depuis l'installation des calottes glaciaires sur les Pôles vers la fin du Tertiaire.

#### INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES MOUVEMENTS DE POPULATION SURVENUS DANS LE BASSIN DU TCHAD DEPUIS UN MILLENAIRE

En Afrique, d'une manière générale, cette influence a déjà été reconnue par de nombreux auteurs.

La période des IX<sup>ème</sup>–X<sup>ème</sup> siècles a correspondu à des migrations qui ne se sont pas limitées au bassin du Tchad. Ainsi Chapelle (1957, p.53) écrit: "Un mouvement général de migration semble avoir marqué en Afrique saharienne et soudanaise la fin du premier millénaire de notre ère. Les traditions de presque tous les peuples en bordure du Sahara indiquent une marche vers le Sud ou vers l'Ouest". Au Tchad, le trait principal de cette période est la fondation, à la fin du VIII<sup>ème</sup> siècle, du fameux Empire noir du Kanem qui deviendra plus tard l'Empire du Bornou (Urvoy, 1949). Les anciens chroniqueurs arabes rapportent que ce sont des nomades Toubous et plus précisément des Tédas Bardoas du Tibesti qui fondèrent cette dynastie. Urvoy (1949) pense que ce serait peut-être la pression de la conquête arabe qui aurait poussé ces nomades vers le Sud. Cependant l'augmentation rapide de l'aridité et la progression du désert vers le Sud (régression r 1 du lac Tchad) pourraient être la cause originelle de cette migration. La sécheresse croissante aurait chassé ces nomades de leur zone de parcours habituel et ils seraient descendus vers le Sud à la recherche de nouveaux pâturages. La fondation de l'Empire du Kanem et la colonisation des noirs Saos seraient des conséquences directes de cette migration.

Dans un premier temps, la capitale de la dynastie s'est installée à Manam, entre le Tibesti et le lac Tchad, non loin du Djourab (Urvoy, 1949). Il est possible qu'un lac en voie de disparition occupait encore à cette époque la dépression du Djourab. Après sa conversion à l'Islamisme, à la fin du XI<sup>ème</sup> siècle, la dynastie construisit une nouvelle capitale à Njimi à 55 km à l'Est de Mao, non loin du lac Tchad. Ce déplacement vers le Sud de la capitale pourrait être lié aussi à la progression du désert.

D'autre part, le glissement des Saos vers le Sud est aussi bien établi. Vers le X<sup>ème</sup> siècle, ils quittèrent des régions actuellement arides ou désertiques pour s'installer au sud du lac Tchad (Lebeuf, 1959). Les styles de poterie changèrent aussi d'une manière très importante sur le site archéologique de Dāima Mound au Bornou, impliquant des influences nouvelles (Connah, 1969).

Plus tard, le regain important d'humidité des XVI<sup>ème</sup>, XVII<sup>ème</sup> et XVIII<sup>ème</sup> siècles semble avoir été la cause de nouveaux mouvements de populations chez les nomades. D'après Chapelle (1957), le Tibesti a été en même temps un pôle de dispersion et d'attraction aux XVII<sup>ème</sup>, XVIII<sup>ème</sup> et XIX<sup>ème</sup> siècles. Il est probable que le renforcement de la mousson créa un peu partout des nouveaux pâturages, incitant les Toubous à quitter les plateaux et les vallées du Tibesti au profit de nouveaux parcours, vers l'Ouest et le Sud-Ouest principalement. Mais le Tibesti lui-même devait être beaucoup plus verdoyant qu'actuellement, attirant d'autres Toubous, particulièrement ceux du Fezzan et de Koufra. La dégradation ultérieure du climat causa encore d'autres migrations. Chapelle (1957, p.44) rapporte que "les anciens gardent la mémoire d'un temps lointain où le Tibesti était assez boisé . . . On prétend aussi qu'à une époque plus récente, les plateaux, les "tarso", furent vidés de leurs nomades par la sécheresse". Il est possible d'associer ces souvenirs à la période humide récente (t 3), période qui fut suivie d'une nouvelle aridification.

Un autre témoignage intéressant concerne l'ouest du bassin, le petit massif de Termit, l'Air et l'oasis de Fachi à l'ouest du désert du Ténéré (Fig.1). Le Sourd (1946, p26)

écrit: "Jadis, Fachi ne se trouvait pas isolée comme aujourd'hui, elle était reliée au Bornou par une série de villages dont les ruines ont disparu mais dont les noms sont restés vivants dans la mémoire des chroniqueurs. A cette époque, Fachi était reliée également à l'Air par une série de villages. On se souvient encore de la présence de très nombreux bovidés à Termit". Tout ceci implique une humidité qui n'existe pas actuellement. L'explorateur allemand Rohlf s rapporte qu'en Novembre 1866, "un fleuve puissant coulant au nord de Nguigmi se déversait dans le lac" (in Bouchardeau et Lefèvre, 1957, p.40). Ce fleuve correspond au lit actuellement à sec de la Dilia qui draine le massif de Termit. Ce témoignage montre que des pluies importantes sur cette zone actuellement quasi désertique, sont associées à une crue du lac (Fig.2A). Il est donc compréhensible que durant le très haut niveau du lac des XVIème, XVIIème et XVIIIème siècles, la partie sud du Ténére devait recevoir régulièrement des pluies, repoussant largement le désert vers le Nord et favorisant le retour d'une population nombreuse. De ce fait, il est possible que les témoignages rapportés par Le Sourd (1946) correspondent à cette époque.

#### REMERCIEMENTS

Je remercie vivement B. Dupont (Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy) qui m'a fourni une partie des échantillons étudiés ici; J. Guiscafre, P. Jarre et J. Blanchon (Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.) pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la recherche de la documentation météorologique; M. H. Perrot, bibliothécaire au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. (Bondy) pour son aide très efficace dans la recherche bibliographique.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Audry, P., 1967. Observation sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture (arachide et pénicillaire). *Colloq. Fertil. Sols Trop., Tananarive*, 26 pp.
- Barbé, G. D., Reininger, E. et Dumas, P., 1966. Les réchauffements stratosphériques précoces observés aux îles Kerguelen et leurs relations avec le réchauffement de printemps de la stratosphère antarctique. *La Météorologie*, 84: 311-334.
- Bellair, N. et Delibrias, G., 1967. Variations climatiques durant le dernier millénaire aux îles Kerguelen. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 264, D: 2085-2088.
- Bouchardeau, A. et Lefèvre, R., 1957. *Monographie du Lac Tchad*. ORSTOM et CSLT, Fort-Lamy, 1: 112 pp.
- Bowler, J. M. et Hamada T., 1971. Late Quaternary stratigraphy and radiocarbon chronology of water level fluctuations in lake Keilambete, Victoria (Australia). *Nature*, 232: 330-332.
- Bray, J. R., 1971. Solar-climate relationships in the post-Pleistocene. *Science*, 171: 1242-1243.
- Brooks, C. E., 1954. The climatic changes of the past thousand years. *Experientia, Bâle*, 10(4): 153-192.
- Butzer, K. W., 1961. Les changements climatiques dans les régions arides depuis le Pliocène. *Histoire de l'Utilisation des Terres des Régions Arides*, UNESCO, Paris: 35-64.
- Butzer, K. W., 1971. Recent history of an ethiopian delta. The Omo river and the level of lake Rudolf. *Dep. Geogr. Univ. Chic. Publ., Res. Pap.*, 136: 184 pp.
- Butzer, K. W., Isaac, G. L., Richardson, J. L. et Washbourn-Kamau, C., 1972. Radiocarbon dating of East African lake levels. *Science*, 175: 1069-1076.

- Chapelle, J., 1957. *Nomades noirs du Sahara*. Plon, Paris, 449 pp.
- Connah, G., 1969. Archaeological work in Bornu 1964–1966 with particular reference to the excavations at Daïma Mound. *Etud. Doc. Tchad., I.N.T.S.H., Fort-Lamy Publ.*, 1: 112–124.
- Dansgaard W., Johnsen, S. J., Moller, J. et Langway, C. C., 1969. One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet. *Science*, 166: 377–381.
- De Heinzelin, J., 1962. Carte des extensions glaciaires du Ruwenzori (versant congolais). *Biul. Peryclacjalny, Lodz*, 11: 133–139.
- Dubief, J., 1963. Contribution au problème des changements de climat survenus au cours de la période couverte par les observations météorologiques faites dans le nord de l'Afrique. *Changes of Climate, Arid Zone Res. Ser.*, UNESCO, Paris, 20: 75–79.
- Dupont, B., 1970. Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. ORSTOM, Géol., Paris*, 2(1): 9–42.
- Dupont, B. et Chevery, C., 1970. *Histoire sédimentaire récente du Lac Tchad et de sa bordure nord-est (Kanem)*. ORSTOM, Fort-Lamy, 1 tableau inédit.
- Dupont, B. et Delibrias, G., 1970. Datation par le carbone 14 d'un niveau sédimentaire de l'archipel du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, Géol., Paris*, 2(1): 43–48.
- Emiliani, C., 1961. Cenozoic climatic changes as indicated by stratigraphy and chronology of deep-sea cores of *Globigerina*-ooze facies. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 95 (1): 521–536.
- Fairbridge, R. W., 1965. Eiszeitklima in Nordafrika. *Geol. Rundsch.*, 54 (1): 399–414.
- Flohn, H., 1967. Notes on a palaeoclimatology of Africa. In: E. M. Van Zinderen Bakker (Editor), *Palaeoecology of Africa*, 5. Balkema, Cape Town, pp. 8–10.
- Flohn, H., with collab. Ketata, M., 1971. Étude des conditions climatiques de l'avance du Sahara tunisien. *OMM, Genève, Note Tech.*, 116: 32 pp.
- Gavaud, M., 1968. *Projet de corrélation pedologique dans le Bassin du Tchad*. ORSTOM, Paris, Contrat UNESCO, NS/0725/68: 117 pp.
- Gillet, H., 1962. Variations de la flore sahélienne en fonction de l'importance de la saison des pluies. *C.R. Somm. Séances Soc. Biogéogr., Paris*, 39: 13–23.
- Gillet, H., 1968. Le peuplement végétal du massif de l'Ennedi (Tchad). *Mém. Mus. Natl. Hist. Nat., Paris, n.s., Bot.*, 17: 206 pp.
- Gillet, H., 1969. La végétation du Parc National de Zakouma (Tchad) et ses rapports avec les grands mammifères. *La Terre et la Vie*, Paris, 4: 373–485.
- Gronard, A., 1964. La végétation forestière au Tchad. *Bois Forêts Trop.*, Paris, 93: 15–34.
- Gross, H., 1958. Die bisherige Ergebnisse von C14-Messungen und paläolithischen Untersuchungen für die Gliederung und Chronologie des Jungpleistozäns in Mitteleuropa und den Nachbargebieten. *Eiszeitalter Gegenwart*, 9: 155–187.
- Hollin, J. T., 1969. The antarctic ice sheet and the quaternary history of Antarctica. In: E. M. van Zinderen Bakker (Editor), *Palaeoecology of Africa*, 5. Balkema, Cape Town, pp. 109–138.
- Jalu, R., 1960. Étude de la situation météorologique au Sahara en Janvier 1958. *Ann. Géogr., Paris*, 373: 288–296.
- Johnsen, S. J., Dansgaard, W., Clausen, H. B. et Langway, C. C., 1970. Climatic oscillations 1200–2000 A.D. *Nature*, 227: 482–483.
- Kraus, E. B., 1958. Recent climatic changes. *Nature*, 181: 666–668.
- Lamb, H. H., 1957. Front in the intertropical convergence zone: an observer's log and some reflections thereupon. *Meteorol. Mag.*, 86: 76–84.
- Lamb, H. H., 1963. On the nature of certain climatic epochs which differed from the modern (1900–1939) normal. *Changes of Climate, Arid Zone Res. Ser.*, UNESCO, Paris, 20: 125–150.
- Lamb, H. H., 1965. The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1: 13–37.
- Lamb, H. H., 1966. Climate in the 1960's. Changes in the world's wind circulation reflected in prevailing temperatures, rainfall patterns and the levels of the african lakes. *Geogr. J., Lond.*, 132(2): 183–212.
- Lamb, H. H., Lewis, R. P. W. et Woodroffe, A., 1966. Atmospheric circulation and the main climatic variables between 8000 and 0 B.C.: meteorological evidence. *R. Meteorol. Soc. (Proc. Int. Symp. "World Climate from 8000 to 0 B.C.")*: 174–217.

- Lebeuf, J. P., 1969. Essai de chronologie Sao. *Etud. Doc. Tchad., I.N.T.S.H., Fort-Lamy Publ.*, 1: 234-241.
- Le Roy Ladurie, E., 1967. *Histoire du Climat depuis l'An Mil*. Flammarion, Paris, 376 pp.
- Le Sourd, M., 1946. Tarikh el Kawar. *Bull. Inst. Fr. Afr. N., Dakar*, 8: 1-54.
- Letouzey, R., 1969. Observations phytogéographiques concernant le plateau africain de l'Adamaoua. *Adansonia*, Paris, 2, 9(3): 321-337.
- Maley, J., 1972. La sédimentation pollinique actuelle dans la zone du lac Tchad (Afrique Centrale). *Pollen Spores*, 14(3): 263-307.
- Maley, J., 1973. Les variations climatiques dans le bassin du Tchad durant le dernier millénaire; essai d'interprétation climatique de l'Holocène africain. *C.R. Acad. Sci., Paris*, D, 276: 1673-1675.
- Mayençon, R., 1961. Conditions synoptiques donnant lieu à des précipitations torrentielles au Sahara. *La Météorologie*, Paris, 62: 171-180.
- Messlerli, B., 1972. Formen und Formungsprozesse in des Hochgebirgsregion des Tibesti. *Hochgebirgsforschung, Univ. Innsb.-Münch. Publ.*, 2: 23-86.
- Mitchell, J. M., 1963. On the world-wide pattern of secular temperature change. *Changes of Climate, Arid Zone Res. Ser.*, UNESCO, Paris, 20: 161-181.
- Pédélaborde, P., 1967. Chronique météorologique. *Ann. Géogr.*, Paris, 413: 86.
- Pédélaborde, P., 1970. Les moussons, sér. U2, 75. Colin, Paris, 221 pp.
- Phillipot, H. R., 1969. Antarctic stratospheric warming reviewed in the light of 1967 observations. *Q. J.R. Meteorol. Soc.*, 95: 329-348.
- Pias, J., 1958. Transgressions et régressions du lac Tchad à la fin de l'ère Tertiaire et au Quaternaire. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 246: 800-803.
- Pias, J., 1968. Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent (République du Tchad). *Mémoire ORSTOM, Paris*, 425 pp.
- Riou, C., 1972. *Etude de l'Évaporation en Afrique Centrale (Tchad, République Centrafricaine, Congo Contribution à la Connaissance des Climats*. Thèse. Doct. Etat, ORSTOM, Paris, 205 pp.
- 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 pp.
- Rosby, C. G., 1947. On the general circulation of the atmosphere in middle latitudes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 28(6): 255-280.
- Schneider, J. L., 1967a. Évolution du dernier lacustre et peuplement préhistorique aux Pays-Bas du Tchad. *Bull. Assoc. Sénégal. Etud. Quatern. Ouest. Afr., Dakar*, 14-15: 18-23.
- Schneider, J. L., 1967b. *Rapport de synthèse de la carte hydrogéologique de la République du Tchad 1/500.000 è. Feuille de Fort-Lamy*. B.R.G.M., Fort-Lamy et Paris, 47 pp.
- Servant, M., 1970. Données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-ouest du lac Tchad. *Actes VIè Congr. Panafr. Préhist. Etud. Quatern., Dakar, 1967, Cah. ORSTOM, Géol., Paris*, 2(1): 95-114.
- Servant, M. et Servant, S., 1970. Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 2, 12(1): 63-76.
- Tilho, J., 1910-1911. *Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*. Imp. Natl., Paris, 1 1910: 412 pp., 2, 1911: 631 pp.
- Touchebeuf de Lussigny, P., 1969. Monographie hydrologique du lac Tchad. *Serv. Hydrol. ORSTOM, Paris*, 169 pp.
- Tricart, J., 1956. Tentative de corrélation des périodes pluviales africaines et des périodes glaciaires. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr., Paris*, 10: 164-167.
- Urvoay, Y., 1949. Histoire de l'Empire du Bornou. *Mém. Inst. Fr. Afr. N., Dakar*, 7: 166 pp.
- Van der Hammen, T., 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. Mijnb.*; 46: 79-95.
- Van Zinderen Bakker, E. M., 1967. Upper Pleistocene and Holocene stratigraphy and ecology on the basis of vegetation changes in sub-saharan Africa. In: W. W. Bishop and J. D. Clark (Editors), *Background to Evolution in Africa*. University of Chicago Press, Chicago, Ill., pp. 125-147.

- Van Zinderen Bakker, E. M., 1969. Quaternary pollen analytical studies in the southern hemisphere with special reference to the sub-antarctic. In: E. M. Van Zinderen Bakker (Editor), *Palaeoecology of Africa*, 5. Balkema, Cape Town, pp. 175-212.
- Van Zinderen Bakker, E. M., 1972. A re-appraisal of Late-Quaternary climatic evidence from tropical Africa. In: E. M. Van Zinderen Bakker (Editor), *Palaeoecology of Africa*, 7. Balkema, Cape Town, pp. 151-181.
- Whittow, J. B. et Osmaston, H. A., 1966. The deglaciation of the east african mountains. *Br. Geomorphol. Res. Gr., Inst. B. Geogr., Occas. Pap.*, 3: 10-13.

### *Données Météorologiques*

#### *Température:*

- 1951-1960: *Ann. Serv. Météorol. Fr. Outre-Mer, Territ. Fr. Afr. N., Dir. Météorol. Natl., Paris.*
- 1961-1970: *Résumés Mensuels du Temps. Cameroun, Rép. Féd. Cameroun (Edit.). Tchad, Centrafrique et Niger, A.S.E.C.N.A., Serv. Techn. Rég. Météo. Afr. Cent., Brazzaville (Edit.).*

#### *Pluie:*

Bassin du Logone, 1940-1964:

- Billon, B., Bouchardeau, A., Pieyns, S., Riou, C., Roche, M. et Rodier, J., 1967. *Monographie hydrologique du Logone*, 1. Facteurs conditionnels du régime, ORSTOM, Serv. Hydrol., Paris, 101 pp.

Bassin du Chari, 1940-1967:

- Billon, B. et Guiscafne, J., 1969. *Monographie hydrologique du Chari*. 1. Facteurs conditionnels du régime. ORSTOM, Serv. Hydrol., Paris, 114 pp.

Ensemble du bassin du Tchad (1965-1970):

- Fichiers du Service Hydrologique de l'ORSTOM, 19 Rue Eugène Carrière, Paris, 18<sup>e</sup>, d'après les documents originaux.