

27

Reconstitution des paleoenvironnements lacustres (Lac Ossa, Cameroun) par l'étude des diatomées au cours des 5 000 dernières années

FRANÇOIS NGUETSOP, SIMONE SERVANT-VILDARY

Introduction

Un recul de la forêt au profit de la savane a été mis en évidence vers 3 000 ans BP dans le sud du Congo (4° S) par l'analyse isotopique ($\delta^{13}C$) de la matière organique des profils de sols (Schwartz, 1992) et par l'analyse palynologique d'une carotte de sédiments lacustres prélevée dans le lac Sinnda (Vincens et al., 1994). A la même époque, le paysage forestier de l'ouest du Cameroun (3-4° N), bien qu'il se soit maintenu, était plus ouvert qu'actuellement (Reynaud-Farrera, 1995 ; Reynaud-Farrera *et al.*, 1996).

Les données écologiques apportées par l'analyse des assemblages de diatomées conservés dans les vases superficielles, nous permettront de mieux apprécier l'amplitude de ces variations passées, avant l'établissement des fonctions de transfert (Nguetsop *et al.*, ce volume). L'intérêt de coupler l'étude des diatomées avec celle de la palynologie est que les diatomées qui répondent de manière instantanée aux variations paléohydrologiques, permettent d'établir une chronologie précise des variations des bilans en eau.

Le site d'étude

Le lac Ossa (3° 3' N - 9° 36' E, altitude : 8 m) occupe le fond d'un ancien réseau hydrologique (*ria-lake*) qui a été barré vers l'aval par les alluvions de la rivière Sanaga probablement vers la fin de la dernière époque glaciaire. Ce cas de figure est fréquent dans les rivières tropicales en raison d'un renforcement de la sédimentation détritique durant le dernier maximum glaciaire dans les grands axes du réseau hydrographique.

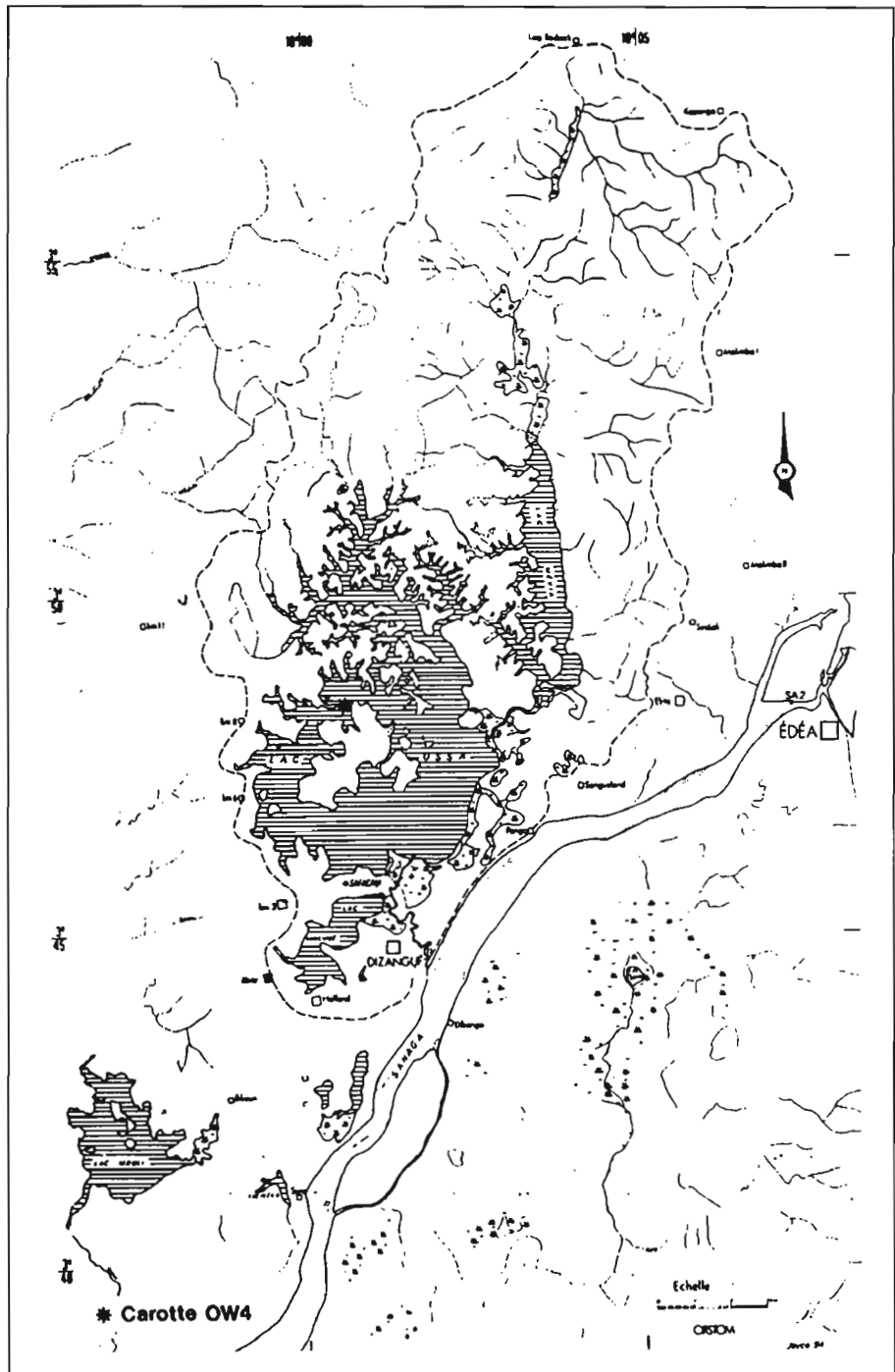
Le lac Ossa est soumis à un climat équatorial de type guinéen avec une saison relativement sèche qui a lieu de

décembre à février. D'après les données de la station météorologique la plus proche (Dizangué), la température moyenne annuelle est de 26,5 °C et les précipitations de l'ordre de 3 052 mm/an (Suchel, 1972). La profondeur maximale du lac varie entre 1,2 et 2,2 m en période de basses eaux (Wirrmann *et al.*, 1993). Bien que l'on ne dispose pas de mesures précises, on peut estimer d'après les traces des plus hautes eaux sur les rivages du lac que le plan d'eau est affecté par de fortes fluctuations saisonnières (les amplitudes étaient de l'ordre de 5 m en 1993 d'après Wirrmann, communication orale). Un chenal situé dans la partie sud-est du lac relie le lac Ossa à la rivière Sanaga. Le bassin versant (165 km²) (Wirrmann, 1992) est occupé par la forêt dense humide de type littorale atlantique (Letouzey, 1975). C'est un sous ensemble de la forêt biafréenne où les espèces dominantes sont *Lophira alata* (Ochnaceae), *Saccoglottis gabonensis* (Humiricaceae) et *Cynometra hankei* (Caesalpinaceae). À la périphérie du lac, on trouve des arbustes de cordons littoraux, des taches prairiales composées essentiellement d'*Echinochloa pyramidalis* (Poaceae), *Melastomatum segregatum* (Melastomataceae) et *Cyclosorus* sp. La rive occidentale est occupée depuis le début du siècle par une plantation industrielle d'hévéas et palmiers à huile.

Matériel, méthodes, datations

Les diatomées ont été étudiées dans la carotte OW4, qui a également fait l'objet d'une étude des pollens (Reynaud-Farrera, 1995). Prélevée dans la partie ouest du lac sous une tranche d'eau de 1,75 m (février 1992), la colonne sédimentaire (555 cm) est composée essentiellement de

Figure 1
Lac Ossa et localisation
de la carotte OW4.



vase argilo-organique avec une faible proportion de quartz, sans différenciation lithologique (Figure 2). La chronologie est basée sur 8 datations radiocarbone AMS effectuées sur sédiment organique (Tableau 1).

La courbe représentant les âges obtenus en fonction de la profondeur des échantillons (Figure 2) montre un changement de la vitesse de sédimentation à 243-245 cm. Celle-ci passe de $1,9 \text{ mm an}^{-1}$ avant 3 330 ans BP à $0,8 \text{ mm an}^{-1}$ après cette date. Pour l'étude des diatomées, les échantillons ont été prélevés en continu dans des boîtes de 2 cm de côté ; un poids connu de sédiment sec (environ 500 mg) a été prélevé dans le quart supérieur de chacune des boîtes. Afin d'obtenir une résolution temporelle homogène sur toute la carotte, la maille d'échantillonnage choisie tient compte de cette différence de vitesse de sédimentation, les échantillons ont

été prélevés à distance irrégulière ($\sim 15 \text{ cm}$ avant 3 330 ans BP et $\sim 6 \text{ cm}$ après). Une résolution temporelle d'environ 63 ans a été ainsi obtenue. Chaque échantillon représente 5,2 ans avant 3 330 ans BP et 12,5 ans après cette date, les assemblages de diatomées sont dès lors composés d'un mélange d'espèces qui intègre ainsi les variations physico-chimiques pluriannuelles du milieu aquatique.

Au total, 77 échantillons ont fait l'objet d'une évaluation de la teneur en frustules exprimée en nombre de frustules par gramme de sédiment sec d'une part, et d'une analyse qualitative des assemblages de diatomées d'autre part (Figure 3). La teneur en diatomées est obtenue par comptage du nombre de valves au microscope inversé (Fröhlich et Servant-Vildary, 1989), selon la technique employée pour quantifier les biomasses aquatiques.

Profondeur cm	N° laboratoire	âge ¹⁴ C conventionnel ans BP	âge ¹⁴ C calibré (2 sigma)
6,8-9,0	Beta-73082	90 ± 60	1670 à 1950 AD
62,7-64,9	Beta-86769	740 ± 50	
122,9-125,5	Beta-73083	1890 ± 60	0 à 250 BC
174,0-175,0	UtC-3911	2442 ± 43	767 à 397 BC
243,0-245,2	Beta-73084	3330 ± 50	1730 à 1500 BC
358,8-361,0	Beta-73085	3880 ± 60	2480 à 2150 BC
523,6-525,8	Beta-73086	4580 ± 50	3500 à 3440 et 3380 à 3100 BC
548,3-550,5	Beta-73087	4770 ± 60	3670 à 3370 BC

Tableau 1 Datations radiocarbone de la carotte OW4.

Mode de vie	Description des conditions actuelles
Planctoniques	Profondeur maximale, large surface d'eau libre calme
Tychoplanctoniques	Fréquentes dans la zone proche de la ceinture végétale à <i>Echinochloa pyramidalis</i> et <i>Melastomatum</i> sp., à la sortie du chenal reliant le lac Mevia au lac Ossa et à l'extrémité nord du lac Mevia dans des zones de faible profondeur colonisées par <i>Nymphaea</i> sp. et <i>Echinochloa pyramidalis</i>
Epiphytes	Fréquentes dans les marécages situés de part et d'autre du chenal reliant la rivière Sanaga au lac Ossa
Benthiques	Fréquentes dans les marécages situés de part et d'autre du chenal reliant la rivière Sanaga au lac Ossa et dans le lac Mboli. moyennement profond et dystrophe
Aérophiles	Fréquentes dans la partie inférieure des chenaux anastomosés au nord du lac et dans des zones proches du rivages dans des sinuosités à pentes douces parfois colonisées par des végétaux supérieurs

Tableau 2 Localisation des groupes écologiques liés à la profondeur, dans la région du lac Ossa.

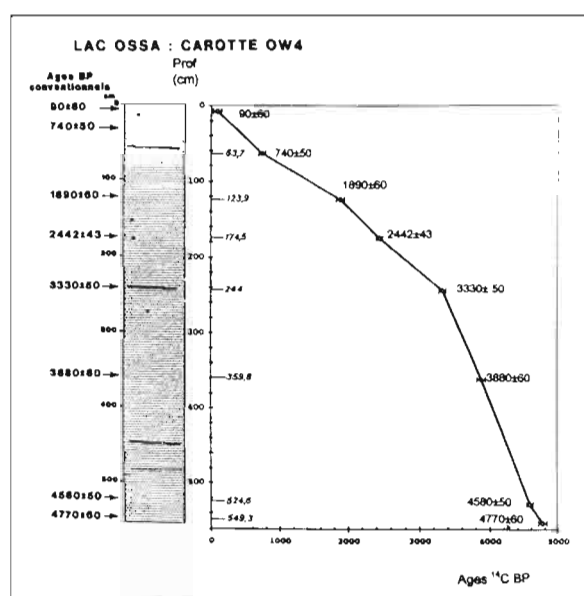


Figure 2 Carotte OW4, datations radiocarbone et lithologie. Vitesse de sédimentation, relation entre âges radiocarbone et profondeur.

Résultats

L'ensemble des 77 échantillons analysés contient 166 espèces et variétés. Dans chaque échantillon, l'abondance de chaque espèce est exprimée en pourcentage par rapport à l'ensemble de la flore. Les espèces dominantes sont : *Aulacoseira italica*, *A. muzzanensis*, *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*, *F. construens*, *F. pinnata*, *Pinnularia stomatophora*, *P. viridiformis*, *P. subgibba*, *P. microstauron*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema lingulatifforme*, *Eunotia incisa*. L'ensemble des taxa a été séparé en cinq groupes en fonction du

mode de vie d'après la littérature. Au total, 82 échantillons de vase superficielle, dont chacun représente environ 10 ans de sédimentation (Pourchet *et al.*, 1987), ont été prélevés dans différents microhabitats du lac Ossa et autres petits lacs environnants (Figure 1), l'écologie des espèces sub-actuelles a également été prise en compte dans l'attribution de chaque espèce à un groupe écologique (Tableau 2).

La variation du pourcentage cumulé de l'ensemble des espèces attribuées à chacun de ces cinq groupes permet d'individualiser sept épisodes dans l'évolution du lac Ossa au cours des 4 800 dernières années (Figure 3). La variation du nombre de valves donne une indication sur les variations de la productivité en diatomées au cours du temps.

Épisode I : 555-482 cm
(ca 4 800 à 4 400 ans BP)

Les planctoniques (60-85%) sont essentiellement représentées par l'espèce *Aulacoseira italica* (51-81%). Cette espèce est oligotrophe à dystrophe d'après Mölder et Tynni (1968-1973) et Gasse (1980). Elle est actuellement largement développée dans les sédiments superficiels dans la zone de prélèvement de la carotte étudiée. Dans cette zone, le milieu est dépourvu de végétation aquatique et les eaux sont calmes. La teneur en diatomées est comprise entre 0,6 et 2,7.10⁷ valves/gramme.

Épisode II : 482-378 cm
(ca 4 400 à 3 950 ans BP)

Il se distingue du précédent par une augmentation des diatomées tychoplanctoniques (28-50%) qui sont représentées par *Fragilaria leptostauron* var. *dubia*, *F. construens*, *F. pinnata* et par l'apparition des benthiques

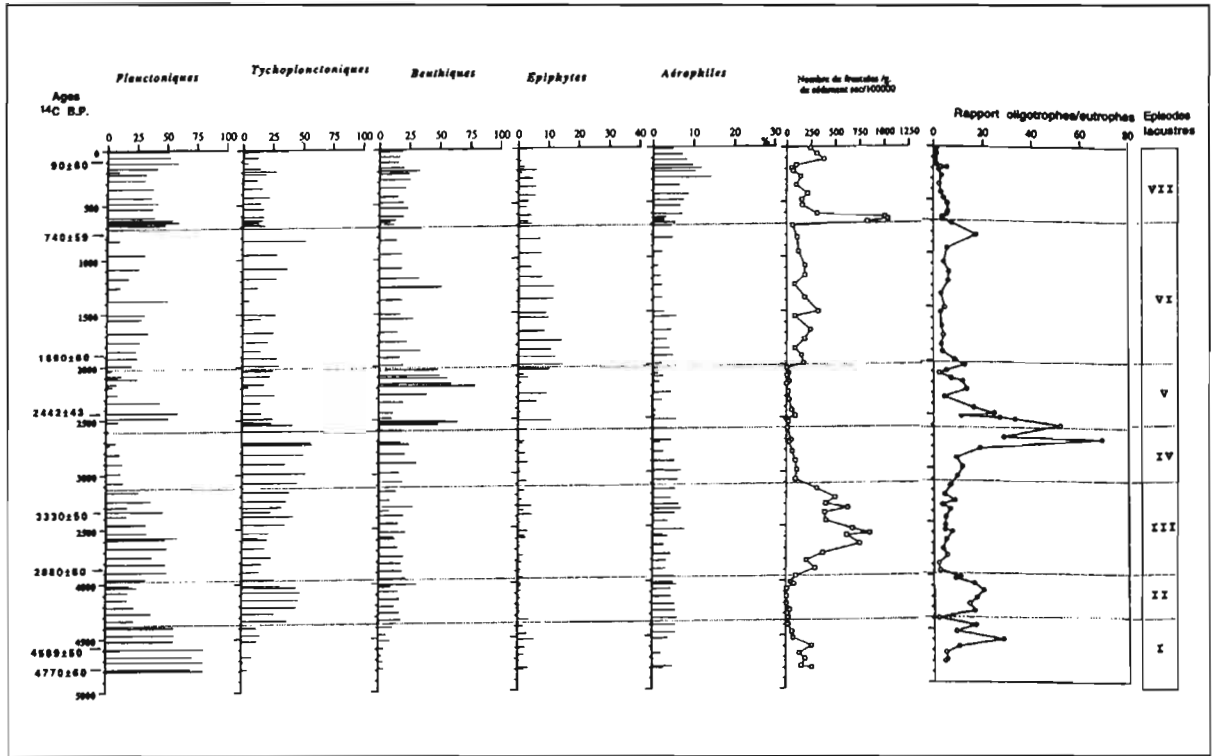


Figure 3 Variations relatives en fonction du temps des indicateurs de profondeur (planctoniques, tychoplanctoniques, benthiques, épiphytes et aérophiles). Variation de la teneur en diatomées (nombre de frustules par gramme de sédiment sec). Variations des caractères trophiques (oligotrophes/eutrophes). Épisodes lacustres.

(12-26 %) représentées essentiellement par *Pinnularia microstauron*, *P. stomatophora*, *P. viridiformis* et *P. subgibba*. Ces *Fragilaria* sont considérés comme oligotrophes (Patrick et Reimer, 1966 ; Cholnoky, 1968 ; Schoeman, 1973) de même que les benthiques (Patrick et Reimer, 1966 ; Krammer et Lange-Bertalot, 1992). La teneur en diatomées diminue par rapport à l'épisode I ($0,09-1.10^7$ valves/gramme).

Épisode III : 362-230 cm (ca 3 950 à 3 150 ans BP)

Les diatomées planctoniques augmentent à nouveau (20-60 %) mais n'atteignent pas les proportions observées pendant l'épisode I. Avec *Aulacoseira italica* (12-46 %) (oligotrophe) apparaît l'espèce planctonique eutrophe *A. muzzanensis* (9-27 %) (Hustedt, 1930 ; Mölder et Tynni, 1968-1973 ; Cholnoky, 1968 ; Krammer et Lange-Bertalot, 1991). La teneur en diatomées croît considérablement et c'est durant cet épisode qu'elle atteint des valeurs maximales ($2,09-8,64.10^7$ valves/gramme).

Épisode IV : 230-187 cm (ca 3 150 à 2 600 ans BP)

Cet épisode est caractérisé par les pourcentages les plus faibles de diatomées planctoniques (2-17 %) qui sont remplacées par des formes tychoplanctoniques oligotrophes (27-66 %) représentées par les mêmes espèces que durant l'épisode II. La teneur en diatomées diminue ($0,14-1.10^7$ valves/gramme). Par rapport aux épisodes précédents, la diminution de la teneur en diatomées ne peut pas être expliquée par une dilution du sédiment par des apports allochtones, étant donné que

la vitesse de sédimentation diminue également (Figure 2). On peut donc considérer que cet épisode est caractérisé par une très forte diminution de la productivité en diatomées.

Épisode V : 186-137 cm (ca 2 600 à 2 000 ans BP)

Nous remarquons que pendant les épisodes II, III et IV antérieurs à 2 600 ans BP, la proportion des épiphytes (<7 %) et aérophiles (<8 %) ne se modifie pas : l'évolution du lac était essentiellement marquée par des variations relatives des tychoplanctoniques (3-65 %), des planctoniques (5-96 %) et dans une moindre mesure des benthiques (5-35 %). À partir de 2 600 ans BP, en même temps que la vitesse de sédimentation se modifie, les assemblages de diatomées bien que contenant toujours des pourcentages importants de planctoniques et de tychoplanctoniques, sont maintenant caractérisés par une augmentation significative des benthiques (12-82 %), des épiphytes (1-16 %) et des aérophiles (1-16 %).

L'épisode V est caractérisé par une augmentation d'espèces benthiques comme *Pinnularia stomatophora* (5-15 %) et *P. viridiformis* (5-47 %) qui sont oligotrophes auxquelles est associée l'espèce eutrophe *Aulacoseira granulata* var. *valida* (5-15 %). Cette espèce eutrophe est observée actuellement dans des habitats très peu profonds et dans des échantillons de litière prélevés sous forêt. Elle indique une augmentation des apports en aérosols. Vers 2 480 ans BP, un pic de planctonique oligotrophe (*Aulacoseira italica*, 55 %) indique une modification profonde et de courte durée du milieu aquatique. La productivité ($0,02-0,92. 10^7$ valves/gr) faible est comparable à celle de l'épisode précédent.

Épisode VI : 137-61,5 cm (ca 2 000 à 700 ans BP)

Le pourcentage des épiphytes atteint les plus fortes valeurs observées dans toute la colonne sédimentaire. Cet épisode est caractérisé par de fortes variations à court terme des différents groupes. On observe une alternance entre des niveaux riches en planctoniques (30-54 %) ou en tychoplanctoniques (30-56 %) oligotrophes et eutrophes et des niveaux riches en benthiques (35-54 %) ou en épiphytes (12-15 %) oligotrophes à eutrophes. La teneur en diatomées ($0,61-2,42 \cdot 10^7$ valves/gramme) s'élève par rapport à l'épisode précédent, il y a augmentation de la productivité mais elle reste faible par rapport à l'épisode III.

Épisode VII : 61,5-0 cm (ca 700 ans BP à la période sub-actuelle)

Le pourcentage des aérophiles est supérieur aux valeurs observées dans les autres parties de la colonne sédimentaire. Elles sont essentiellement représentées par les espèces des genres *Eunotia* et *Frustulia* qui sont préférentielles des eaux oligotrophes à pH acide (Cholnoky, 1968 ; Mølder et Tynni, 1968-1973 ; Schoeman, 1973 ; Krammer et Lange-Bertalot, 1991).

1. Sous épisode VII a : entre 59 et 54 cm (ca 690 et 630 ans BP), les planctoniques oligotrophes (*Aulacoseira italica*) sont dominantes (51-62 %).
2. Sous épisode VII b : entre 54 et 17 cm (ca 630 et 200 ans BP), les pourcentages des planctoniques décroissent. Pendant cette décroissance, l'espèce planctonique *Stephanodiscus astrea* eutrophe apparaît, elle est associée à *Caloneis incognita* (oligotrophe) et *Gomphonema lingulatifforme* caractéristique de milieu eutrophe, de même qu'à des espèces benthiques qui atteignent un maximum (36 %) vers 200 ans BP.
3. Sous épisode VII c : entre 17 et 0 cm (ca 200 et l'actuel), les diatomées planctoniques augmentent, elles sont représentées par des pourcentages élevés de l'espèce eutrophe *Aulacoseira muzzanensis* qui peut atteindre 41 %. Les sous épisodes VII b et VII c sont plus pauvres en diatomées que le sous épisode VII a qui présente le pic maximum de productivité ($8-10 \cdot 10^7$ frustules/g de sédiment sec) après 3 330 ans BP.

Afin de préciser les interprétations paléocéologiques empiriques, basées sur l'écologie des espèces les plus abondantes, une analyse factorielle des correspondances (AFC) qui tient compte de l'ensemble des espèces a été utilisée afin de comparer la flore fossile de la carotte OW4 et la flore sub-actuelle du lac dont la relation avec la profondeur est connue. Sur l'ensemble des 82 échantillons de vase superficielle étudiés, seulement 61 échantillons (Nguetsop *et al.*, ce volume) prélevés à différentes profondeurs ont été utilisés dans l'analyse. Les échantillons ont été séparés en cinq classes de profondeur (Tableau 3). Les bornes ont été choisies afin que le nombre d'échantillons soit à peu près identique pour chaque classe.

Cette analyse a été faite en mettant les classes en éléments actifs. L'analyse travaille sur un nouveau tableau de données dans lequel l'abondance de chaque espèce actuelle dans une classe donnée est égale à la moyenne

Classe	Profondeur	Nombre d'échantillons
I	180-241 cm	14
II	241-288 cm	10
III	288-355 cm	13
IV	355-373 cm	11
V	373-386 cm	13

Tableau 3 Définition des bornes pour l'établissement des cinq classes de profondeur.

des abondances de cette espèce pour tous les échantillons de la classe. Ce sont les classes qui participent à la construction des axes factoriels, les 61 échantillons actuels et les 77 fossiles se positionnent en fonction de leur composition floristique sur les axes factoriels déterminés par les classes de profondeur (Servant-Vildary et Roux, 1990 ; Roux *et al.*, 1991).

Le plan factoriel 1-2 montre une opposition entre les classes de plus grande profondeur (III, IV et V) et les classes de moindre profondeur (I et II) sur l'axe 1 (Figure 4). Les échantillons actuels montrent une bonne dispersion entre les différentes classes, alors que la majorité des échantillons fossiles, compte tenu de leur composition floristique, se positionnent à proximité des échantillons actuels des classes de plus grandes profondeurs (IV et V). Un nombre très restreint se situe près de la classe de profondeur moyenne (III). Il est important de souligner qu'aucun échantillon fossile ne se trouve situé près des classes de plus faibles profondeurs (I et II). Ceci indique que les variations du plan d'eau au cours des 4 800 dernières années dans le lac Ossa ont été de faibles amplitudes, elles se situent dans une gamme de profondeurs définies par les classes III à V, c'est-à-dire entre 288 et 386 cm.

L'ordination des échantillons par cette simple analyse nous permet d'ores et déjà de dire que les variations pluri-décennales du niveau du lac Ossa ont été peu marquées depuis 4 800 ans. En couplant les résultats de l'interprétation empirique et les résultats de l'AFC sur les échantillons actuels et fossiles, nous pouvons reconstituer un certain nombre de paramètres environnementaux : (1) les variations pluri-annuelles des plans d'eau (pourcentage des planctoniques, comparé à une valeur actuelle déterminée sur un échantillon de vase superficielle prélevée au niveau de la carotte) ; (2) les caractères trophiques (rapport oligotrophes/eutrophes) (Figure 5). A partir de la teneur en valves par gramme de sédiment une interprétation en terme de productivité en diatomées est possible, du moins pour les périodes de temps où la vitesse de sédimentation est la même (avant et après 3 330 ans BP). Ces paramètres nous permettent de proposer que pour la période comprise entre 4 800 ans BP et l'actuel, le paleolac Ossa a connu un certain nombre de modifications dont les causes (climatiques ou anthropiques) restent souvent difficiles à mettre en évidence.

Entre 4 800 et 4 400 ans BP, les assemblages sont caractérisés par de forts pourcentages de planctoniques, les échantillons sont situés près de la classe V, cela suggère une période où les hauts niveaux lacustres sont prédominants. La tendance vers la diminution des plans d'eau, suggérée par une diminution des pourcentages

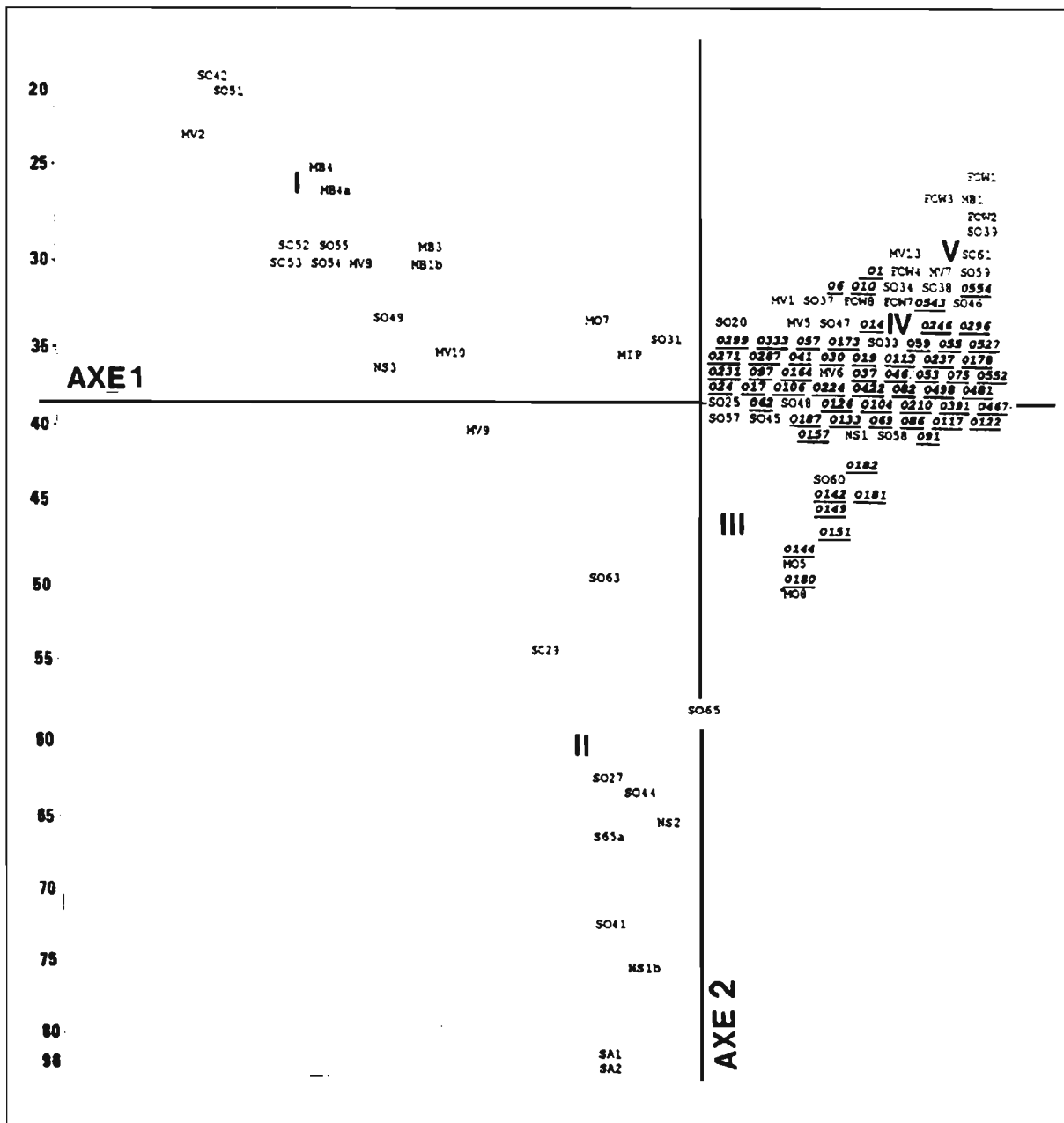


Figure 4 Analyse factorielle des correspondances. Projection des classes de profondeur (I à V), des échantillons sub-actuels et des échantillons fossiles (en gras, italique, souligné) sur le plan factoriel 1-2.

des planctoniques entre 4 800-2 600 ans BP est caractérisée par les échantillons proches de la classe IV. Cette tendance est interrompue entre 3 900 et 3 200 ans BP par une oscillation positive associée à de fortes teneurs en diatomées et à un passage de conditions oligotrophiques (ca 4 800 à ca 4 000 ans BP) à des conditions eutrophes (ca 4 000 à ca 3 200 ans BP).

Les pourcentages faibles en diatomées planctoniques entre 3 200 et 2 600 ans BP suggèrent la prédominance de bas niveaux lacustres associés à une tendance vers l'oligotrophie. Cette oligotrophie s'accroît entre 2 600 et 2 480 ans BP, en même temps que le niveau lacustre montre une brève oscillation positive. Une nouvelle baisse du niveau lacustre entre 2 480 et 2 000 ans BP (échantillons proches de la classe III) est associée à une tendance vers l'eutrophisation qui va se maintenir jusqu'à ca 200 ans BP, et s'accroît jusqu'à la période sub-actuelle (les 10 dernières années).

Entre 2 600 ans BP et la période actuelle, les plans d'eau ont connu des variations à court terme marquées par un mélange d'espèces benthiques, épiphytes et aérophiles et d'espèces planctoniques et tychoplanctoniques, cela suggère que les conditions étaient différentes de celles qui existaient avant 2 600 ans BP, période pendant laquelle les mélanges de flore d'eau profonde et de flore de milieu peu profond (ou envahi par une végétation aquatique enracinée) étaient moins fréquents.

Conclusion

Les trois paramètres paléolimnologiques que nous avons pu mettre en évidence altitude des plans d'eau, productivité en diatomées et caractères trophiques ne semblent pas évoluer de manière synchrone :

- ▷ Productivité plutôt faible, plans d'eau en moyenne élevés et oligotrophie sont corrélés entre 4 800 et 4 600 ans BP (épisode I). La pauvreté en matières

nutritives et la faible productivité indiquent une alimentation essentiellement par les eaux de pluie.

- ▷ Forte productivité, plans d'eau en moyenne élevés et eutrophie sont corrélés entre 4 000 et 3 200 ans BP (épisode III) et vers 700 ans BP. De grandes quantités de matières nutritives sont apportées au lac par les tributaires et/ou le ruissellement.

Entre 3 200 et 2 600 ans BP, l'abaissement du plan d'eau est associé à une augmentation de l'oligotrophie. Le nombre important des tychoplanctoniques suggère une alimentation faible mais continue du lac par des eaux oligotrophes. Après *ca* 2 300 ans BP, l'abaissement très net du plan d'eau est associé à une eutrophisation (fin de l'épisode V) et une augmentation des benthiques. Cela indique une fréquence accentuée des époques d'assèchement.

Après 2 000 ans BP, le lac est resté moyennement productif et eutrophe, et le plan d'eau a connu des variations significatives à court terme, cette situation s'est prolongée jusqu'à la période sub-actuelle. Il y a alternance entre des périodes où les apports par les tributaires sont importants et de périodes sans apports.

Références

- Cholnoky, B. J. 1968. *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässer*. Lehre, J. Cramer, 699 p.
- Elenga, H. ; Schwartz, D. ; Vincens, A. 1992. Changements climatiques et action anthropique sur le littoral congolais au cours de l'Holocène. *Bull. Soc. géol. France*, **163**, 1, 83-90
- Fröhlich, F. ; Servant-Vildary, S. 1989. Evaluation of diatom content by counting and infrared analysis in quaternary fluvio-lacustrine deposits from Bolivia. *Diatom Research* **4** 2, 241-248
- Gasse, F. 1980. Les diatomées lacustres plio-pléistocènes du Gadeb (Éthiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Rev. Algol. Mem. hors-série*, **3**, 249 p.
- Hustedt, F. 1930. *Die Susswasser-Flora mitteleuropas. Bacillariophyta (diatomeae)*. Jena, Verlag Von Gustav Fischer, **10**, 466 p.
- Krammer, K. 1992. *PINNULARIA* eine Monographie der europäischen Taxa. Berlin. Stuttgart, J. Cramer, **26**, 353 p.
- Krammer, K. ; Lange-Bertalot, H. 1991. Susswasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag, **2/3**, 576 p.
- Letouzey, R. 1985. *Notices de la carte phytogéographique du Cameroun au 1:500 000*. , Yaoundé/Toulouse, Inst. Rech. Agr./Inst. Cart. Intern. Végétation.
- Maley, J. 1992. Commentaires sur la note de D. Schwartz : mise en évidence d'une péjoration climatique entre 2 500 et 2 000 ans BP en Afrique tropicale humide, *Bull. Soc. géol. France*, **163**, 3, 363-365.
- . 1995. Holocene changes in the African rain forest : paleomonsoon and sea surface temperature variations. *Terra Nostra* (14^e Congrès International Quaternary, Berlin), 176 p.
- Mölder, K. ; Tynii, R. 1967-1973. Über Finnland rezente und subfossile Diatomeen. *Compte rendus Soc. Geol. Finlande*, I, 1967, **34**, 199-217. *Bull. Geol. Soc. Finlande*, II, 1968, **40**, 151-170. III, 1969 **41**, 235-251. IV, 1970, **42**, 129-144. V 1971, **43**, 203-220. VI 1972, **44**, 141-149. VII, 1973, **45**, 159-179.
- Nguetsop, F. ; Servant-Vildary, S. 1996. Variations hydrologiques du lac Ossa (ouest Cameroun) au cours des 5 000 dernières années à partir de l'étude des diatomées. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, p. 243-244.
- Patrick, R. ; Reimer, C. W. 1966. The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawai. Vol. 1 *Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Naviculaceae*, Monographs of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. **13**, 688 p.
- Patrick, R. ; Reimer, C. W. 1975. The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawai. Vol. 2, Part 1, *Entomoneidaceae, Cymbellaceae, Gomphonoemaceae, Epithemiaceae* Monographs of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. **13**, 213 p.
- Pourchet, M. ; Pinglot, J. F. ; Maley, J. 1987. Résultats des mesures radiochimiques de quelques lacs camerounais. Grenoble/Montpellier, CNRS/ORSTOM, 12 p.
- Reynaud, I. ; Maley, J. 1994. Histoire récente d'une formation forestière du sud-ouest Cameroun à partir de l'analyse pollinique. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/Life Sciences*, **317**, 575-580.
- Reynaud-Farrera, I. 1995. Histoire des paléoenvironnements forestiers du sud Cameroun à partir d'analyses palynologiques et statistiques de dépôts holocènes et actuels. Thèse, Université de Montpellier II, 239 p.
- Reynaud-Farrera, I. ; Maley, J. ; Wirrmann, D. 1996. Végétation et climat dans les forêts du sud-ouest Cameroun depuis 4 770 ans BP : analyse pollinique des sédiments du Lac Ossa. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **322**, IIa, 749-755.
- Roux, M. ; Servant-Vildary, S. ; Servant, M. 1991. Inferred ionic composition and salinity of a bolivian Quaternary lake, as estimated from fossil diatom flora in the sediments. *Hydrobiologia*, **210**, 3-18.
- Schoeman, F. R. 1973. *Systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to water quality*. Pretoria, V & R Printers, 355 p.
- Schwartz, D. 1992. Assèchement climatique vers 3000 ans BP et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions. *Bull. Soc. géol. France*, **163**, 3, 353-361.
- Servant-Vildary, S. ; Roux, M. 1990. Multivariate analyses of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes. *Hydrobiologia*, **197**, 267-290.

- Servant-Vildary, S. ; Nguetsop, F. ; Roux, M. ; Reynaud-Farrera, I. ; Servant, M. ; Wirrmann, D. 1996. Relations statistiques diatomées/milieus aquatiques et application à l'estimation des paléoniveaux lacustres. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, p. 93-94.
- Suchel, J. B. 1988. Les climats du Cameroun, Thèse, Univ. de Saint-Étienne, 4 tomes.
- Vincens, A. ; Buchet, G. ; Elenga, H. ; Fournier, M. ; Martin, L. ; de Namur, C. ; Schwartz, D. ; Servant, M. ; Wirrmann, D. 1994. Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, sud-Congo) consécutif à l'assèchement climatique holocène supérieur : apport de la palynologie. *C.R.Acad. Sci. Paris*, 318, II, 1521-1526.
- Vincens, A. ; Alexandre, A. ; Bertaux, J. ; Dechamps, R. ; Elenga, H. ; Maley, J. ; Mariotti, A. ; Meunier, J. D. ; Nguetsop, F. ; Reynaud-Farrera, I. ; Schwartz, D. ; Servant-Vildary, S. 1996. Évolution de la forêt tropicale en Afrique équatoriale atlantique durant les 4 000 dernières années et héritage sur les paysages végétaux actuels. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, p. 287-289.
- Vincens, A. ; Elenga, H. ; Schwartz, D. ; de Namur, C. ; Bertaux, J. ; Fournier, M. ; Dechamps, R. 1996. Histoire des écosystèmes forestiers du Sud-Congo depuis 6 000 ans. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, p. 291-294.
- Wirrmann, D. 1992. Le lac Ossa : une monographie préliminaire. *Rev. Géogr. du Cameroun*, XI, 1, 28-38.
- Wirrmann, D. ; Ekodeck, G. ; Joyce. ; Kossoni, A. 1993. Mission de carottage dans le lac Ossa, *rapport ECOFIT*, 2 p.

Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux

MICHEL SERVANT, SIMONE SERVANT-VILDARY,
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES



IRD

UNESCO

MAB

CRS



Les responsables d'édition adressent leurs sincères remerciements à
Christian Levêque, Samy Mankoto, Bernard Riéra et Léo Rona-Beaulieu.

Ouvrage publié avec le soutien de :

Centre national de la recherche scientifique, Programme Environnement,
vie et sociétés, 3, rue Michel-Ange, F-75016 Paris

UNESCO, 7 place de Fontenoy, F-75007 Paris
Programme sur l'Homme et la Biosphère (MAB)
Projet PNUD ZAI/97/001-ERAIFT

Ministère des affaires étrangères
Comité MAB France

IRD (Institut de recherche pour le développement),
313, rue Lafayette, F-75010 Paris

ISBN 92-3-203753-X
Mise en page : Valérie Herman
Impression : Imprimerie Jouve
Photo de couverture : Lac Tabéré, Adamaoua, Cameroun

© UNESCO 2000