



# ANALYSES POLLINIQUES ET PALÉOCLIMATOLOGIE DES DOUZE DERNIERS MILLÉNAIRES DU BASSIN DU TCHAD (AFRIQUE CENTRALE)

par J. MALEY

Laboratoire de Palynologie, C.N.R.S., E.R. n° 25,  
Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier (France)  
et O.R.S.T.O.M. (1), Centre de N'Djamena (Tchad)

## RÉSUMÉ

Les sédiments étudiés proviennent de coupes situées entre 14 °E-18 °E et 13 °N-15 °N, datées par le C<sup>14</sup>.

— De env. 13 000 à env. 9 200 B.P. se situe une phase transitoire au cours de laquelle se sont produites trois transgressions lacustres de faible ampleur, séparées par de courtes périodes arides. Durant ces transgressions on assiste à l'apparition progressive de la végétation sahélienne.

— De env. 9 200 à env. 4 000 B.P. se situent des niveaux lacustres hauts à très hauts, et ensuite jusqu'à l'actuel des oscillations de plus faible ampleur. La période s'étendant de env. 9 000 au subactuel a été étudiée sur une coupe de référence de 7,80 m à Tjéri (13° 44' N-16° 30' E). 46 échantillons ont été analysés. Les pollens proviennent de l'ensemble du bassin et ont été apportés soit par les vents, soit par les fleuves. Les spectres ont été subdivisés en éléments phytogéographiques soudano-guinéen, soudanien, sahélien, montagnard (Tibesti), un groupe de plantes hygrophiles, etc. La base de la coupe est datée par deux C<sup>14</sup> sur matière organique. La datation des autres niveaux est établie par corrélations stratigraphiques des événements remarquables (transgressions, régressions, etc.) et par les vitesses de sédimentation. Les résultats obtenus sont apparemment très cohérents. D'autre part, il y a un très bon accord entre les données polliniques et les diatomées.

La comparaison des différentes courbes polliniques montrent que l'élément sahélien a eu une évolution presque toujours déphasée par rapport à celle de l'élément soudano-guinéen. D'autre part, au niveau

des millénaires, l'évolution de l'élément montagnard (Tibesti) présente un certain synchronisme avec l'élément sahélien jusque vers 5 500, mais dans le détail, les deux éléments présentent un déphasage assez net. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le rôle des « dépressions soudano-sahariennes », principalement au printemps et en automne, pour la pluie sur le Tibesti. Les situations météorologiques ne sont pas les mêmes entre les pluies de mousson directe et ces dépressions nées de la conjonction d'air polaire et d'air tropical.

Au cours de l'Holocène, les optimums climatiques de la zone sahélienne sont en phase avec les périodes globales et secondaires de réchauffement sur l'Hémisphère Nord. D'autre part, la tendance générale de la courbe de l'élément soudano-guinéen suit celle du réchauffement global au cours de l'Holocène, mais durant les périodes secondaires de refroidissement, la courbe présente des tendances fortement opposées. Il en résulte que les optimums climatiques ont toujours été déphasés entre la zone sahélienne et la zone soudano-guinéenne; les péjorations climatiques pouvant, par contre, être parfois synchrones. Ces phénomènes se retrouvent encore dans l'évolution climatique actuelle.

Le mouvement annuel de la ZCIT et son équilibre pluriannuel sont gouvernés par la tendance des températures globales. Plus le gradient thermique Pôle-Equateur est grand, moins la ZCIT remonte vers le Nord, et vice versa. Ainsi, il est possible de relier les variations climatiques des basses latitudes avec la variation, pour diverses causes, de la radiation solaire reçue par le globe.

## ABSTRACT

The deposits investigated belong to profiles situated between 14 °E-18 °E and 13 °N-15 °N dated with C<sup>14</sup> (geological studies by M. SERVANT and diatom studies by S. SERVANT).

— From ca. 20,000 to ca. 13,000 B.P., a large erg extended down to 10 °N during a hyperarid phase.

— From ca. 13,000 to ca. 9,200 a transitory phase occurred, composed of 3 lacustrine transgressions of low amplitude, interrupted by short dry periods. During these transgressions sahelian vegetation appeared progressively.

— From ca. 9,200 to ca. 4,000, high to very high stands occurred. These phase spanning from ca. 9,000 up to the present has been studied from a profile 7.80 m high, with 2 C<sup>14</sup> datings near the bottom, at Tjéri (13° 44' N-16° 30' E). Samples were taken 10 or 20 cm apart, counting 1,000 to 6,000 pollen grains per sample (46). The pollen originates from the whole catchment area. The spectra are divided into such « elements » as sudano-guinean, sudanian, sahelian, mountain (Tibesti), a hydrophyllous group, etc. An approximate dating is established through correlations and sedimentation rates. The diatoms indicate both the regressions and the salinity of the water and its temperature, which was relatively cool until ca. 6,600. The comparison between the different pollen curves (relative and absolute percentages) shows that the sahelian el. always developed in oppo-

(1) Office de la Recherche Scientifique et Technique  
Outre-Mer.

14 NOV. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentation

N° : 3706ex1

Cote : B

O. R. S. T. O. M. 17 FEB. 1978

Collection de Référence

n° 9018 Geol.

M  
03706  
ex1

sition to the sudano-guinean el., and to a lesser degree to the sudanien el. Consequently, the first transgression (ca. 9,200-8,500) was mainly due to local rains but also to rather scarce river water coming from the South and the North (Tibesti). During the second transgression (ca. 8,400-7,800) there was an increase in river water from the south. The third transgression (ca. 7,700-7,300) is different. The environment became locally desert with almost all the water originating from the sudano-guinean zone. Some aridity existed in the sudanian zone and the Tibesti. The fourth transgression (ca. 7,000-5,000) was initially caused by the common influence of all the rain and river waters. The sahelian zone then seem to have shifted a little to the North. River waters from the Tibesti ceased after ca. 6,000-5,500. After a long regression (ca. 5,000-4,000), minor oscillations occurred between 4,000 and the present. The causes of the regressions could have been mainly dependent of the rapid change at this time of the principal water components, when a new equilibrium of the ITCZ occurred in response to a global change in thermal equilibrium. This is suggestive of these regressions

## I. — INTRODUCTION

Le bassin du Tchad est une immense dépression endoréique située à cheval sur le Sahara et la zone tropicale sèche (fig. 1). Le lac Tchad actuel, à l'altitude moyenne de 282 m, n'est qu'un lac résiduel ayant en moyenne 24 400 km<sup>2</sup> alors qu'entre environ 5 000 et 6 000 ans (2), le Paléotchad à la cote de 320 m avait une superficie proche de 350 000 km<sup>2</sup>, un peu inférieure à celle de la Mer Caspienne (420 000 km<sup>2</sup>).

L'étude détaillée des sédiments quaternaires a permis à H. FAURE (1962-1969) puis à M. SERVANT (1967-1976) et pour les diatomées à S. SERVANT (1967-1976) de reconstituer l'histoire géologique et d'établir une chronologie absolue grâce à une centaine de datations au radiocarbone. Ces recherches ont montré que des lacs se sont développés entre env. 40 000 et 20 000 ans puis de env. 13 000 ans jusqu'au lac actuel. Le hiatus de 20 000 à 13 000 ans correspond à une importante phase aride en plaine au cours de laquelle un grand erg s'est édifié jusque vers 10 °N, soit une extension d'environ 800 km par rapport à sa localisation actuelle. Les douze derniers millénaires ont été subdivisés en deux séquences L1 (env. 13-000-9 200) et L2 (env. 9 200-actuel).

## II. — ANALYSES POLLINIQUES DE L1 (env. 13 000-9 200)

C'est surtout au Kanem et dans la partie orientale du lac actuel (env. 14° 30' E - 18° E et 13° N - 14° 30' N) que la séquence L1 est actuellement la mieux connue. On peut la subdiviser en trois transgressions lacustres de faible ampleur, surtout la première, tI, tII et tIII, séparées par des phases arides avec parfois des ensablements éoliens. Comme l'avait remarqué M. SERVANT (1973), il est possible d'établir un parallélisme entre ces trois transgressions et le Bölling (env. 12 900-12 500), l'Alleröd (env. 11 800-11 000) et la première partie du Préboréal (env. 10 200-9 700).

(2) Lorsque cela n'est pas précisé, les dates sont données en années B.P. (Before Present).

representing climatic crises. Another point of interest is the evolution of the mountain el. (Tibesti). Its curve exhibits a broad synchrony until ca. 5,500 with the sahelian curve, but there is a dephasing in the trend from one sample to the next. This could be explained by the role of « sudano-saharian depressions », mainly in the spring and autumn, in the rains of the Tibesti. The meteorological situations are not the same for the rains of this type or for the monsoon rains. During the Holocene, the sahelian zone optima are in phase with global and secondary warming periods. On the other hand, the general trend of the soud-Guin. curve follows the global warming trend of temperature, but during the secondary cooling periods, the curve exhibit strong opposite trends.

The annual movement of the ITCZ and its pluri-annual equilibrium is governed by the trend of global temperatures. The bigger the Pole-Equator thermal gradient, the less the ITCZ moves to the North and vice versa. So one can relate climatic variations in the lower latitudes to the variations of the input of solar radiation on the Earth.

Une vingtaine d'échantillons pollénifères concernant tI, tII, tIII et le dernier « aride » (env. 9 600-9 200) a été étudiée. Seul un résumé de l'étude pollinique est donné ici.

L'échantillon le plus ancien de tI à Tjéri (13° 44' N - 16° 30' E) contient 94 % de pollens de Cyperaceae, 3 % de Gramineae et 3 % de *Typha*. Il devait correspondre à un étang saumâtre dans un environnement désertique. Les trois autres échantillons de cette brève phase lacustre à Tjéri voient l'apparition de trois taxons sahéliens totalisant seulement 0,5 % ; l'environnement restait encore très aride.

Lors de tII, les taxons sahéliens (herbes et arbustes) restent très faibles (< 1 % ; *Amaranthaceae*, *Salvadora persica*, *Balanites aegyptiaca*).

Les échantillons de tIII montrent une végétation sahélienne bien installée. Les taxons typiques sont présents (*Capparidaceae*, *Acacia*, *Hyphaëne*, *Tribulus*, *Blepharis*, etc.). A Kamala (14° 02' N - 16° 05' E), les analyses de sept échantillons présentent de huit à dix taxons sahéliens, chiffre à peine inférieur à ce qu'il sera au début de L2 (douze taxons). Il est assez difficile de déduire la pluviosité approximative sous laquelle vivaient ces taxons. En effet, dans la zone tropicale sèche où se situe notre étude, l'évaporation (directe ou indirecte par l'évapotranspiration des plantes) joue un rôle capital. Or, nous savons grâce en particulier aux diatomées, qu'il y a 10 000 ans la température était un peu inférieure à l'actuelle. Des pluies inférieures à ce qu'elles sont actuellement en zone sahélienne (env. 500 à 100 mm/an) pouvaient donc conduire à un bilan hydrique du sol identique à l'actuel. Le problème est rendu plus complexe par la présence d'une nappe phréatique proche de la surface. Cette nappe devait être une source importante en eau pour les plantes. Il semble même probable que la nappe a été la source unique en eau lors de tI et peut-être encore lors de tII. En effet, pour les quelques stations étudiées qui pouvaient être en relation avec des axes de drainage (Chari, Logone, Bahr el Ghazal), on note l'apparition en faible pourcentage de taxons typiquement soudano-guinéens (*Uapaca*, *Hymenocardia*). Compte tenu de l'environnement très aride indiqué par les autres pollens, il apparaît clairement que les pollens de ces taxons tropicaux semi-humides

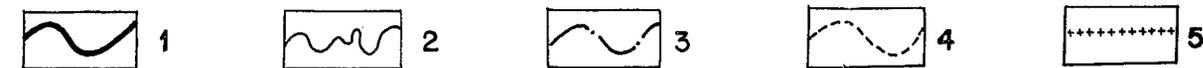
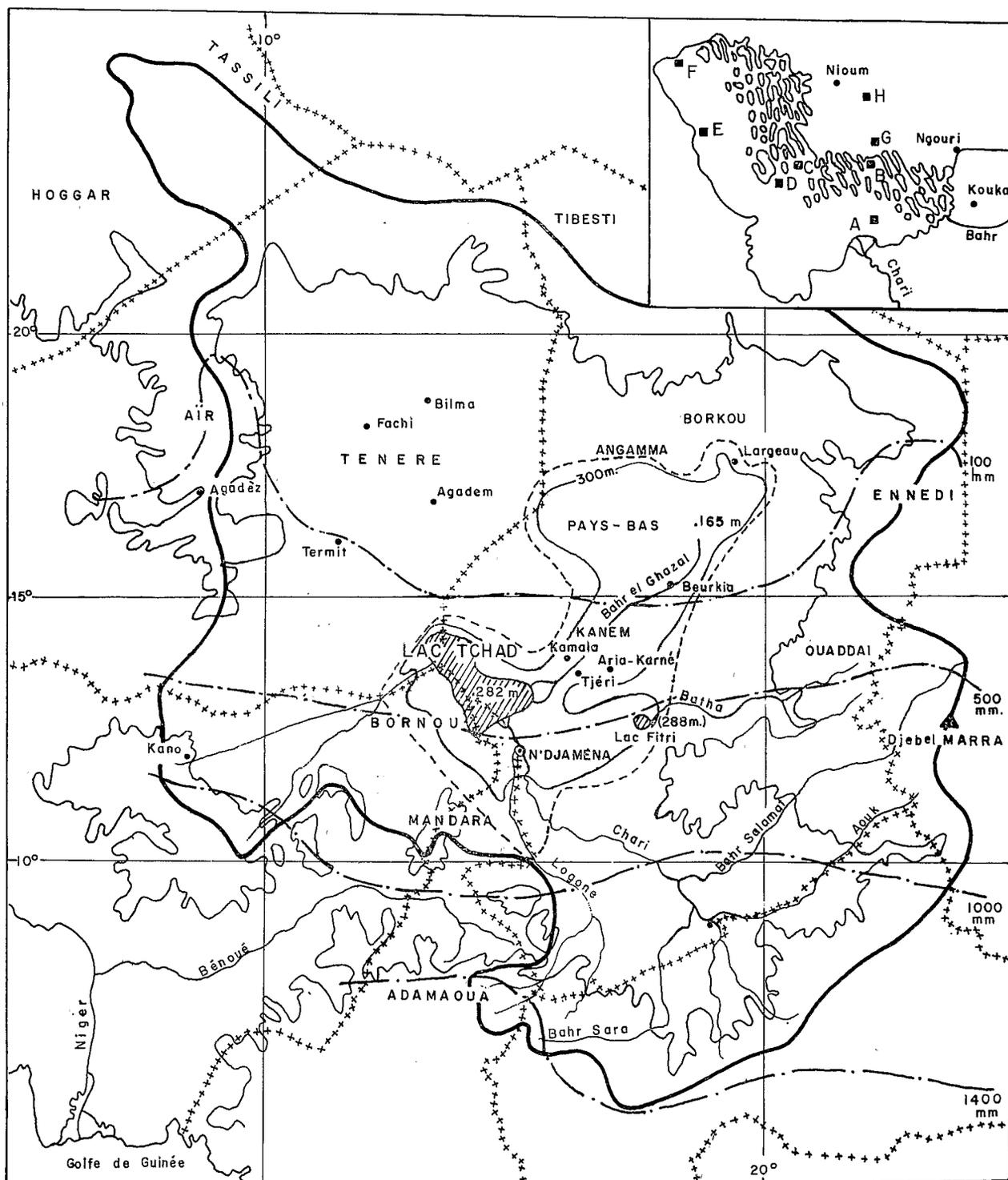


FIGURE 1. — Le bassin du Tchad.

1, Limite du bassin. 2, Courbe de niveau à 500 m d'altitude. 3, Isohyètes. 4, Limite du Paléotchad à l'altitude de 320 m, à l'intérieur de ses limites, courbe de niveau à 300 m. 5, Frontières entre Etats.

Dans le carton, détail du lac Tchad. Les points A, B, C, D, E, F, G et H correspondent à l'emplacement des échantillons actuels de comparaison. G et H sont de petites mares isolées (cf. J. MALBY, 1972).

ont été apportés par les cours d'eau. Ceci montre que les premières transgressions ont été causées par une remontée générale des nappes phréatiques sous l'effet d'apports allochtones. Lors de tIII, la richesse relative en taxons sahéliens est une première indication de pluies locales sans doute encore faibles.

### III. — ANALYSES POLLINIQUES DE L2 (env. 9200-actuel) (fig. 2)

C'est au cours de cette période que les plus hauts niveaux lacustres ont été atteints, en particulier entre env. 7 000-5 000 ans. L2 a été étudiée sur une coupe de référence haute de 7,80 m à Tjéri. Les mêmes échantillons ont été prélevés tous les 10 cm par M. SERVANT pour l'étude des pollens et des diatomées (S. SERVANT, fig. 5 et 6 in M. et S. SERVANT, 1970). Une étude sédimentologique a été menée en parallèle (M. SERVANT, 1973). Les échantillons étudiés ici sont espacés de 10, 20 ou 30 cm, soit 46 échantillons pour lesquels de 1 000 à 6 000 pollens ont été comptés (plus de 120 000 pollens au total). Les pollens proviennent de l'ensemble du bassin. L'étude de la sédimentation pollinique actuelle dans la zone du lac (J. MALEY, 1972) montre que les pollens d'espèces soudano-guinéennes ne sont apportés jusqu'au lac actuel que par le fleuve Chari et qu'ils sont absents des petites mares isolées autour du lac. Ces pollens sont aussi absents dans les poussières se sédimentant actuellement sur le sol à Tjéri (« fluxages » suivant la méthode de P. COUR, 1974). Par contre, le vent de secteur nord (harmattan) est capable de transporter des pollens depuis le Tibesti jusqu'au lac actuel (800 km) (J. MALEY, 1972, p. 292). Les spectres polliniques ont été subdivisés en « éléments phytogéographiques » soudano-guinéen, soudanien, sahélien (3), montagnard (Tibesti), un groupe de plantes hygrophiles, etc. (J. MALEY, 1972).

#### CHRONOLOGIE DE LA SÉQUENCE L2 DE TJÉRI.

La base de la coupe est datée par deux C<sup>14</sup> (7,75 m : 9 000 ± 200 ans ; 7,00 m : 8 750 ± 200 ans). La datation approchée de tous les autres niveaux de la coupe a été établie par corrélations stratigraphiques des événements remarquables (transgressions, régressions, etc.) et par les vitesses de sédimentation.

Les trois événements principaux sur lesquels la chronologie a été basée sont les suivants :

- A 4,10 m s'observe un pic très prononcé de l'élément sahélien après une longue phase très aride (4,70 à 4,20 m). Celle-ci ne peut être que l'importante phase aride reconnue par M. SERVANT et datée de env. 7 500-7 000.

- A partir de 4,50 m les diatomées indiquent une régression dont le maximum se situe vers 4,20-4,10 m. Ensuite, une nouvelle transgression débute à 4 m. Celle-ci correspond probablement à la transgression datée sur 2 autres coupes de la zone du Paléotchad, de 7 000 ± 170 à Largeau et de 6 990 ± 140 à Beurkia. (M. et S. SERVANT, 1970). Le parallélisme entre la transgression notée à Tjéri à partir de 4,00 m et celle datée par ailleurs de env. 7 000 est renforcé par la présence à Tjéri, Largeau et Beurkia d'une diato-

mée psychrophile typique, *Cymatopleura elliptica* (espèce liée aux eaux froides).

- La courbe de l'élément sahélien montre ensuite une autre période aride qui culmine vers 2,60 m en se prolongeant à 2,40 m. M. SERVANT a situé cet « aride » vers 4 000 ans. Une corrélation généralement assez bonne avec le bassin du Nil (cf. J. MALEY, 1973, p. 218) permet peut-être de mieux situer cet aride. En effet, des données historiques écrites (B. BELL, 1971) indiquent que le Nil a été extrêmement bas, causant des famines entre 2180 et 2130 avant J.-C. (années calendaires) ce qui correspond d'après la dendrochronologie (courbe de H. N. MICHAEL et E. K. RALPH, 1974) à des dates C<sup>14</sup> de 3 900 à 3 700. De plus, la courbe de MICHAEL et RALPH montre à ce moment une augmentation importante de C<sup>14</sup> dans l'atmosphère. Ce phénomène se produit lors des refroidissements de la température générale (H. E. SUSS, 1971). Le parallélisme étroit liant les périodes arides aux refroidissements permet donc d'attribuer un âge d'env. 3 900 au niveau 2,60 m, 2,40 m pouvant se situer vers 3 700-3 600.

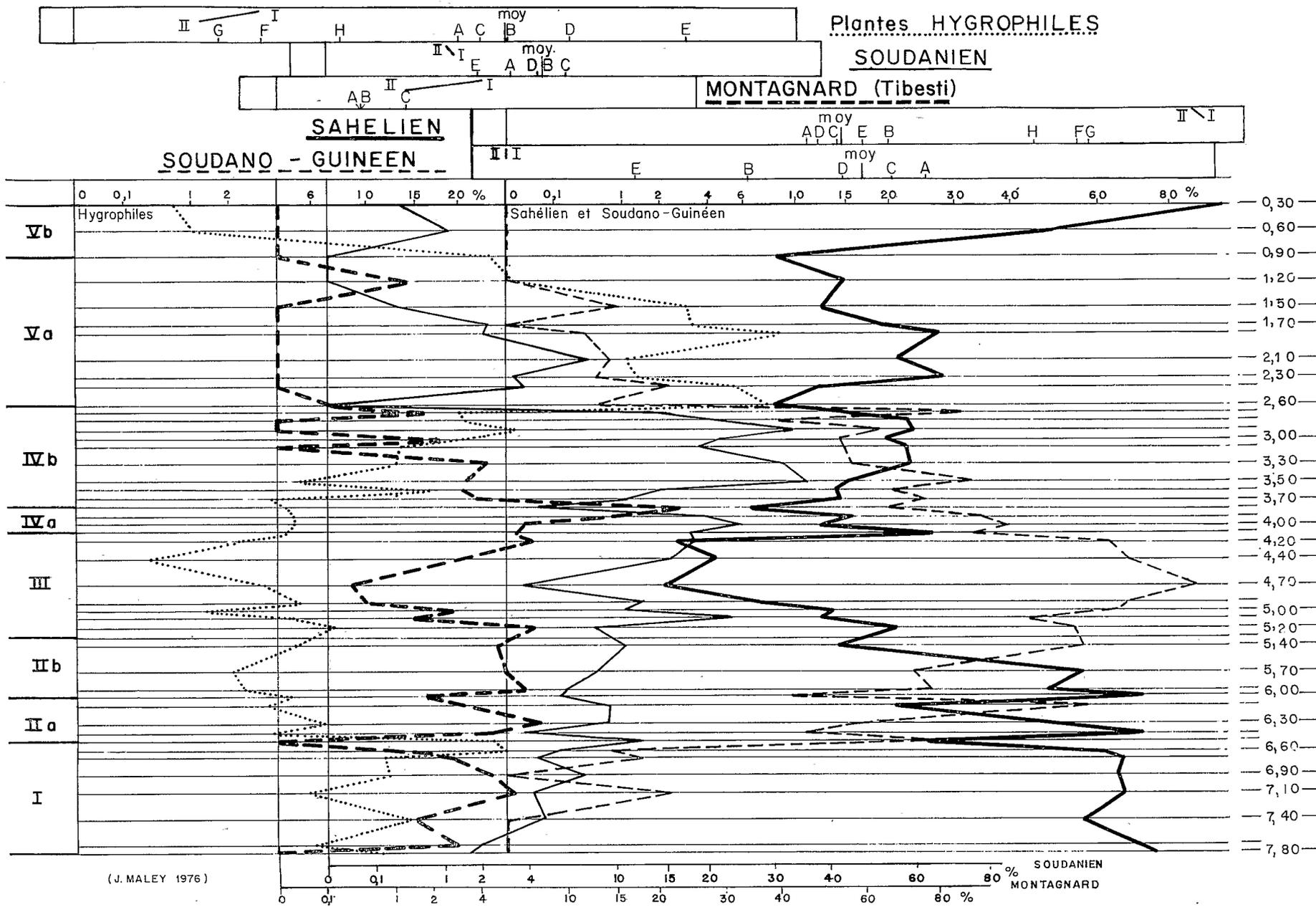
- Le dernier optimum de l'élément montagnard (Tibesti) culmine à 3,80 m. Par la vitesse de sédimentation, 10 cm en 220 ans, calculée entre 4,00 m (env. 7 000) et 2,60 m (env. 3 900), on obtient un âge d'env. 6 560 ans pour 3,80 m. Or au Tibesti, B. MESSERLI (1972) a trouvé un paléosol brun, peu épais, contenant 4 % de matière organique et dont le contenu pollinique est proche de celui des phases humides de l'Holocène ancien de ce massif (J. MALEY, analyses inédites). Ce paléosol a été daté de 6 600 ± 140 (Gif 3228). Cette date confirme donc l'âge du niveau 3,80 m et renforce l'âge de 7 000 ans attribué à l'échantillon 4,00 m.

De cette manière, on constate une vitesse de sédimentation assez rapide jusque vers 7 000 (10 cm en 58 ans) et ensuite jusque vers 3 900 une vitesse assez lente (10 cm en 220 ans). Les coupes stratigraphiques sériées de R. MARTIN (1973) à Tjéri conduisent à des résultats assez proches.

Après 2,40 m, les âges ont été attribués en parallélisant la courbe de l'élément sahélien avec les optimums

FIGURE 2. — Evolution comparée des pourcentages relatifs des différents éléments et du groupe des plantes hygrophyles de la coupe de Tjéri. Le nom de chacun est souligné avec le même tracé utilisé pour la construction de sa courbe. Afin de bien visualiser chaque courbe, leurs bases (% zéro) ont été décalées les unes par rapport aux autres, sauf pour les éléments sahélien et soudano-guinéen qui ont la même base. L'échelle des pourcentages est établie selon une graduation à progression variable, intermédiaire entre la progression arithmétique et la progression logarithmique (autre exemple d'utilisation in P. COUR et al., 1976). Dans la partie supérieure de la figure, les encadrés donnent le détail des pourcentages actuels. Les points A, B, C, D, E, F correspondent aux valeurs obtenues pour les stations du lac actuel (moy., correspond à la moyenne du bassin sud du lac, stations A, B, C, D) et G, H pour deux mares du nord du lac (cf. fig. 1, carton et J. MALEY, 1972). Les chiffres romains donnent les pourcentages de la pluie pollinique actuelle, I : dépression de Tjéri, II : plateau sableux dominant le puits de Tjéri.  
Chronologie de la coupe : 7,75 m (C<sup>14</sup>) : 9 000 ± 200 ; 7,00 m (C<sup>14</sup>) : 8 750 ± 200 (ensuite chronologie reconstituée, voir le texte) ; 6,50 m : 8 500 à 8 400 ; 6,10 m : 8 200 ; 5,20 m : 7 700 ; 4,70 m : 7 400 ; 4,10 m : 7 100 ; 4,00 m : 7 000 ; 3,80 m : 6 600 ; 3,10 m : 5 000 ; 2,60 m : 3 900 ; 2,30 m : 3 500-3 000 ; 1,80 m : 2 500-2 000 ; 1,50 m : 300-600 AD ; 1,20 m : 700-1 100 AD ; 0,90 m : 1 200-1 300 AD ; 0,30 : 1 300-1 550 AD. Les dates et les niveaux en italique sont ceux qui servent de base à cette reconstitution.

(3) Les pluviosités moyennes annuelles sont, en millimètres, de 1 400-1 500 à 1 000 pour la zone soudano-guinéenne, de 1 000 à 500 pour la zone soudanienne, de 500 à 100 pour la zone sahélienne (cf. fig. 1).



AFRIQUE DE L'OUEST, AFRIQUE TROPICALE, MADAGASCAR

et les péjorations climatiques reconnus par ailleurs dans la partie méridionale du Sahara (géologie et préhistoire: P. ELOUARD, 1973; histoire: R. MAUNY, 1970). Le sommet de la coupe (0,30 m) d'après des corrélations palynologiques (analyses inédites) se situerait entre 1300 et 1550 A.D. Il semblerait que le haut niveau lacustre du XVII<sup>e</sup> siècle reconnu par ailleurs (J. MALEY, 1973), ait correspondu dans le Bahr el Ghazal à des dépôts plutôt limoneux dont une grande partie aurait été ensuite déblayée.

La chronologie ainsi établie a une bonne cohérence interne et les corrélations tentées plus loin avec des phénomènes plus généraux, montrent que cette reconstitution semble très correcte.

#### IV. — ÉVOLUTION COMPARÉE DES DIFFÉRENTES COURBES

Les différentes courbes polliniques ont été établies en utilisant les pourcentages relatifs et les valeurs absolues. Seules les courbes en % relatifs sont présentées ici. Les valeurs absolues qui seront publiées par ailleurs, apportent des informations complémentaires.

L'examen des différentes courbes (% relatifs) (fig. 2 et 3) a permis de diviser la séquence L2 en 5 phases principales, certaines étant subdivisées en sous phases: I, II (IIa, IIb), III, IV (IVa, IVb) et V (Va, Vb). Les quatre premières phases correspondent aux quatre principales transgressions reconnues par l'étude des diatomées (S. SERVANT, *opus cit.* et S. SERVANT, communi. pers., 1976). Il y a aussi une bonne corrélation avec la courbe des extensions latérales des dépôts dans l'interdune de Tjéri (R. MARTIN, 1973).

##### a) LE GROUPE DES GRAMINEAE, CYPERACEAE ET TYPHA ET LES PLANTES HYGROPHILES.

1°. Les spectres polliniques présentent dans tous les échantillons étudiés au Tchad de env. 13 000 ans à l'actuel, de forts pourcentages (en moyenne de 85 à 90 %) de Gramineae, de Cyperaceae et de *Typha*. La somme de ces trois taxons est quasiment constante, car la baisse de l'un est compensée par l'augmentation de l'autre. C'est pourquoi, il a été jugé préférable d'éliminer ces trois taxons de la somme de base pour le calcul des pourcentages de tous les autres taxons.

D'un point de vue écologique, il ressort que la grande masse des Gramineae vit dans les savanes et que, par contre, les Cyperaceae et les *Typha* sont en majorité liés aux zones marécageuses et aux bordures aquatiques. Le rapport Gramineae sur Cyperaceae plus *Typha* fait bien ressortir ce phénomène. Les fortes valeurs de ce rapport correspondent aux différents maxima des diatomées planctoniques. Ainsi, pour les dépôts lacustres, plus les valeurs de ce rapport sont élevées, plus les surfaces d'eau libre sont étendues.

2°. La courbe des plantes hygrophiles confirme les données obtenues par les diatomées pour la fluctuation des niveaux lacustres :

- régression très nette à 6,40-6,50 m,
- régression entre 5,20 m et 5,80 m,
- haut niveau relatif vers 4,70 m.

Par contre, lors du plus haut niveau lacustre (cote env. 320 m), très nettement caractérisé par les diatomées, les pourcentages sont en augmentation presque constante, passant d'env. 5 % à 20-28 %. Cette différence pourrait s'expliquer par le passage vers 6 500

ans à un climat nettement plus chaud (disparition des diatomées psychrophiles ou tempérées, au profit des tropicales) qui aurait favorisé la prolifération des plantes aquatiques, compensant ainsi l'éloignement relatif des sources. La régression de 2,60-2,40 m apparaît cependant très bien par un bond des pourcentages qui passent d'env. 20 % à env. 80 %.

##### b) LES COURBES DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS PHYTOGÉOGRAPHIQUES.

La comparaison des différents éléments entre eux montre toute d'abord que l'élément sahélien a eu toujours une évolution opposée à celle de l'élément soudano-guinéen (fig. 3).

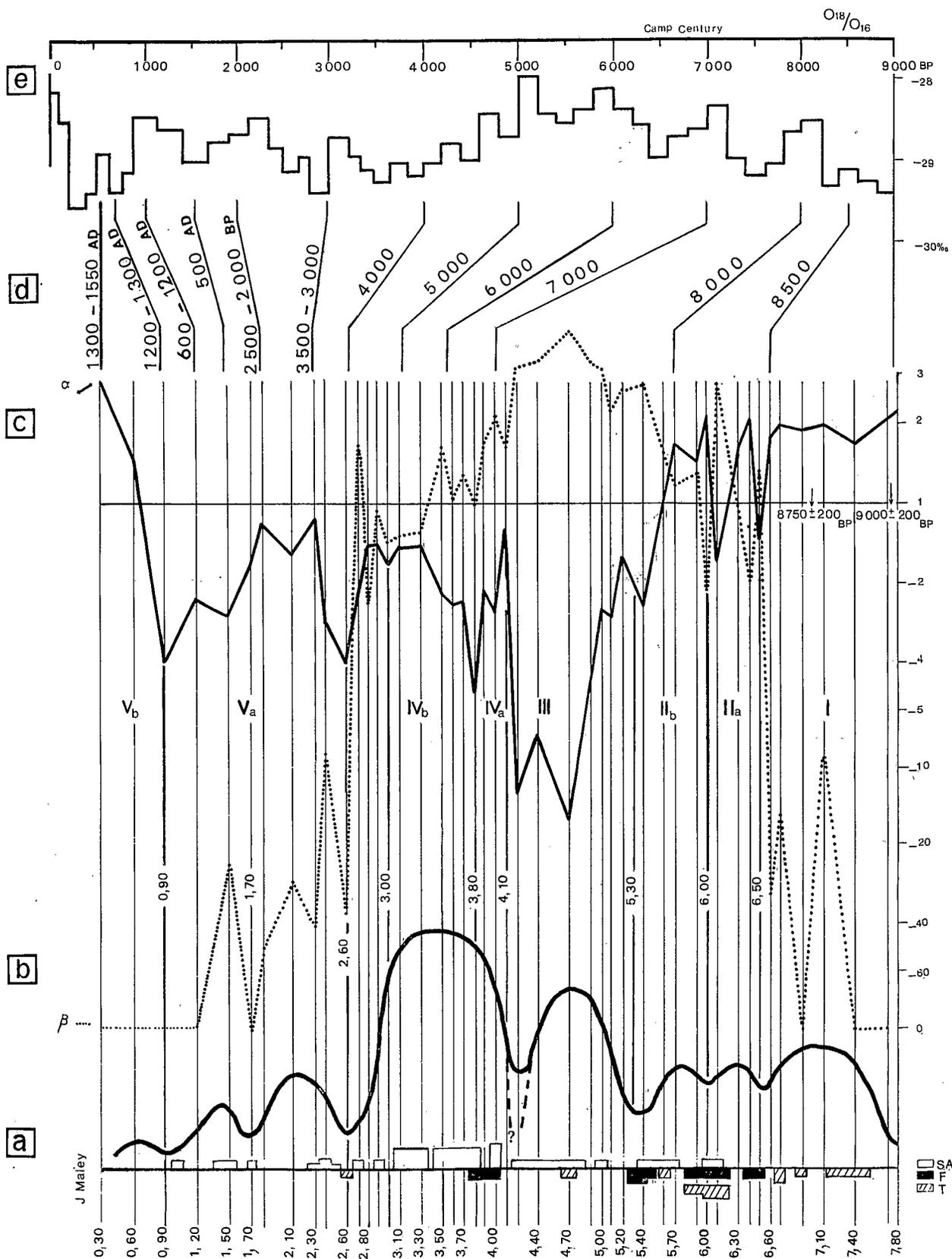
##### 1°. L'élément sahélien.

Il apparaît que la courbe de l'élément sahélien présente de bonnes corrélations au niveau des tendances (les amplitudes sont différentes) avec des courbes générales de température: courbe de Camp Century au Groenland (rapport <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O: S. J. JOHNSEN *et al.*, 1972, fig. 6; W. DANSGAARD *et al.*, 1969, fig. 2; et d'après M. TERS, 1973, tabl. 1), courbes eustatiques (R. FAIRBRIDGE, 1962; N. MÖRNER, 1969; M. TERS, 1973, etc.), fluctuations des glaciers alpins à l'Holocène (G. PATZELT, 1974), etc. Ainsi, il apparaît qu'au cours de l'Holocène et jusqu'à l'actuel, les optimums sahéliens ont été en phase avec les périodes de réchauffement et les péjorations avec les refroidissements. Entre les 9<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> millénaires, les différentes baisses de pourcentage de la courbe sahélienne, correspondant à chaque fois à des refroidissements, se marquent au Tchad par la présence d'une diatomée psychrophile, *Cymatopleura elliptica* (vivant actuellement dans les eaux froides européennes), ou d'une diatomée de type tempéré, *Cyclotella ocellata* (vivant actuellement en zone tempérée) (S. SERVANT, fig. 6, in M. et S. SERVANT, 1970).

— 9 000 à 8 000. Si l'on se base sur la courbe sahélienne, on constate qu'il y a deux phases d'aridification donc deux phases de refroidissement. La première aridification a coïncidé avec la première régression (env. 8 500-8 400). La diatomée psychrophile apparaît aussi en deux phases (6,50-6,40 m et 6,10-5,80 m). La

FIGURE 3. — Evolution comparée pour la coupe de Tjéri, de bas en haut :

- a) Niveaux lacustres relatifs, d'après les diatomées (S. SERVANT, 1970, fig. 5; 1976; comm. pers., 1976); quelques diatomées écologiquement importantes: SA, *Stephanodiscus astrea* var. *minutula*; F, *Cymatopleura elliptica*; T, *Cyclotella ocellata*.
- b) Courbe pollinique de l'élément soudano-guinéen, en pointillé. β pourcentage actuel (% relatifs).
- c) Courbe pollinique de l'élément sahélien, en trait plein. α pourcentage actuel (% relatifs). Ces deux courbes (b et c) ont été construites en utilisant le rapport à la moyenne (valeur 1) de chacun des pourcentages de ces deux éléments pour l'ensemble des niveaux étudiés. Les ordonnées sont logarithmiques; sur cette échelle, la valeur 0 a été fixée arbitrairement à -100. Ce procédé permet une comparaison directe de l'évolution des tendances.
- d) Chronologie partiellement reconstituée d'après diverses corrélations régionales. Vers la base deux datations radiométriques; à 7,75 m: 9 000 ± 200 B.P. et à 7 m: 8 750 ± 200 B.P.
- e) Courbe schématique du rapport <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O de la carotte de glace de Camp Century (Groenland), imitée de M. TERS (1973, tabl. 1); de 9 000 à 1 700 B.P. d'après S. J. JOHNSEN *et al.* (1972, fig. 6) et de 1 700 B.P. à l'actuel d'après W. DANSGAARD *et al.* (1969, fig. 2). Les dates sont données en B.P., excepté pour les deux derniers millénaires en A.D. (années calendaires).



seconde phase d'aridification sahélienne peut se situer vers 8 200. Il faut noter que sur l'inlandsis américain, la période 8 500-8 000 correspond à la réavancée de Cochrane-Cockburn, suivie d'un important recul vers 8 000 (J. T. ANDREWS and J. D. IVES, 1972, p. 163). Dans le bassin du Tchad, M. SERVANT (1973) a caractérisé une brève phase aride dans le Ténéré par deux datations ;  $8\,480 \pm 300$  à Blima et  $8\,410 \pm 250$  à Termit.

— 8 000 à 7 000. *Cymatopleura elliptica* apparaît au cours de la péjoration climatique située de 5,50 à 5,30 m. *Cyclotella ocellata* se situe ensuite à 4,70 m, lors du maximum d'aridité.

— 7 000 à 6 000. Le parallélisme est très net entre la péjoration climatique et le refroidissement marqué par la présence de *Cymatopleura elliptica*.

— 6 000 à 5 000. Au cours de ce millénaire, on note seulement un fléchissement des températures vers 5 500 ans (cf. courbe de Camp Century). Il n'y a pas de diatomées psychrophiles ou tempérées.

— 5 000 à 3 000. La température générale décroît, avec des oscillations, de 5 000 à 3 900-3 600. *Cyclotella ocellata* apparaît seulement lors du maximum d'aridité vers 3 900.

— Ensuite, jusqu'à la fin de la coupe qui se situerait entre 1 300 et 1 550 A.D. d'après des corrélations palynologiques, ces diatomées n'apparaissent plus.

#### 2°. L'élément soudano-guinéen.

La tendance générale de la courbe de l'élément soudano-guinéen suit celle du réchauffement du Tardiglaciaire, mais durant les périodes secondaires de refroidissement, la courbe montre des tendances fortement opposées. Il en résulte que les optimums soudano-guinéens sont déphasés par rapport aux optimums sahéliens. Ce déphasage a été difficilement décelable jusqu'à présent sur la bordure méridionale du Sahara, sauf au Sénégal où P. MICHEL (1973, p. 550) l'a mis en évidence durant l'édification de la terrasse du 2° Remblai daté approximativement de 8 000 à 6 800. En effet, au cours des périodes de refroidissement, l'aridité de la zone sahélienne a pu être masquée dans certaines stratigraphies par des apports fluviaux accrus et par des remontées régionales de la nappe phréatique consécutives à ces apports, car du fait des conditions topographiques, il se trouve que le Sénégal, le Niger, le Chari-Logone et le Nil prennent leur source en zone tropicale semi-humide, essentiellement en zone soudano-guinéenne ou sous des pluviosités pouvant atteindre 1 800-2 000 mm par an, et coulent ensuite vers la zone sahélienne. Ce phénomène permet d'expliquer par exemple la forte crue du lac Tchad, en zone sahélienne, au cours du Petit Age Glaciaire.

#### 3°. L'élément soudanien.

L'évolution de sa courbe est en général intermédiaire entre les courbes sahélienne et soudano-guinéenne. Cependant, entre 9 000 et 7 500 le déphasage est aussi apparent avec l'élément sahélien. Le regroupement des pollens des éléments soudanien et soudano-guinéen fait aussi apparaître ce déphasage.

#### 4°. L'élément montagnard.

Cet élément est représenté dans nos analyses par un petit nombre de pollens très caractéristiques dont les sources d'émission les plus proches se trouvent à environ 700 km au Nord sur le Massif du Tibesti (*Artemisia*, *Pentzia*, *Erica arborea*, *Silene*, *Ephedra*).

Cet élément, du début de L2 jusqu'à son quasi

effacement vers 5 500 ans, présente avec l'élément sahélien un synchronisme au niveau des phases principales et lors des principaux maxima d'aridité. Ce dernier point montre que l'apport des pollens montagnards n'est pas modulé par la variation d'intensité du vent car les maxima d'aridité coïncident avec une recrudescence de l'activité éolienne. L'étude de cet élément au cours du dernier millénaire (J. MALEY, 1973) renforce cette conclusion. D'autre part, la comparaison des courbes de l'élément montagnard et de l'élément sahélien montre que d'un échantillon à l'autre il y a soit, le plus souvent, un déphasage de la tendance, soit des tendances semblables mais d'amplitude très différente.

En première hypothèse, on peut penser que la cause de ce déphasage résiderait dans la dominance sur le Tibesti des pluies liées aux *dépressions tropicales*, appelées au Sahara *dépressions soudano-sahariennes* (J. DUBIEF, 1963). Ces dépressions se produisent actuellement surtout au printemps et en automne et parfois en hiver. Par contre, en été, ce sont les pluies de mousson qui dominent. Les situations météorologiques sont très différentes entre ces deux types de pluies. Schématiquement, les dépressions tropicales requièrent la conjonction d'air polaire (« gouttes polaires ») descendant le long de thalwegs en altitude, et d'air équatorial humide venant du Golfe de Guinée ou de l'Atlantique (cf. les travaux de J. DUBIEF, etc.). Etant donné la corrélation entre les périodes d'aridité et les refroidissements globaux, il semble bien que les pluies liées uniquement aux descentes en surface du Front Polaire en hiver n'ont pas joué un grand rôle pour la végétation du Tibesti et cela d'autant plus que la sécheresse du reste de l'année n'a pas permis aux plantes de les utiliser efficacement. Cette importante question de l'interprétation de l'élément montagnard sera reprise par ailleurs.

### V. — L'ALIMENTATION DES LACS AU COURS DE L'HOLOCÈNE

L'évolution comparée des différentes courbes polliniques et des niveaux lacustres relatifs donnés par les diatomées (S. SERVANT, *opus cit.*) permet de déterminer l'importance relative des apports pluviaux locaux et fluviaux (fig. 3).

— La première transgression (env. 9 200-9 000 à 8 500) serait due essentiellement à des pluies locales mais aussi à des apports fluviaux provenant du Sud (début de la courbe de l'élément soudano-guinéen) et du Nord (Tibesti : début de l'édification du delta de l'Angamma).

— La deuxième transgression (env. 8 400-7 800) voit les apports fluviaux méridionaux augmenter nettement. Une petite régression intermédiaire (6,10-6,00 m) datée d'env. 8 200-8 100 correspond à une aridification de la zone sahélienne (6,10 m) suivie (6,00 m) d'une baisse des apports en provenance des zones soudano-guinéenne, soudanienne et montagnarde. A partir de 6,10 m les pics de la courbe soudano-guinéenne sont accompagnés par la présence de la diatomée *Stephanodiscus astrea* var. *minutula*, espèce eutrophe commune dans les grands lacs africains actuels (S. SERVANT, *opus cit.*).

— La troisième transgression (env. 7 700-7 300) est particulière. Les conditions sont devenues localement désertiques et presque toute l'alimentation était due à la zone soudano-guinéenne car l'aridité a touché

aussi la zone soudanienne et le Tibesti. L'importance des apports fluviaux en provenance de la zone soudano-guinéenne a compensé l'absence de pluies locales

— La quatrième transgression (env. 7 000-5 000) est assez complexe. Une régression apparaît entre 7 300 et 7 200 (4,50-4,40 m) et elle semble avoir conduit à un assèchement relativement bref et presque complet du Paléotchad vers 4,10-4,20 m (env. 7 100). Le retour brutal des pluies sahéliennes à 4,10 m sur les reliefs sableux sans végétation ou presque, semble avoir provoqué d'importants ravinements ayant entraîné du sable dans des coupes voisines à Tjéri (J. MALEY, inédit et B. MARTIN, 1973) et dans d'autres localités du Paléotchad (Beurkia, etc., cf. M. SERVANT, 1973, p. 242). Sur la coupe étudiée ici, vers le centre de la dépression de Tjéri, l'échantillon 4,10 m comporte des passées sableuses de quelques millimètres d'épaisseur. Pour comprendre ces phénomènes localisés de remaniements sableux, il faut avoir à l'esprit que tout le paysage tchadien au nord du 13 °N est couvert d'immenses dunes longitudinales résultant de l'erg fossile édifié entre 20 000 et 13 000 ans. Ces dunes, actuellement fixées par la végétation sahélienne, sont espacées de 500 à 2 000 ou 3 000 m et sont encore très abruptes, dominant le fond des dépressions de 20 à 30 m et plus parfois. Lorsqu'un lac noie ce paysage (le lac actuel en est un bon exemple), par le jeu des courants et de la houle, les sédiments se concentrent dans le fond des interdunes, avec une forme en fond de bateau.

A partir de 4,00 m, la transgression est due à l'influence conjuguée de tous les apports locaux et lointains. Une brève régression est probablement intervenue à 3,80 m, vers 6 600. Les apports du Tibesti, après un maximum entre env. 7 200-6 600, cessent complètement après env. 5 500. Ce fait est corroboré par les données géologiques de M. SERVANT. Après 6 000 ans, les apports en provenance de la zone soudano-guinéenne sont en baisse tandis que ceux de la zone soudanienne sont à leur niveau le plus élevé. A ce moment, de nombreuses données (géologie, préhistoire) montrent que le Sahara méridional était plus régulièrement arrosé, du fait d'un glissement vers le Nord de la zone sahélienne.

— La longue régression qui a suivi (env. 5 000-3 900) débute à 3 m par une forte diminution des diatomées planctoniques. Puis vers 2,70 m les diatomées littorales dominent indiquant la phase finale de la régression (2,70-2,60 m). Plusieurs facteurs ont pu se conjuguer pour provoquer cette régression. Le plus important semble être une évaporation importante qui est confirmée par la forte proportion de diatomées halophiles (S. SERVANT, *opus cit.*). Les apports de la zone soudano-guinéenne diminuent.

Les causes du stade final de la régression sont plus claires. Une aridité assez importante s'installe dans la zone sahélienne ; il y a apparition de dépôts éoliens (M. SERVANT, 1973). Les apports méridionaux chutent brutalement à 2,70 m, en même temps que *Cyclotella ocellata*, diatomée de type tempéré, fait sa dernière apparition. La conséquence de cette vague de froid est le blocage du FIT à des latitudes très basses. Cette crise climatique vers 3 900 ans pourrait être comparable dans ses mécanismes à la sécheresse des années passées (H. H. LAMB, 1974, fig. 4). Cette phase aride a dû avoir des effets catastrophiques sur la végétation, les animaux et surtout les groupes humains qui s'étaient étendus sur le Sahara méridional depuis au moins 2 millénaires.

— La courbe de l'élément sahélien présente ensuite deux optimums qui doivent probablement être corrélés avec les deux optimums bien caractérisés par ailleurs dans le Sahara méridional entre env. 3 600-3 000 et 2 500-2 000 (P. ELOUARD, 1973). Lors du premier optimum, des étendues lacustres importantes ont existé dans le bassin du Tchad. Un lac à la cote 275 m env. (profondeur maximum 100 m env.) existait dans les Pays-Bas du Tchad. D'autres lacs existaient à travers le Ténére ; par exemple à Agadem il s'est déposé une couche de diatomite épaisse de 1 m, datée à la base de  $3\,550 \pm 110$  (M. SERVANT, 1973). L'important refroidissement qui a suivi (env. 3 000-2 500) a correspondu à une phase aride en zone sahélienne, mais à un regain des apports dans le Bahr el Ghazal (pic secondaire de l'élément soudano-guinéen à 2,10 m). Le second optimum a laissé quelques dépôts au Tchad, en particulier une couche de diatomite épaisse d'env. 20 cm près de Largeau, datée à la base de  $2\,500 \pm 110$  (M. SERVANT, 1973). Un bref refroidissement culmine ensuite de 300 à 600 A.D. env. Il a correspondu à une reprise de l'écoulement dans le Bahr el Ghazal, daté à la base de  $1\,760 \pm 105$  à Salal, correspondant à 250 A.D. en années calendaires. Cet écoulement doit sans doute être rattaché au pic secondaire de l'élément soudano-guinéen à 1,50 m. L'aridité régnant alors en zone sahélienne peut être la cause principale de la décadence de la civilisation Méroïtique au Soudan.

## VI. — CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CHANGEMENTS POLITIQUES (4)

L'alternance entre les optimums en zone sahélienne et ceux en zone soudano-guinéenne a dû toujours avoir une grande influence, non seulement sur la végétation et la faune, mais aussi sur les différents groupements humains et civilisations qui se sont développés sur la bordure sud du Sahara.

L'optimum sahélien s'étendant du IV<sup>e</sup> s. B.C. jusqu'au I<sup>er</sup> s. A.D. n'est certainement pas étranger à la renaissance de la civilisation Méroïtique après une première éclipse située approximativement au V<sup>e</sup> s. B.C. (W. ADAMS, 1964, p. 116). Le refroidissement qui va en s'accroissant après le début de notre ère, entraîne une aridité progressive de la zone sahélienne. La fin de cette civilisation africaine se situe au cours du III<sup>e</sup> s. A.D. et sa capitale Méroë, qui se trouve actuellement sous environ 100 mm de pluie par an, est soumise définitivement vers 350 A.D. par les Axumites du Plateau Ethiopien (P. SHINNIE, 1967). Ceux-ci vont à leur tour développer une brillante civilisation dont l'apogée se place du IV<sup>e</sup> au VI<sup>e</sup> s. A.D. (H. de CONTENSON, 1961). Nous avons ici un bon exemple de civilisations se juxtaposant assez exactement aux optimums climatiques de leur région.

L'extrémité occidentale de l'Afrique nous montre le même phénomène un peu plus tard. L'optimum sahélien de 600 à 1 200 A.D. environ (période de réchauffement ; W. DANSGAARD *et al.*, 1969, fig. 2, et H. N. MICHAEL *et al.*, 1974, fig. 1) correspond à l'épanouissement de l'Empire sahélien du Ghana. Après la prise de Ghana par les Almoravides en 1076 A.D., la région resta encore prospère au XII<sup>e</sup> siècle (N. LEVZION, 1973). Ensuite un refroidissement se situant approximativement de 1 200 à 1 300 A.D., a pu favoriser le passage

(4) Les dates sont données dans ce paragraphe en année calendaires.

du pouvoir à l'Empire du Mali, plus méridional dans son implantation. Le pouvoir passe ensuite entre les mains de l'Empire Songhay au cours d'un nouvel optimum sahélien qui commence au XIV<sup>e</sup> siècle et qui, après un fléchissement vers la fin du XV<sup>e</sup> s., se poursuit jusqu'à la fin du XVI<sup>e</sup> s. Si la chute de l'Empire Songhay est due à des facteurs politico-militaires, la conquête marocaine en 1591 (R. MAUNY, 1970), la décadence du pays peut avoir été principalement causée par un retour de l'aridité en zone sahélienne, coïncidant avec la phase de refroidissement maximum du Petit Age Glaciaire qui se situe approximativement au XVII<sup>e</sup> siècle.

## VII. — CONCLUSIONS : LE DÉPLACEMENT DE LA ZCIT

Le parallélisme au niveau des tendances entre la courbe de l'élément sahélien et l'évolution des températures sur l'Hémisphère Nord, montre que le déplacement de la ZCIT et son équilibre pluriannuel est modulé par l'évolution des températures. Comme l'a montré R. E. NEWELL (1973), plus le gradient thermique Pôle-Équateur est grand, moins la ZCIT remonte vers le Nord et vice versa. Cette relation doit exister à toutes les échelles de temps. De cette manière, il y a de nombreuses situations possibles.

a) *Gradient minimum* (exemple : 6 000-5 000 ans).

La ZCIT remonte régulièrement sur le Sahara méridional. La zone sahélienne s'étire vers le Nord. A ce moment, la zone soudano-guinéenne et surtout soudanienne sont encore bien arrosées car il est probable qu'à cette époque le flux de mousson devait être plus épais qu'actuellement.

b) *Gradient moyen* (exemple : actuel, 1920-1955).

NEWELL donne un gradient moyen annuel de 25 °C à 700 mb entre 20° et 70 °N. La ZCIT remonte régulièrement jusque vers le 20 °N (cf. J. DUBIEF, 1963, carte 2). La zone sahélienne est plus contractée, mais relativement bien arrosée. Les pluies en zone tropicale plus humide sont moyennes.

c) *Gradient en augmentation*. Léger refroidissement (exemple : 1955-1965).

Les pluies diminuent en zone sahélienne mais augmentent sur la zone soudano-guinéenne car la ZCIT y stationne plus longtemps chaque année (cf. J. MALEY, 1973, fig. 4, comparer les courbes 4 : Sahel et 8 : zone soudano-guinéenne).

d) *Gradient important* : refroidissement bien marqué (exemple : 7 500-7 000 ou Petit Age Glaciaire : 1 600-1 700 A.D. env.).

La ZCIT ne remonte pas sur la zone sahélienne qui devient aride, mais du fait peut-être de poussées de l'anticyclone austral de Sainte-Hélène (J. MALEY, 1973), la ZCIT remonte jusque sur la zone soudano-guinéenne et y déverse des pluies abondantes, provoquant une forte crue du lac Tchad.

Une variante de cette situation pourrait se concevoir avec des poussées australes faibles (exemple : env. 3 900 ou en 1972-73). La ZCIT ne remonte pas sur

la zone sahélienne et pas ou faiblement sur la zone soudano-guinéenne.

e) *Gradient maximum* : inlandsis sur l'Hémisphère Nord (exemple : maximum de la dernière glaciation vers 20 000-18 000).

NEWELL donne un gradient de 40 °C à 700 mb entre 20° et 70 °N pour cette époque.

La ZCIT reste bloquée toute l'année dans l'Hémisphère Sud (J. MALEY, 1976).

Le fait que les variations climatiques aux basses latitudes suivent étroitement les variations globales de la température permet maintenant de les rattacher aux variations de la radiation solaire reçue par le globe (J. MALEY, 1976), soit, à grande échelle, pour des causes astronomiques, soit, à plus petite échelle (millénaire, siècle, etc.), à la variation d'une partie du spectre solaire, pour l'ultraviolet par exemple, comme l'a suggéré H. C. WILLETT (1949).

Si les subtilités des variations climatiques aux basses latitudes suivent le gradient thermique Pôle-Équateur, une question importante reste encore en suspens. Par quel moyen, la circulation atmosphérique des basses latitudes répond-elle aux changements de température ? Schématiquement, la question pourrait se décomposer de la manière suivante (5) :

— La ZCIT est-elle poussée depuis l'Hémisphère Sud ? (P. PEDELABORDE, 1970 ; J. MALEY, 1973 ; L. DORIZE, 1974) ;

— Les cellules de Hadley ont-elles leur dynamisme propre pour entraîner le déplacement annuel de la ZCIT ? (J. KIDSON *et al.*, 1969 ; J. BJERKNES, 1969 ; etc.) ;

— Quelles sont les conditions nécessaires à l'augmentation des pluies sur la zone sahélienne ? Il apparaît bien maintenant que le petit optimum sahélien survenu depuis une cinquantaine d'années (H. H. LAMB, 1966, 1974 ; D. WINSTANLEY, 1973) soit associé à une *circulation zonale* sur l'Hémisphère Nord. Il est donc fort probable qu'il en a été de même pour tous les optimums sahéliens holocènes.

Les résultats présentés ici pourraient donner un premier élément de réponse qui résiderait dans le jeu parfois complémentaire ou parfois opposé des différents facteurs.

### Remerciements.

L'auteur tient à remercier M. VAN CAMPO, Directeur du Laboratoire de Palynologie de Montpellier, pour son soutien constant et son aide importante dans ces recherches, G. DELIBRIAS pour les datations au radiocarbone et M. SERVANT qui a fourni la plupart des échantillons. De fructueuses discussions ont eu lieu avec M. VAN CAMPO, Ph. GUINET, H. FAURE, P. ROGNON, R. MAUNY, J. DUBIEF, R. BONNEFILLE, S. SERVANT, L. DORIZE, P. COUR et R. GROS (Informatique). Pour la partie technique, l'auteur remercie G. VIGNARD, D. DUZER et J. Y. QUERO.

(5) Tous les aspects de la question sont exposés en détails dans P. PEDELABORDE, 1970.

## BIBLIOGRAPHIE.

- ADAMS W. Y. (1964). — Post-Pharaonic Nubia in the light of archaeology. *J. of Egypt. Arch.*, Londres, vol. 50, p. 102-120.
- ANDREWS J. T., IVES J. D. (1972). — Late and Postglacial events (10,000 B.P.) in eastern Canadian Arctic with particular reference to the Cockburn moraines and break-up of the Laurentide Ice sheet. In Y. Vasari, H. Hyvarinen and S. Hicks (editors), *Climatic changes in Arctic areas during the last ten-thousand years*. Acta Univ. Ouluensis, sér. A, n° 1, (Finlande), p. 148-174.
- BELL B. (1971). — The Dark Ages in Ancient History. I. The first Dark Age in Egypt. *Amer. J. Arch.*, 75, p. 1-26.
- BJERKNES J. (1969). — Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific. *Monthly Weather Rev.*, 97, (3), p. 163-172.
- CONTENSON H. de (1961). — Les principales étapes de l'Éthiopie antique. *Cahiers Et. Afr.*, 2 (1), n° 5, p. 12-23.
- COUR P. (1974). — Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16 (1), p. 103-141.
- COUR P., DUZER D. (1976). — Persistance d'un climat hyperaride au Sahara Central et Méridional au cours de l'Holocène. *Revue Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 18 (2-3), p. 175-198.
- DANSGAARD W., JOHNSEN S. J., MOLLER J., LANGWAY C. C. (1969). — One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland Ice sheet. *Science*, 166, p. 377-381.
- DORIZE L. (1974). — L'oscillation pluviométrique récente sur le bassin du lac Tchad et la circulation atmosphérique générale. *Revue Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 16 (4), p. 393-420.
- DUBIEF J. (1953). — Note sur l'évolution du climat Saharien au cours des derniers millénaires. Actes 4<sup>e</sup> Cong. INQUA, Rome. *Quaternaria*, 2, p. 848-851, publié en 1956.
- DUBIEF J. (1963). — Le climat du Sahara. L'eau atmosphérique au Sahara. *Mém. hors sér. Inst. Rech. Sahar. Inst. Alger*, t. II, fasc. I, 275 p.
- ELOUARD P. (1973). — Oscillations climatiques de l'Holocène à nos jours en Mauritanie atlantique et dans la vallée du Sénégal. Colloque de Nouakchott, *Les problèmes de la désertification au Sud du Sahara*, 21 p. ronéo.
- FAIRBRIDGE R. (1962). — World sea level and climatic changes. *Quaternaria*, 6, p. 111-134.
- JOHNSEN S. J., DANSGAARD W., CLAUSSEN H. B., LANGWAY C. C. (1972). — Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland Ice sheets. *Nature*, 235, p. 429-434.
- FAURE H. (1962). — Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. *Mém. B.R.G.M.*, 47, 630 p.
- FAURE H. (1966). — Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. *Quaternaria*, 8, p. 167-176.
- FAURE H. (1969). — Lacs quaternaires du Sahara. *Mitt. Intern. Verein. Limnol.*, Stuttgart, 17, p. 131-146.
- FAURE H., MANGUIN E., NYDAL R. (1963). — Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental. Diatomites et âges absolus. *Bull. B.R.G.M.*, 3, p. 41-63.
- KIDSON J. W., VINCENT D. G., NEWELL R. E. (1969). — Observational studies of the general circulation of the Tropics: long term mean values. *Quart. J.R. Met. Soc.*, 95, p. 258-287.
- 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.*, 132 (2), p. 183-212.
- LAMB H. H. (1974). — The current trend of world climate. A report on the early 1970's and a perspective. *Research Publi.*, 3, Univ. East Anglia, Climatic Res. Unit, 27 p. ronéo.
- LEVIZION N. (1973). — Ancient Ghana and Mali. *Studies in African History*, 7, 283 p., Methuen Edit.
- MALEY J. (1970). — Contributions à l'étude du Bassin Tchadien. Atlas de pollens du Tchad. *Bull. Jard. Bota. Nat. Belg.*, 40 (1), p. 29-48.
- MALEY J. (1972). — La sédimentation pollinique actuelle dans la zone du lac Tchad (Afrique Centrale). *Pollen et Spores*, 14 (3), p. 263-307.
- MALEY J. (1973). — Mécanisme des changements climatiques aux basses latitudes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleocol.*, 14 (3), p. 193-227.
- MALEY J. (1976). — Essai sur le rôle de la zone tropicale dans les changements climatiques; l'exemple africain. *C.R. Acad. Sci., Paris*, D, 283, p. 337-340.
- MALEY J., COHEN J., FAURE H., ROGNON P., VINCENT P. M. (1970). — Quelques formations lacustres et fluviales associées à différentes phases du volcanisme au Tibesti. *Cahiers O.R.S.T.O.M., sér. Géologie*, 2 (1), p. 127-152.
- MARTIN R. (1973). — Rapport préliminaire de mission (mars-mai 1973). *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 4 p. dact. et 5 fig.
- MAUNY R. (1970). — Les siècles obscurs de l'Afrique Noire. *Fayard Edit., Paris*, 314 p.
- MESSERLI B. (1972). — Formen und Formungsprozesse in der Hochgebirgsregion des Tibesti. *Hochgebirgsforschung, Univ. Innsb.-München Publ.*, 2, p. 23-86.
- MICHAEL H. N., RALPH E. K. (1974). — (Bristlecone Pine calibration curves). *Radiocarbon*, 16 (2), p. 198-218.
- MICHEL P. (1973). — Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. *Mém. Off. Rech. sci. techn. Omer*, Paris, n° 63, 3 t., 752 p.
- MORNER N. (1969). — Eustatic and climatic changes during the last 15,000 years. *Geologie en Mijnbouw*, 48 (4), p. 389-399.
- NEWELL R. E. (1973). — Climate and the Galapagos Islands. *Nature*, 245, p. 91-92.
- PATZELT G. (1974). — Holocene variations of Glaciers in the Alps. *Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène*, C.N.R.S. édit., Paris, p. 51-59.
- PEDELABORDE P. (1970). — Les moussons. A. Colin édit., sér. U2, 221 p.
- RAYNAUD D., LORIUS C. (1973). — Climatic implications of total gas content in ice at Camp Century. *Nature*, 243, p. 283-284.
- ROGNON P. (1976). — Les oscillations du climat saharien depuis 40 millénaires. Introduction à un vieux débat. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 18 (2-3), p. 147-156.
- ROGNON P. (1976). — Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40 000 ans. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 18 (2-3), p. 251-282.
- SERVANT M., SERVANT S. (1970). — Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 12 (1), p. 63-76.
- SERVANT M. (1973). — Séquences continentales et variations climatiques : évolution du Bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *Thèse Sc., Paris*, 348 p.
- SERVANT M. (1974). — Les variations climatiques des régions intertropicales du Continent africain depuis la fin du Pléistocène. *Soc. Hydrotechn. France, XIII<sup>e</sup> J. Hydraulique, Paris*, 1 (8), 11 p.
- SERVANT S. (1970). — Répartition des diatomées dans les séquences lacustres holocènes au nord-est du lac Tchad. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Géologie*, Paris, 2 (1), p. 115-126.
- SERVANT M., SERVANT S., CARMOUZE J.-P., FONTES J.-C., MALEY J. (1976). — Paléolimnologie des lacs du Quaternaire récent du bassin du Tchad. Interprétations paléoclimatologiques. *II<sup>e</sup> Int. Symp. Paleolimnology, Pologne*, 23 p.
- SHINNETT P. L. (1967). — Meroë, a civilisation of the Sudan. *Thames and Hudson Edit.*, Londres, 229 p.
- Suess H. E. (1971). — Climatic changes and the atmospheric radiocarbon level. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleocol.*, 10, p. 199-202.
- TERS M. (1973). — Les variations du niveau marin depuis 10 000 ans le long du littoral Atlantique français. Le Quaternaire, 9<sup>e</sup> Congrès INQUA, *Suppl. Bull. Ass. Fr. Et. Quat.*, 36, p. 114-135.
- VAN CAMPO M. (1975). — Pollen analyses in the Sahara. F. Wendorf and A. E. Marks (edit.), *Problems in Prehistory: North Africa and the Levant*. Southern Methodist Univ. Press, Dallas, p. 45-64.
- WILLET H. C. (1949). — Solar variability as a factor in the fluctuations of climate during geological time. *Geogra. Ann.*, 31, p. 295-315.
- WINSTANLEY D. (1973). — Rainfall patterns and general Atmospheric circulation. *Nature*, 245, p. 190-194.