MALEY

ANALYSES POLLINIQUES PRELIMINAIRES DU QUATERNAIRE RECENT DE L'OUEST CAMEROUN : MISE EN EVIDENCE DE REFUGES FORESTIERS ET DISCUSSION DES PROBLEMES PALEOCLIMATIQUES

par

JEAN MALEY* et PATRICE BRENAC*

* Laboratoire de Palynologie, ORSTOM (103) et Institut des Sciences de l'Evolution (UA 327 CNRS), Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier Cedex (France).

Résumé. Des analyses polliniques ont été effectuées sur des sédiments lacustres de l'Ouest Cameroun datés de l'Actuel à environ 25000 ans BP. Les résultats préliminaires montrent que le milieu forestier a toujours subsisté et que dans la partie inférieure du sondage l'environnement était de type montagnard et donc avec un climat plus frais. Ces données polliniques, comparées à celles d'un autre site forestier ouest-africain (le lac Bosumtwi au Ghana), ainsi que la grande richesse floristique actuelle de l'Ouest Cameroun, font conclure à la présence de refuges forestiers dans cette région durant les phases arides du Quaternaire récent. Les problèmes paléoclimatiques posés par la fragmentation de la forêt dense humide sont abordés. Des exemples actuels d'extensions localisées de biotopes montagnards à basse altitude sont décrits. Ces modèles actuels sont dus à la persistance de couvertures nuageuses, particulièrement de nuages stratiformes générés par les *upwellings* qui amplifient le signal des alizés sur l'Atlantique équatorial. C'est pourquoi l'abaissement de la température de surface de la mer apparaît être la cause première des changements climatiques et de végétation survenus sur l'Afrique tropicale humide.

Abstract. Pollen analyses were carried out on West Cameroun lacustrine sediments extending from present day to ca. 25,000 years BP. Preliminary results show the permanence of forest biotopes and, in the lower part of the core, a montane environment, indicating therefore a cooler climate. These pollen data, compared with those of one other site in west african rain forest (Bosumtwi lake in Ghana), in addition to the present great floristic variety of West Cameroun, suggest that forest refugia were present in this region during Late Quaternary arid phases. The paleoclimatic problems raised by the rain forest fragmentation are considered. Some present-day localized extensions to low altitudes of montane biotopes are described. Such extensions result from persistent cloud covers, particularly stratiform clouds generated by the upwellings which amplify the effect of the trade winds on the equatorial Atlantic. Therefore the lowering of sea surface temperature appears to be the primary cause of climate and vegetation changes on humid tropical Africa.

MOTS-CLES : POLLEN, QUATERNAIRE, AFRIQUE EQUATORIALE, FORET, REFUGES.

Mém. Trav. E.P.H.E., Inst. Montpellier, 17, p. 129 - 142, 2 fig., 1 tabl., 1987.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 32048
Cote : B

MALEY

INTRODUCTION

L'association de l'ORSTOM, représenté par J. Maley, et de l'équipe du Professeur D.A. Livingstone avec G. Kling et C. Stager du Département de Zoologie de l'Université de Duke aux Etats-Unis, s'est effectuée sous la tutelle du MESRES (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique) et de l'ISH (Institut des Sciences Humaines) du Cameroun, pour réaliser un programme de recherches sur les paléoenvironnements de l'Ouest Cameroun au Quaternaire récent (Livingstone, 1985 ; Maley, 1985). Ce programme, outre la Palynologie et la Paléoclimatologie, comportera des études de Limnologie, Stratigraphie, Sédimentologie, Paléomagnétisme, Géochimie isotopique (oxygène, carbone et beryllium).

Les sédiments lacustres, de par leur stratification régulière, sont des matériaux de choix pour l'étude des paléoenvironnements car ils contiennent, sous diverses formes, des enregistrements de nombreux paramètres concernant le milieu lacustre, la végétation environnante et les conditions climatiques locales et régionales.

LE LAC BAROMBI-MBO

Le premier site de carottage choisi a été le lac Barombi-Mbo (fig. 1) qui est situé dans les forêts denses humides de l'Ouest Cameroun, près de la ville de Kumba, à environ 60 km au nord-nord-est du Mont Cameroun. Avec un plan d'eau à l'altitude de 301 m, le lac a un diamètre d'environ 2 km pour une profondeur maximum de 110 m. Le niveau du lac est stabilisé par un déversoir naturel qui a taillé une gorge subverticale dans le flanc sud-est du cratère. Il s'agit d'un cratère d'explosion creusé dans la Série Noire Supérieure basaltique et qui a pénétré dans le socle cristallin sous-jacent (voir la carte géologique : J.-C. Dumort, 1968). Ce cratère fait partie d'une série de trois cratères d'explosion emboîtés d'Ouest en Est, du plus ancien au plus récent. Une coulée basaltique, recoupée par l'explosion du cratère le plus récent, a été datée de -2,6 $\pm$ 0,2 Ma, tandis qu'une autre coulée, semblant contemporaine de l'explosion qui a formé le lac, a été datée de -1,1 Ma, ce qui siginifie que le lac est d'âge quaternaire (datation : Y. Bandet, Toulouse).

Les sédiments de la zone profonde du lac sont de type argileux et toujours très laminés. On observe communément (P. Giresse, communication personnelle) des séquences sédimentaires de quelques millimètres à quelques centimètres avec, à la base, une lamination noirâtre composée surtout d'apports finement détritiques (débris végétaux, mica, spicules de spongiaires). La séquence se termine par une série de laminations très fines, plus argileuses, grises à bleutées. Vers le sommet de la séquence se développe fréquemment une lamination jaunâtre constituée par de la sidérite (carbonate de fer). Cette séquence pourrait correspondre à un cycle d'apports terrigènes suivi d'une phase de décantation.

Quatre datations au radiocarbone ont déjà été obtenues sur la plus longue carotte BM6 qui est composée de huit tubes de trois mètres chacun, allant de BM6-2 vers le haut (le tube BM6-1 n'a pas pénétré dans le sédiment) à BM6-9 à la base. Les datations ont été effectuées sur le carbone total par M. Fournier au Laboratoire de Géochronologie de l'ORSTOM à Bondy. La position des échantillons est indiquée pour chaque tube de 0 à 300 cm en partant du bas.

BM6-6 (81-87) : 13170 $\pm$ 250 ans BP
BM6-8 (172-186) : 20420 $\pm$ 340 ans BP
BM6-9 (240-252) : 24080 $\pm$ 1180 ans BP
BM6-9 (33-38) : 22030 (+ 2920, - 2140) ans BP

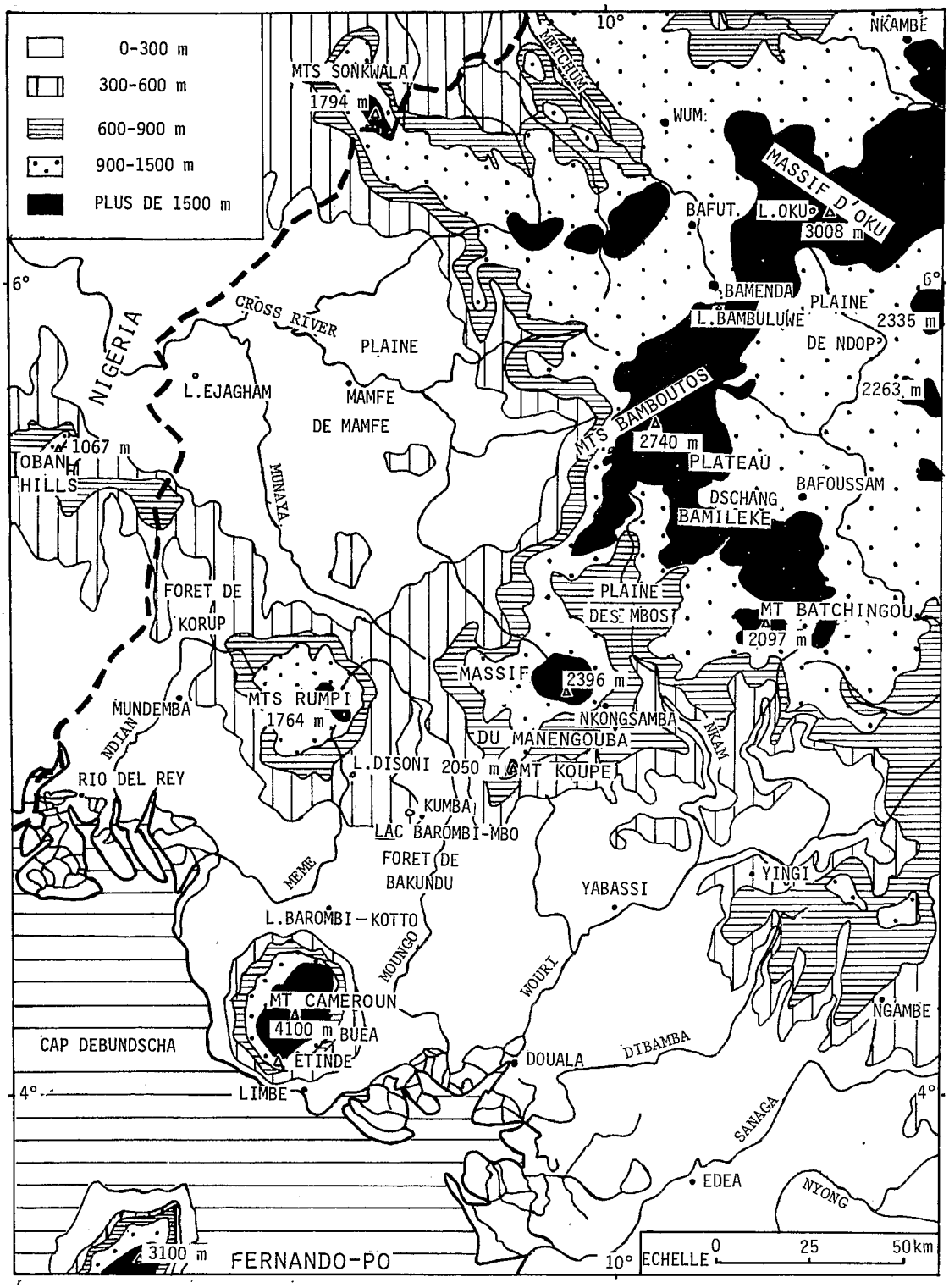


Fig. 1. L'Ouest Cameroun, croquis topographique et situation du lac Barombi-Mbo (adapté de J.B. Suchel, 1972).

La datation de 22030 (+ 2920, - 2140) obtenue vers la base de la carotte se situe sous un large slumping qui se termine juste sous l'échantillon daté de 24080 ± 1180 ans BP, ce qui pose des problèmes stratigraphiques qui ne peuvent être entièrement résolus dans l'état actuel des recherches. En tenant compte seulement des trois autres datations, on peut calculer pour la fin du Pléistocène une vitesse de sédimentation de 64 à 69 cm en 1000 ans, ce qui est tout à fait comparable avec la vitesse calculée au lac Bosumtwi pour la même période : 66 cm en 1000 ans (Talbot *et al.*, 1984).

Avec BM6 plusieurs autres carottes ont été prélevées dans la zone centrale du lac. Sur la carotte BM4, J.-F. Saliège (Univ. Paris 7) a obtenu un âge de 25000 ans BP avec une marge d'erreur de 1 σ vers -18 m à la base du dernier tube (BM4-7). Sur la carotte BM3, un échantillon vers -6 m a donné un âge de 3340 ± 90 ans BP (D.A. Livingstone, communication personnelle).

LES FORMATIONS VEGETALES

Les formations végétales du Sud et de l'Ouest Cameroun (fig. 2) se développent sous un climat équatorial (Letouzey, 1968 ; Suchel, 1972). La pluviométrie moyenne annuelle est de 2364 mm à Kumba avec deux mois relativement secs (< 50 mm en Décembre et Janvier ; Suchel, 1972). La région de Kumba appartient au domaine des forêts denses humides de plaine. Dans un rayon de 5 à 10 km, deux formations principales se partagent cette région (Richards, 1963a ; Letouzey, 1968 ; Thomas, 1985).

I. LA FORET BIAFREENNE SEMPERVIRENTE.

La forêt biafréenne sempervirente est une variante régionale de la grande forêt guinéenne et congolaise. Elle s'étend près de la Baie de Biafra, de l'est du Nigéria au fleuve Sanaga et vers le Sud vers la frontière de la Guinée Equatoriale (White, 1983). La forêt biafréenne est caractérisée en premier lieu par sa richesse en Légumineuses, surtout des Caesalpinioideae (Letouzey, 1968).

II. LA FORET SEMI - CADUCIFOLIEE.

La forêt semi-caducifoliée est caractérisée par l'importance des Sterculiaceae et des Ulmaceae. Dans la région de Kumba, la forêt biafréenne paraît dominer largement car la forêt semi-caducifoliée n'est présente que par petits ilôts (Letouzey, 1968).

P.W. Richards (1963a), ayant étudié la végétation de la Réserve Forestière de Bakundu qui s'étend au sud de Kumba jusqu'au pied nord du Mont Cameroun, note que cette forêt de type biafréen " *is floristically richer than any other African rain forest for which comparable figures are available*" . Cette richesse se marque en particulier par la présence d'endémiques. On peut ainsi citer la découverte dans ces forêts et à l'Est jusque vers la Sanaga, d'un genre endémique, Medusandra (Brenan, 19852 ; Letouzey & Satabié, 1974) pour lequel fut créée une famille (Medusandraceae) et même un ordre nouveau (Médusandrales). Cette richesse est une preuve de l'ancienneté relative de ces forêts, et suivant P.W. Richards (1963a), "*could be explained by assuming that they were a refuge area in which a rainforest flora survived during a episode of arid climate*".

III. ILOTS DE SAVANNE.

En s'éloignant de Kumba, dans un rayon de 30 à 40 km, on rencontre d'autres formations végétales, dont une assez inattendue au pied nord du Mont Cameroun. En effet, cinq ou six ilôts de savanes faiblement arbustives s'y observent, représentant au total quelques centaines d'hectares (Letouzey, 1978). De nombreux rôniers (*Borassus aethiopum*) bien développés parsèment ces savanes qui sont probablement rélictuelles et qui résultent en particulier d'un effet d'abri sous le vent du Mont Cameroun. Au pied nord et nord-est du Mont Cameroun, de Barombi-Kotto à Muyuka, la pluviométrie tombe en-dessous de 2000 mm par an (Eisentraut, 1963 ; Suchel, 1980). Des ilôts de forêts semi-caducifoliées existent aussi au contact de ces savanes (Letouzey, 1978).

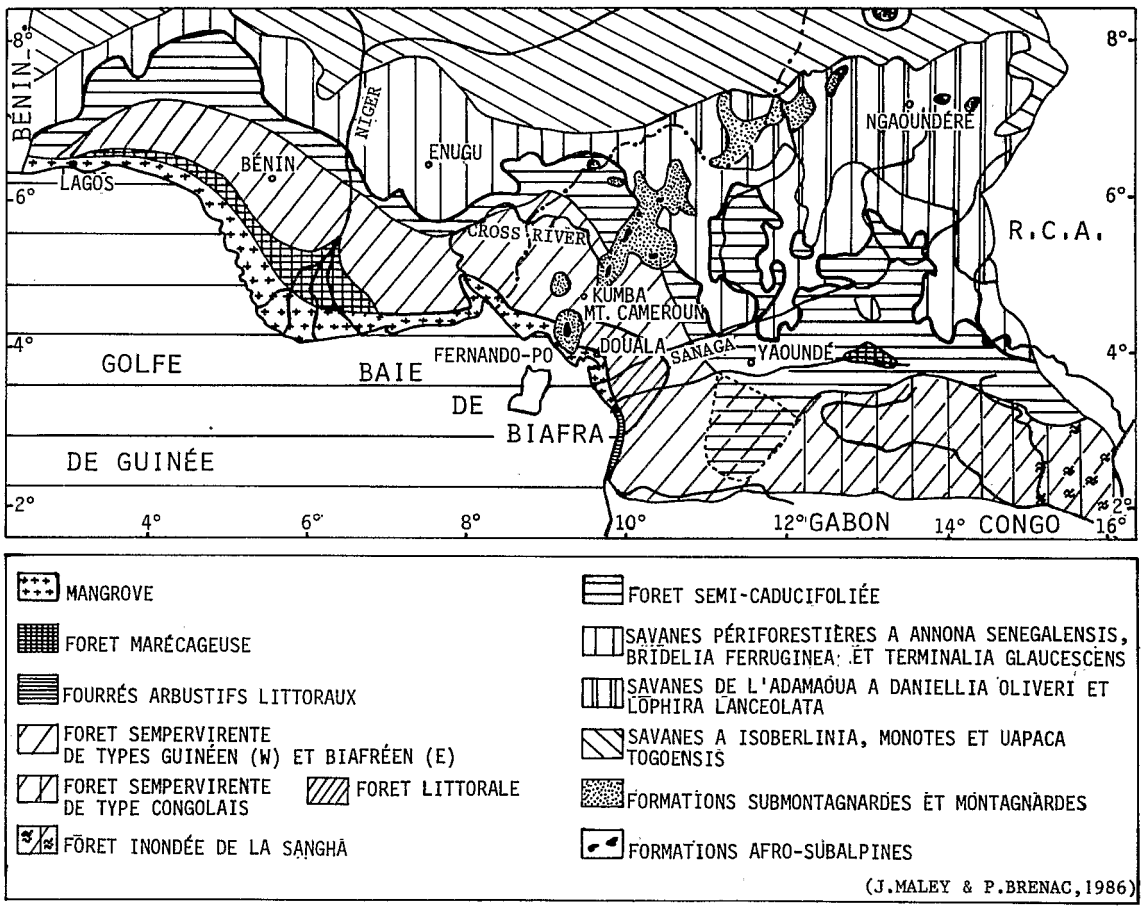


Fig. 2. Schéma de la végétation dans le sud du Cameroun et du Nigéria adapté de R. Letouzey (1968) et R.W. Keay (1953).

IV. LES FORMATIONS MONTAGNARDES.

Des formations montagnardes se rencontrent au sud de Kumba sur le Mont Cameroun (4095 m), à l'Ouest sur les Rumpi Hills (1764 m) et au Nord-Est sur le Mont Koupé (2050 m) puis sur le Massif du Manengouba (2400 m). On distingue d'une part des forêts montagnardes qui apparaissent en général dès 800-1000 m d'altitude, en s'étendant suivant les points jusqu'à 2300-2800 m (Richards, 1963b ; Letouzey, 1968 ; Thomas, 1985). Au-dessus de ces forêts s'étendent des prairies montagnardes qui sont surtout bien développées au Mont Cameroun. Le passage de

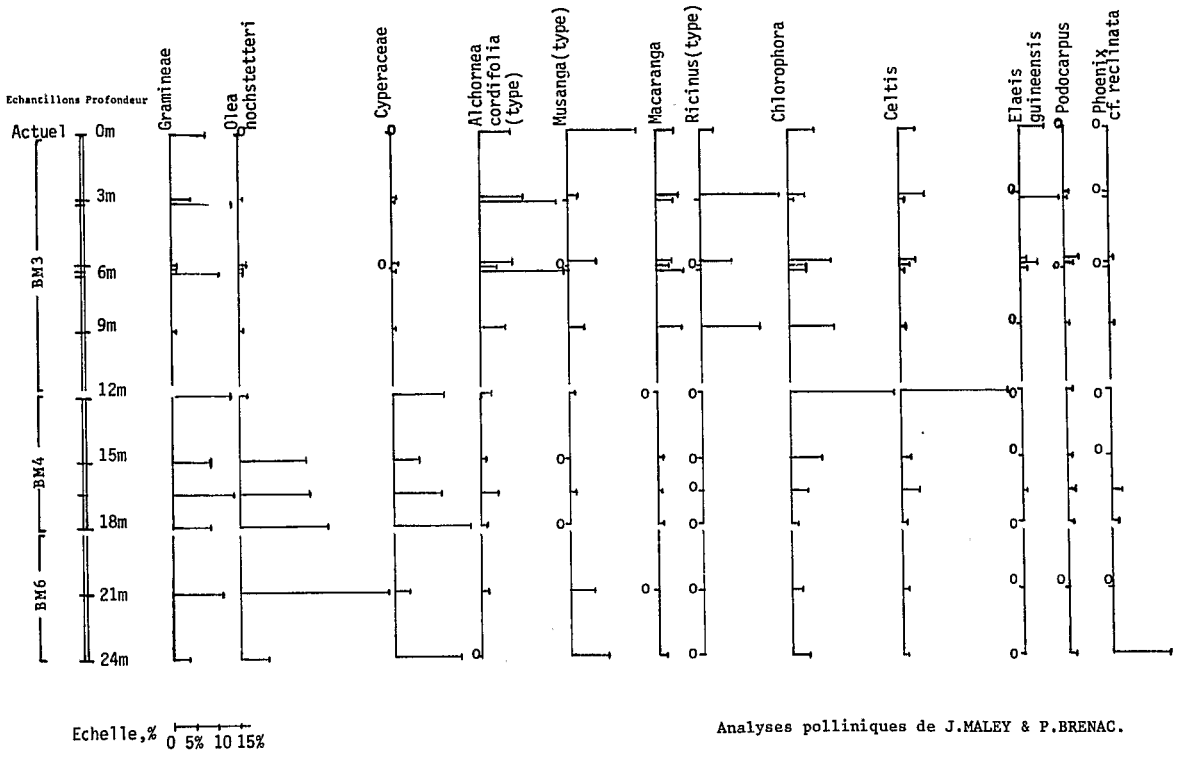
la forêt à la prairie y est souvent très net du fait des feux qui parcourent fréquemment cette dernière. Il subsiste toutefois de nombreux bouquets d'arbres ou d'arbustes isolés dans la partie inférieure de la prairie, parmi lesquels se rencontrent deux Ericaceae, ce qui conduit A.S. Boughey (1955), par comparaison avec l'Afrique orientale, à parler ici d'une Zone à Ericaceae. Le tapis herbacé renferme de nombreux orophytes dont certains sont à affinité tempérée. Floristiquement la partie inférieure de la prairie est une des formations les plus riches de ce massif, ce qui tend à montrer qu'elle est ancienne et bien adaptée aux feux (Boughey, 1955 ; Richards, 1963b).

ANALYSES POLLINIQUES

Des analyses polliniques (tabl. 1) ont été effectuées sur treize échantillons venant de trois carottes différentes prélevées dans la zone centrale du lac : entre 0 et -12 m, huit échantillons prélevés sur la carotte BM3 ; entre -12 et -18 m sur BM4 ; entre -18 et -24 m sur BM6. Les raccords stratigraphiques ont été faits par la profondeur des échantillons. Etant donné les problèmes soulevés actuellement par les datations, il est nécessaire de prendre ces premiers résultats suivant les ensembles polliniques décrits ci-dessous.

Pour l'ensemble des échantillons de l'Actuel à -24 m, les pourcentages de pollens de Gramineae sont relativement faibles, compris entre 7 et 14 % (Actuel : 7 %). D'une manière générale l'importance relative des pollens de Gramineae dans les spectres polliniques est un bon indice de l'ouverture du paysage, comme cela apparaît en zone tropicale sèche africaine (Maley, 1981). Ainsi, considérant que la quasi totalité des autres palynomorphes appartiennent à des taxons arborés - à l'exception des spores de Ptéridophytes qui peuvent être soit des épiphytes, soit pousser en sous-bois ou près des lieux humides - on peut conclure que durant les périodes étudiées, l'environnement est demeuré forestier avec une augmentation des clairières par chablis pour les pourcentages les plus élevés. Le botaniste D.W. Thomas (communication personnelle) a remarqué que sur les pentes abruptes du cratère tournées vers le lac, les chablis avaient tendance à être plus fréquents que sur la forêt voisine à sol peu incliné. Ce phénomène tend ainsi à favoriser la persistance d'espèces pionnières et d'espèces des végétations secondaire et primaire de type héliophile (Schnell, 1976 ; Thomas, 1985).

La partie supérieure du sondage (0 à -9 m) voit une grande extension des espèces pionnières (*Alchornea* type *cordifolia, Macaranga, Musanga, Chlorophora, Tetrorchidium,* ...) en relation probable avec la formation de chablis. Ce phénomène, s'il est facilité par les pentes abruptes, est aussi probablement sous la dépendance du climat, c'est-à-dire de l'effet érosif des pluies orageuses liées aux "lignes de grains" (Maley, 1981 et 1982). A ce propos on peut remarquer que dans la partie inférieure du sondage, entre -15 et -24 m, la faible représentation de ces taxons correspond à une phase climatique plus fraîche avec généralement des pluies non-orageuses (Maley, 1981 et 1982). Des taxons de la "forêt primaire" se rencontrent aussi fréquemment dans ces niveaux : *Antiaris, Canarium, Entandophragma, Hymenostegia, Klainedoxa gabonensis, Piptadeniastrum africanum, Uapaca, Celtis, Triplochiton, Drypetes,* Sapotaceae, ... Entre l'Actuel et -6 m on observe une certaine extension d'*Elaeis guineensis,* avec un maximum de 9 % de pollen vers -3 m, ce qui est à comparer aux 6 % actuels. A ce propos on peut rappeler que R. Letouzey (1978) a décrit d'importantes populations naturelles de ce palmier dans la zone forestière semi-caducifoliée de l'Ouest Cameroun. Enfin il faut noter que parmi les différents types de pollens abondant entre 0 et -9 m, l'un d'eux a été déterminé comme *Ricinus.* Cette plante, indigène en Afrique, se présente à l'état sauvage comme un arbuste pouvant atteindre jusqu'à 9 m de haut (Dalziel, 1937) ; son extension entre 0 et -9 m semble montrer qu'elle appartient au cortège des espèces forestières pionnières.



Tabl. 1. Diagramme pollinique simplifié des sédiments du lac Barombi-Mbo.

L'échantillon de -12 m est caractérisé par un pourcentage élevé (24 %) du pollen de *Celtis* qui est un taxon typique de la forêt semi-caducifoliée. *Chlorophora* qui présente aussi un fort pourcentage de 23 % est un taxon arboré fréquent aussi dans ce type de forêt (Letouzey, 1968). Ce niveau indiquant donc une extension de la forêt semi-caducifoliée se situerait vers le Pléistocène terminal. En même temps, on note un accroissement du pourcentage des pollens de Cyperaceae, ce qui pourrait indiquer une extension de la végétation aquatique en rapport peut-être avec un certain abaissement du niveau lacustre.

La partie inférieure du sondage, entre -15 et -24 m, est nettement caractérisée par l'extension de l'arbre montagnard *Olea hochstetteri* dont la fréquence des pollens est de 15 % à -15 m, 16 % à -16,5 m, 20,5 % à -18 m, 33,5 % à -21 m, 6 % à -24 m. Dans la partie supérieure du sondage, les pollens de ce taxon sont en très faible quantité et ils sont absents dans l'échantillon actuel. L'Olivier montagnard *Olea hochstetteri* est présent actuellement au Mont Cameroun et plus au Nord sur la Dorsale Camerounaise (Letouzey, 1968). Sa densité actuelle relativement faible explique sans doute son absence du spectre pollinique de surface. Le niveau -24 m présente quelques autres espèces montagnardes comme *Polyscias fulva* et *Stephania abyssinica,* ainsi que 12 % du pollen de *Phoenix reclinata* qui est un palmier souvent associé en altitude avec *Olea hochstetteri* (Letouzey, 1978). L'extension de ces taxons entre -15 et -24 m indique donc un milieu forestier de type montagnard dans un environnement plus frais qu'actuellement. Dans la partie inférieure du sondage, les pourcentages parfois importants de pollens de Cyperaceae (17 % à -18 m et 15 % à

-24 m) pourraient indiquer aussi un niveau lacustre un peu plus bas que l'actuel, car ces plantes caractérisent surtout les milieux marécageux. Vu le climat plus frais, donc moins évaporant, on pourrait conclure à une pluviosité inférieure à celle de l'époque actuelle. Cette hypothèse devra être confrontée aux résultats des diverses études géologiques actuellement programmées.

En conclusion de ces résultats polliniques, il faut tout d'abord rappeler que, plus à l'Ouest, au Ghana, J. Maley & D.A. Livingstone (1983) avaient conclu aussi à un climat de type montagnard durant le Pléistocène supérieur dans la région du lac Bosumtwi, impliquant un abaissement de la température moyenne de 2 à 3 °C au minimum. Ce climat plus frais a perduré de la base du sondage située vers 28000 ans BP jusque vers 9000 ans BP. De plus, ce climat plus frais s'est accompagné d'une élimination de la forêt dense planitiaire, remplacée à partir d'environ 25000 ans BP par une prairie de type montagnard comportant des bouquets d'arbres épars. Par contre, la base de la carotte vers 27 à 28000 ans BP, avec environ 52 % de pollens d'arbres dont 17 % de celui d'*Olea hochstetteri* (Maley, en préparation), a vu l'extension d'un faciès montagnard nettement plus forestier. Les phénomènes ont été différents dans l'Ouest Cameroun car au Barombi-Mbo le climat frais s'est achevé plus tôt, et de plus, les faciès forestiers, avec des fluctuations, ont persisté tout au long du sondage. Ainsi les données polliniques du Barombi-Mbo paraissent bien confirmer l'hypothèse de P.W. Richards (1963b) suivant laquelle la région de Kumba et probablement une partie de l'Ouest Cameroun jusque vers la Sanaga a pu fonctionner comme refuge forestier au cours du Quaternaire récent.

L'EXTENSION DES CONDITIONS MONTAGNARDES EN AFRIQUE TROPICALE DURANT LE QUATERNAIRE

I. LE PROBLEME CLIMATIQUE ET PALEOCLIMATIQUE.

L'abaissement de la température impliqué par l'extension des conditions montagnardes à basse altitude pose un problème d'ordre climatique, particulièrement par le fait que ce phénomène s'est poursuivi en Afrique de l'Ouest jusqu'à environ 9000 ans BP, à une époque qui a correspondu à un fort réchauffement à des latitudes plus hautes des deux hémisphères. Afin d'expliquer cette disparité latitudinale, il était donc nécessaire de faire intervenir un mécanisme ayant opéré seulement sur toute ou partie de l 'Afrique tropicale. L'explication retenue par J. Maley & D.A. Livingstone (1983) et J. Maley (1984 et 1985), reprenant des idées exposées précédemment (Maley, 1981 et 1982), fait appel à des couvertures nuageuses persistantes de type stratiforme dont l'effet sur l'abaissement de la température est bien prouvé (Drochon, 1976 ; Herman & Johnson, 1980 ; Slingo, 1980 ; Crane & Barry, 1984).

Pour essayer de mieux comprendre comment ce phénomène pourrait rendre compte de l'abaissement de la température au Pléistocène supérieur, en particulier dans la zone occupée actuellement par la forêt dense, on peut en premier lieu faire observer que l'augmentation de la température à plus haute latitude, en accroissant l'évaporation, a fourni plus d'air humide aux zones sources de la mousson, ce qui finalement est un facteur favorable à la formation des nuages sur l'Afrique tropicale. Ensuite, il est nécessaire de rappeler les principales caractéristiques climatiques des biotopes montagnards. Ces biotopes qui sont situés généralement au-dessus de 1000 m présentent, en comparaison des biotopes planitiaires (Scaetta, 1934 et 1937 ; Grubb & Whitmore, 1966 ; Grubb, 1971, 1974 et 1977) :

- des températures relativement basses,
- des couvertures nuageuses et des brouillards persistants,
- des pluies essentiellement non orageuses.

Lorsqu'on examine l'évolution climatique annuelle en zone forestière ouest-africaine (Drochon, 1976), on constate que la présence de couvertures nuageuses persistantes, de pluies non orageuses et des températures de l'air les plus basses, se produisent en même temps au cours du cycle annuel et sont très nettement associées aux périodes de refroidissement de la surface de la mer, phénomène dû aux remontées d'eaux froides (=*upwellings*) dans le Golfe de Guinée. En effet ,actuellement, c'est durant les mois de l'année (Août et Septembre) où les *upwellings* sont les plus intenses (Merle, 1980) que les couvertures nuageuses sont à leur maximum et que la température de l'air est à son minimum annuel (Drochon, 1976). Or la reconstitution des températures océaniques par les assemblages de foraminifères et de radiolaires montrent bien que vers 18000 ans BP les *upwellings* équatoriaux, à peu près sans changement dans leur position, étaient très intenses en été dans le Golfe de Guinée *s.l.*, puisque la température des eaux de surface était alors inférieure à l'actuelle de 4 à 8 °C (Prell *et al.*, 1976 ; Morley & Hays, 1979). De plus, W.L. Prell *et al.* (1976) ont montré que même durant l'hiver boréal qui est actuellement la saison aux eaux les plus chaudes, la température des eaux était encore de 3 °C inférieure à l'actuelle. De ce fait, il apparaît que les remontées d'eaux froides devaient alors durer une grande partie de l'année, entraînant sur le continent voisin, par l'intermédiaire des nuages stratiformes, un abaissement de la température ainsi qu'une forte diminution des pluies. Actuellement les fluctuations interannuelles des différents *upwellings* (côtiers, équatoriaux, courants de Benguela, ...) sont synchrones d'un point à l'autre du Golfe de Guinée *s.l.* (Merle, 1980), ce qui conduit à penser que durant le Quaternaire l'ampleur du phénomène devait avoir un impact renforcé sur le continent africain. Les océanographes ayant montré récemment (Servain *et al.*, 1982 ; Picaut, 1983) que c'est le renforcement des alizés sur l'Atlantique équatorial, particulièrement dans son secteur ouest, qui déclenche les *upwellings* dans le Golfe de Guinée, on peut donc relier la variation des alizés au cours du Quaternaire aux phénomènes climatiques discutés ici.

I I. LES MODELES ACTUELS.

En Afrique tropicale il existe actuellement quelques régions très limitées où l'on observe un abaissement des biotopes montagnards à basse altitude. En effet, considérant par exemple la façade atlantique de l'Afrique, on peut citer comme premier exemple les collines de Freetown en Sierra Leone ; elles dominent la mer en culminant vers 900 m. Dès 500 m d'altitude elles supportent tout un cortège de plantes montagnardes (Morton, 1968) dont par exemple *Olea hochstetteri* (Hepper, 1963). Plus à l'Est, sur le flanc sud du Mont Cameroun, face à la mer, des arbres (Thomas, 1985) et des oiseaux (Serle, 1964) typiquement montagnards apparaissent dès 500 m d'altitude. Plus au Sud, sur l'Escarpement Angolais qui fait face à la mer en s'élevant jusqu'au rebord du Plateau situé entre 1000 et 2000 m d'altitude, les botanistes indiquent que les conditions montagnardes apparaissent dès 200 à 300 m (Exell & Mendonca, 1937 ; Airy-Shaw, 1947). Tous ces faits montrent qu'on est en présence d'un phénomène écologique non fortuit qui étend à basse altitude les conditions climatiques - essentiellement la température - qu'on trouve habituellement sur les montagnes à partir de 1000 à 1500 m.

La plupart des auteurs qui ont constaté ce phénomène l'ont rattaché à la persistance des couvertures nuageuses et des brouillards qui sont particulièrement fréquents sur les reliefs face à la mer (Serle, 1964 ; Moreau, 1966). Ces exemples qui correspondent en fait à des modèles actuels d'extension à basse altitude de biotopes montagnards sont très importants pour les explications formulées ci-dessus. Le modèle de l'Escarpement Angolais est particulièrement précieux ici car les botanistes (Exell & Mendoca, 1937 ; Airy-Shaw, 1947) ont montré que l'abondance des couvertures nuageuses dépendait directement des nuages bas venant de la mer où circule le courant froid de Benguela. O. Hoflich (1972) a montré comment ce courant froid engendre un épais manteau de nuages stratiformes qui ont une grande influence sur le climat du continent voisin en y

réduisant les pluies et en y abaissant la température.

On a donc ici une confirmation du rôle fondamental joué par la variation des *upwellings* dans le Golfe de Guinée *s.l.* au cours du Quaternaire pour expliquer les vicissitudes des végétations de l'Afrique tropicale humide. Les variations interannuelles et séculaires des *upwellings,* liées à celles des alizés, peuvent être extrêmement brusques et donc provoquer sur le continent des changements climatiques abrupts (Flohn, 1982), ce qui rend très bien compte, par exemple, du passage en moins d'un millénaire, au début de l'Holocène, de la prairie montagnarde à la forêt dense humide dans le sud du Ghana (Maley & Livingstone, 1983).

LE PROBLEME DES REFUGES FORESTIERS

D'un point de vue physionomique, il existe deux grands types de formations montagnardes, les forêts et les prairies. La distinction écologique résulte essentiellement de l'importance des pluies ; les prairies montagnardes apparaissent lorsque la pluviosité diminue et surtout lorsque la saison sèche augmente. Ce fait est bien ilustré sur le Mont Cameroun où la limite forêt montagnarde-prairie correspond à une forte diminution du total annuel, mais surtout à un raccourcissement de la saison des pluies qui ne dure plus en prairie que six à sept mois vers 2500 m, juste au-dessus de la forêt montagnarde, alors qu'à l'intérieur de cette formation vers 1000 m il n'y a pas ou seulement un mois sec chaque année (Fontès & Olivry, 1976).

Lorsqu'on fait appel aux nuages stratiformes pour induire des climats montagnards, il faut se rappeler que ces types de nuages sont souvent non précipitants (= sans précipitations) mais que des variations localisées d'ascendance peuvent les rendre précipitants. De fait, les nuages stratiformes peuvent se transformer en cumuliformes (Mason, 1955 ; Ludlam, 1966) et donc favoriser localement des températures plus élevées ainsi que des chutes de pluie nécessaires à une végétation forestière de plaine.

Le fait, comme on vient d'essayer de le montrer, qu'une grande partie de l'Ouest Cameroun ait été un refuge forestier, ou plutôt une mosaïque de refuges forestiers, au moment où, semble-t-il, la majeure partie de la forêt avait disparu sur l'Afrique de l'Ouest (pour la forêt congolaise *s.l.*, les données polliniques manquent actuellement), conduit à penser que ce secteur, pour des raisons surtout géographiques, telles que sa situation au fond de la baie de Biafra et la présence de nombreuses montagnes, aurait été en grande partie à l'abri de l'influence des *upwellings.* En effet, encore actuellement la "petite saison sèche" estivale (généralement Août et Septembre) qui affecte au nord du Golfe de Guinée toute la zone forestière en débordant sur les savanes soudano-guinéennes, s'arrête à l'est du Nigéria sans toucher la zone forestière de l'Ouest Cameroun (Leroux, 1983). Or cette "petite saison sèche" est bien due aux *upwellings* car les années sans remontée d'eau froide, on assiste au contraire dans tout ce vaste secteur à une recrudescence de la pluviosité au coeur de l'été (Hisard, 1980 ; Merle, 1980). En second lieu, certains reliefs de l'Ouest Cameroun auraient pu favoriser la transformation de nuages stratiformes en nuages précipitants, surtout à la périphérie de ces reliefs, par effets orographiques, pour des raisons peut-être voisines de celles qui expliqueraient le "paroxisme pluvial" actuel de cette région, comme l'a décrit J.B. Suchel (1972).

CONCLUSION

Les données et interprétations exposées dans cet article conduisent à penser que l'Ouest Cameroun jusqu'à la Sanaga n'aurait pas constitué un refuge forestier d'un seul bloc, mais aurait comporté plusieurs refuges voisins et situés de préférence à la périphérie des reliefs. D'une manière générale, les refuges forestiers auraient évité les bords de mer où, encore actuellement, se trouvent souvent des savanes relictuelles, comme en Côte d'Ivoire (Porteres, 1950 ; Bellier *et al.*, 1969) ou au Gabon et au Congo (Aubréville, 1962).

Remerciements

Les carottages ont été effectués par D.A. Livingstone, G. Kling et C. Stager (Duke University) avec la collaboration de J. Maley (ORSTOM) et A. Zogning (ISH). M. Bopelet, W. Dominey, P. Enyong, H. Klein, Ph. Mathieu, M. Mboudou, P. Moby-Etia, S. Morin, G. Nag, P. Duni, B. Sallée, J. Schmid, A. Snyder, G. Valet, H. Wismer ont participé directement au succès de ces opérations. Tous nos partenaires camerounais (MESRES, ISH, CGN, CRH, IRGM, IRA, CRZ, Université) ainsi que les Services de l'ORSTOM au Cameroun (Dir. Ph. Mathieu) ont apporté des aides essentielles aux différentes étapes de cette opération. K. Kelts et M. Haag de l'Institut Polytechnique de Zurich (ETH), Suisse, ont effectué une étude sismique préalable du lac Barombi-Mbo et d'autres lacs de la Dorsale Occidentale. L'un de nous (J. Maley) a bénéficié de fructueuses discussions avec D.W. Thomas (Missouri Botanical Garden) sur la botanique de l'Ouest Cameroun, en recevant aussi une aide importante sur le terrain durant une excursion au Mont Cameroun . Le financement provient de la France (ORSTOM et CNRS) et des Etats-Unis (NSF et Duke University).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AIRY-SHAW H.K. (1947). - The vegetation of Angola. *J.Ecol.*, Oxford, 35, p. 23-48.

AUBREVILLE A. (1962). - Savanisation tropicale et Glaciations quaternaires. *Adansonia,* Paris, 2, 1, p.16-84.

BELLIER L., GILLON D., GILLON Y., GUILLAUMET J.-L. & PERRAUD A. (1969). - Recherches sur l'origine d'une savane incluse dans le bloc forestier du Bas-Cavally (Côte d'Ivoire) par l'étude des sols et de la biocénose. *Cah.ORSTOM,* Paris, sér.Biol., 4, p. 65-94.

BOUGHEY A.S. (1955). - The vegetation of the mountains of Biafra. *Proc.Linn.Soc.London,* 165, p. 144-150.

BRENAN J.P.M. (1952). - Plants of the Cambridge Expedition, 1947-1948 : II, A new Order of flowering plants from the British Cameroons. *Kew Bull.*, 2, p. 227-244.

CRANE R.G. & BARRY R.G. (1984). - The influence of clouds on climate with a focus on high latitude interactions. *J.Climatol.*, Londres, 4, p. 71-93.

DALZIEL J.M. (1937). - *The useful plants of West Tropical Africa.* The Crown Agents for the Colonies, Londres.

DROCHON A. (1976). - Données climatologiques au sol et en altitude pour la station d'Abidjan. *Note ASECNA,* Dakar, 55, 14 p.

DUMORT J.-C. (1968). - *Notice explicative sur la Feuille Douala-Ouest.* Dir.Mines Géol.Cameroun et Bur.Rech.géol.min., Paris, 69 p.

EISENTRAUT M. (1963). - *Die Wirbeltiere des Kamerungebirges.* P. Parey édit., Hamburg, 353 p.

EXELL A.W. & MENDONCA F.A. (1937). - *Conspectus Florae Angolensis. Vol. I, Ranunculaceae - Aquifoliaceae.* Lisbonne.

FLOHN H. (1982). - Oceanic upwelling as a key for abrupt climatic change. *J.Meteo.Soc.Japan,* 60, 1, p. 268-273.

FONTES J.-C. & OLIVRY J.-C. (1976). - Premiers résultats sur la composition isotopique des précipitations de la région du Mont Cameroun. *Cah.ORSTOM,* Paris, sér.Hydrol., 13, 3, p. 179-194.

GRUBB P.J. (1971). - Interpretation of the "Massenerhebung" effect on tropical mountains. *Nature,* Londres, 229, p. 44-45.

GRUBB P.J. (1974). - Factors controlling the distribution of Forest-types on tropical mountains : new facts and a new perspective. *In* "Altitudinal zonation in Malesia", J.R. Flenley édit., Trans. 3ème Symp. "Malesian Ecology", Aberdeen - Hull, p. 13-45.

GRUBB P.J. (1977). - Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains, with a special reference to mineral nutrition. *Ann.Rev.Ecol.Syst.*, Palo-Alto, 8, p. 83-107.

GRUBB P.J. & WHITMORE T.C. (1966). - A comparison on montane and lowland Rain Forest in Ecuador. II, The climate and its effects on the distribution and physiognomy of the forests. *J. Ecol.*, Oxford, 54, p. 303-333.

HEPPER F.N. (1963). - *Flora of West Tropical Africa.* J. Hutchinson et J.M. Dalziel édit., Londres, 2ème édit., Crown Agents for Oversea Governments.

HERMAN G.F., WU M.C. & JOHNSON W.T. (1980). - The effects of clouds on the earth's solar and infrared radiation budgets. *J.Atmos.Sc.*, Lancaster, 37, p. 1251-1261.

HISARD Ph. (1980). - Observation de réponses de type "El Nino" dans l'Atlantique tropical oriental, Golfe de Guinée. *Oceanol.Acta,* Paris, 3, 1,p. 69-78.

HOFLICH O. (1972). - Die meteorologischen Wirkungen kalter Auftriebswassergebiete. *Geoforum,* Oxford, 11, p. 35-46.

KEAY R.W. (1953).- *An outline of Nigerian vegetation.* Lagos, 2ème édit., 55 p., 1 carte.

LEROUX M. (1983). - *Le climat de l'Afrique tropicale.* Publ.Champion, Paris, 633 p. et Atlas 250 cartes.

LETOUZEY R. (1968). - *Etude phytogéographique du Cameroun.* Publ. P. Lechevalier, Paris, 508 p.

LETOUZEY R. (1978). - Notes phytogéographiques sur les Palmiers du Cameroun. *Adansonia,* Paris, 18, 3, p. 293-325.

LETOUZEY R. & SATABIE B. (1974). - Une seconde espèce du genre *Medusandra* BRENAN (Médusandracées). *Adansonia,* Paris, 14, 1, p. 63-68.

LIVINGSTONE D.A. (1985). - Histoire de changement de climat. First Three-Monthly Report to the Ministry of Higher Education and Research of Cameroun, Kumba, 6 p.

LUDLAM F.H. (1966). - Cumulus and Cumulonimbus convection. *Tellus,* Stockholm, 18, p. 687-698.

MALEY J. (1981). - Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30000 ans à l'époque actuelle. *Trav.Doc.ORSTOM,* Paris, 129, 586 p.

MALEY J. (1982). - Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical North Africa. *Quat.Res.*, New-York, 18, p. 1-16.

MALEY J. (1984). - Influence des nuages sur les paléoenvironnements : quelques exemples pris dans le Quaternaire africain. Réunion.Ann.Sc.Terre, Bordeaux, p. 373.

MALEY J. (1985a). - Histoire de la Forêt Dense au Quaternaire récent et reconstitution des paléoclimats en Afrique de l'Ouest par les analyses polliniques. Coll.Prog.Nat.Et.Dyn.Climat, Meudon, p. 15-16.

MALEY J. (1985b). - Histoire des variations climatiques et de la végétation du Cameroun au Quaternaire récent. Rapport ORSTOM au Ministre Educ.Sup.Rech.Sc.Cameroun, Montpellier, 5 p.

MALEY J. & LIVINGSTONE D.A. (1983). - Extension d'un élément montagnard dans le sud du Ghana (Afrique de l'Ouest) au Pléistocène supérieur et à l'Holocène inférieur : premières données polliniques. *C.R.Acad.Sc.Paris,* sér. 2, 296, p. 1287-1292.

MASON B.J. (1955). - The physics of natural precipitation processes. *Geophysik und Bioklim.* Vienne, Archiv.für Meteo., sér. A, 8, p. 159-179.

MERLE J. (1980). - Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'océan Atlantique équatorial est. L'hypothèse d'un "El Nino" Atlantique. *Oceanol.Acta,* Paris, 3, 2, p. 209-220.

MOREAU R.E. (1966). - *The bird faunas of Africa and its islands.* Academic Press, New-York.

MORLEY J.J. & HAYS J.D. (1979). - Comparison of Glacial and Interglacial oceanographic conditions in the south Atlantic from variations in calcium carbonate and radiolarian distributions. *Quat.Res.*, New-York, 12, p. 396-408.

MORTON J.K. (1968). - Sierra Leone. *In* "Conservation of vegetation in Africa south of the Sahara", I. et O. Hedberg édit., *Acta Phytogeogr.Suec.*, Uppsala, 54, p. 72-74.

PICAUT J. (1983). - Propagation of the seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. *J.Phys.Oceano.*, Boston, 13, p. 18-37.

PORTERES R. (1950). - Problème sur la végétation de la Basse Côte d'Ivoire. *Bull.Soc.Bot.France,* Paris, 97, p. 153-156.

PRELL W.L., GARDNER J.V. & HAYS J.D. (1976). - Equatorial Atlantic and Caribbean foraminiferal assemblages, temperatures and circulation : Interglacial and Glacial comparisons. *Geol.Soc.Amer.Mem.*, Boulder, 145, p. 247-266.

RICHARDS P.W. (1963a). - Ecological notes on West African vegetation. II, Lowland forest of the southern Bakundu Forest Reserve. *J.Ecol.,* Oxford, 51, p. 123-149.

RICHARDS P.W. (1963b). - Ecological notes on West African vegetation. III, The upland forests of Cameroons mountain. *J.Ecol.*, Oxford, 51, p. 529-554.

SCAETTA H. (1934). - Le climat écologique de la Dorsale Congo-Nil. *Inst.Roy.Col.Belge,* Bruxelles, sect.Sc.Nat.Méd., Mém. in 4°, 3.

SCAETTA H. (1937). - La genèse climatique des sols montagnards de l'Afrique centrale. *Inst.Roy.Col.Belge,* Bruxelles, Sc.Nat.Méd., Mém. in 4°, 5, 2.

SCHNELL R. (1976). - *Introduction à la Phytogéographie des Pays Tropicaux. 3, La Flore et la Végétation de l'Afrique Tropicale.* Gauthier-Villars, Paris, 470 p.

SERLE W. (1964). - The lower altitudinal limit of the montane forest birds of the Cameroon mountain, West Africa. *Bull.British Ornithologists Club,* Londres, 84, p. 87-91.

SERVAIN J., PICAUT J. & MERLE J. (1982). - Mise en évidence d'un couplage à longue distance entre le vent et la température de surface dans l'Atlantique Equatorial. *C.R.Acad.Sc.Paris,* sér. 2, 294, p. 789-792.

SLINGO J.M. (1980). - A cloud parametrization scheme derived from GATE data for use with a numerical model. *Quart.J.R.Meteo.Soc.*, Londres, 106, p. 747-770.

SUCHEL J.-B. (1972). - La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun. *Trav.Doc.Géogr.Trop.*, Bordeaux, 5, 287 p.

SUCHEL J.-B. (1980). - La répartition des pluies dans la région du Mont Cameroun. 16ème Congr.intern.Météo.Alpine, p. 191-198.

TALBOT M.R., LIVINGSTONE D.A., PALMER P.G., MALEY J., MELACK J.M., DELIBRIAS G. & GULLIKSEN S. (1984). - Preliminary results from sediment cores from Lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeoecol.of Africa,* Rotterdam, 16, p. 173-192.

THOMAS DW. (1985). - Montane forests of Cameroon. Rapport Missouri Bot.Gardens, 9 p.

WHITE F. (1983). - *The végétation of Africa.* UNESCO:AETFAT:UNSO, Mémoire et carte.