

# La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil)

Abdelfettah Sifeddine, François Fröhlich, Marc Fournier, Louis Martin, Michel Servant,  
François Soubiès, Bruno Turcq, Kenitiro Suguio et Cecilia Volkmer-Ribeiro

C.R. Acad. Sci. Paris,  
t. 318, série II,  
p. 1645 à 1652,  
1994

A. S., M. F., L. M., M. S. et F. S. :  
ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay,  
93143 Bondy Cedex, France;

F. F. : Laboratoire de Géologie,  
Muséum National d'Histoire Naturelle,  
43, rue Buffon, 75005 Paris, France;

B. T. : ORSTOM, Programa de  
Geoquímica,  
Instituto de Química, UFF,  
24020007 Niteroi, Brésil;

K. S. : Instituto de Geociências,  
Universidade de São Paulo, CP 20899,  
01498 - 970, São Paulo, Brésil.

C.V.-R. : FZR, Rua Dr. Salvador Franca,  
1427, 90610 Porto Alegre, RS, Brésil.

**Résumé** Les résultats de l'analyse par spectrométrie infrarouge des échantillons de deux carottes prélevées dans deux dépressions marécageuses de la Serra Sul dos Carajas (Amazonie Orientale), mettent en évidence cinq grandes étapes paléohydrologiques au cours des 30 000 dernières années. La comparaison avec les résultats de la palynologie permet de mieux comprendre l'impact de changements climatiques brefs sur les paléoenvironnements.

**Mots-clés** : Pléistocène, Holocène, spectrométrie infrarouge, Amazonie, paléoenvironnement.

## **Abstract** Lacustrine sedimentation indicator of palaeoenvironments changes during the last 30 ka BP (Carajas, Amazonia, Brazil)

The data of infrared analysis realised on samples cored in two swamps of the Serra dos Carajas (Eastern Amazonia), reveal five palaeohydrological periods during the last 30 kyr BP. Comparison of these results with the palynological data allows a new interpretation of how the short and important climatic changes have an influence on the palaeoenvironment.

**Keywords** : Pleistocene, Holocene, infrared spectroscopy, Amazonia, palaeoenvironment.

\*\*\*\*\*

**Abridged  
English  
Version**

**R**ECENT research realised in south America revealed:

(1) The existence of four phases of rainforest regression during the last 60 kyr, dated approximately at 60, 40, 20-13 and 7-4 kyr BP (Absy *et al.*, 1991) in south-eastern Amazonia.

(2) The importance of the environmental modifications during the present day Interglacial (*i. e.* the last 10 kyrs) in lowlands (Colinvaux *et al.*, 1988; Servant *et al.*, 1989) as well as in highlands (Wirmann *et al.*, 1988).

This paper shows that climatic changes in continental environment are recorded by erosion and sedimentation on a local scale.

The Serra dos Carajas (6°20' lat S; 50°25'lg W) is a 700-800 m-high, narrow plateau developed upon a "banded iron forma-

tion". This region is situated in a dry corridor, trending NW-SE, where the annual precipitation (1,500-2,000 mm) is lower (Soubiès *et al.*, 1991) than in adjacent regions (2,000-3,000 mm). In the rainforest surrounding the plateau relative seasonal dryness is evidenced by patches of deciduous trees. The plateau surface, covered by open or dense tree-shrub savannas, exhibits numerous small lakes. These lakes are situated within partially interconnected and semi-closed depressions, which look like dolines in a karstic landscape, and their inflowing waters run upon surrounding gentle hardened-lateritic slopes. They are relatively shallow and show several stages of silting up by fine to very fine sediments. The data presented here concern two cores (CSS2 and CSS10) collected in the center of two depress-

09 OCT. 1995

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 42-478 EX1

Cote : B

Note

présentée par  
Georges Pédro.

remise le 14 février 1994,  
acceptée après révision  
le 31 mars 1994.

ions, today almost completely filled with sediments.

The results of infrared spectrometry analysis of the principal components (quartz, kaolinite, siderite, and amorphous silica) show (figure 1), that the values of detrital constituents are, on average, greater in core CSS10 than in core CSS2. In both cores, the existence of three maxima of the detrital constituents is observed. The most recent is dated in CSS2 at 12 kyr BP. These maxima in the detrital constituents are situated in siderite (FeCO<sub>3</sub>) rich sediments, where the organic material, very degraded, is poorly represented.

The siderite is generally present in the form of small rhomboids (30-300 µm) or as nodules which have not been analysed in this study. The comparison of the results suggests that the ferrous carbonate is associated with sediments rich in detrital elements.

Amorphous silica is present in the upper part of both cores: from 8 kyr BP in CSS2 and from 4 kyr BP in CSS10. Microscopic observation shows that this amorphous silica is related to the presence of sponge spicules from a single species: *Corvomeyenia thumi*, characteristic of ephemeral lakes.

The correlations between the local signal (CSS2 sedimentological study) and the regional signal (CSS2 palynological study) show that the two lakes have evolved through five major stages, during the last 30 kyr BP (figure 2).

*Stage 1 (30-20 kyr BP):* Before 28 kyr BP, the sedimentation is mainly organic and is

characteristic of a wet period, whereas between 28-20 kyr BP, the sedimentation is organo-mineral.

*Stage 2 (20-13 kyr BP):* This period is characterized by a hiatus.

*Stage 3 (13-10 kyr BP):* The sedimentation is essentially detritic with two detrital maxima at 13 and 10.5 kyr BP.

*Stage 4 (10-8 kyr BP):* The sedimentation is mainly organic.

*Stage 5 (8-0 kyr BP):* Between 7-4 kyr BP and 2.7-1.5 kyr BP, the sedimentation is characterized by alternating stripes of sponge spicules and microcharcoals (evidencing palaeofires). This alternation reflects a succession of wet and dry periods.

## CONCLUSIONS

This study shows that the sedimentary parameters record the variations in a local environment, controlled by a regional climate. The rise of the water levels, at around 13 kyr BP, has been recorded not only in south-America, but also in other tropical regions (Servant *et al.*, 1993). This event is almost synchronous with the last deglaciation at approximately 15 kyr BP (Broecker and Denton, 1989). It is interesting to note that, although the lake respond almost instantaneously to climatic changes, the forest attain its climax much later (around 9.5 kyr BP). Finally, we note that, if climatic changes in equatorial regions of South America and West Africa are in phase before 8 kyr BP (Servant *et al.*, 1993), they become opposite after.

## I. INTRODUCTION

De récents travaux, effectués en Amérique du Sud, ont mis en évidence l'existence : (1) de quatre phases d'ouverture de la forêt dense humide au cours des 60 000 dernières années dans le Sud-Est de l'Amazonie (Absy *et al.*, 1991); (2) d'une forte variabilité des environnements tropicaux durant l'Interglaciale actuel aussi bien en plaines (Colinvaux *et al.*, 1988; Servant *et al.*, 1989) qu'à haute altitude (Wirrmann *et al.*, 1988). Nous montrerons ici que les changements du climat et de l'environnement à l'échelle continentale

se sont traduits à l'échelle locale par des phénomènes d'érosion et de sédimentation.

## II. SITE ET MATÉRIELS D'ÉTUDE

La Serra dos Carajas (6°20'lat S; 50°25'long W) est située dans une zone relativement sèche (précipitations: 1 500 à 2 000 mm/an) de l'Amazonie orientale (Soubiès *et al.*, 1991). Elle correspond à des buttes témoins dérivant d'une vieille surface cuirassée formant un étroit plateau émergeant de la forêt tropicale humide (700-800 m Alt). Les sols, en raison de leur forte indura-

tion, n'y permettent pas le développement de la forêt, mais seulement d'une végétation de type savane arbustive. Le plateau est parsemé de nombreuses dépressions fermées qui sont occupées par des lacs ou des marécages. Leur alimentation en eau est assurée par des bassins versants de petite taille. Les carottes étudiées (CSS2, CSS10) proviennent de deux de ces dépressions, aujourd'hui presque complètement colmatées par des sédiments. Elles sont occupées par une végétation de bas-fond, en permanence humide (CSS2) ou saisonnièrement asséchée (CSS10).

### III. MÉTHODES

Après ouverture et description, les carottes ont fait l'objet de prélèvements volumétriques de 8 cm<sup>3</sup> en continu. Les premières analyses ont montré que les traitements oxydants préliminaires, classiquement utilisés en sédimentologie, ne pouvaient être employés, car ils entraînaient la formation d'artefacts. C'est pourquoi, les constituants minéraux (quartz, kaolinite, sidérite et silice amorphe) ont été déterminés et dosés sur le sédiment brut par une analyse infrarouge quantitative. Les protocoles antérieurement mis au point pour l'analyse des roches sédimentaires (Fröhlich, 1981 ; Pichard et Fröhlich, 1986) ont été adaptés aux caractères particuliers des échantillons étudiés (Sifeddine, 1991). Les pourcentages obtenus par ce type d'analyse sont indépendants pour chaque constituant.

Onze datations par le radiocarbone (Absy *et al.*, 1991) ont été effectuées sur la CSS2 ; et sept datations, dont trois AMS, sur la CSS10. Nous ne présentons ici que les résultats relatifs aux 30 000 dernières années.

### IV. RÉSULTATS

La variation en fonction de la profondeur des âges <sup>14</sup>C fait apparaître clairement : (a) l'existence d'un hiatus entre 20 et 13 ka BP ; (b) la forte variation du taux d'accumulation au cours du temps dans les deux dépressions. En effet, alors que la sédimentation est bien développée dans la CSS2 pendant la période 13-8 ka BP, elle ne représente que quelques centimètres (avec un âge à 8,7 ka BP) dans

la CSS10. Au contraire, la période 8-4 ka BP, lacunaire dans la CSS10, est représentée par 50 cm de dépôts dans la CSS2. Enfin, pendant la période 4-0 ka BP, la sédimentation a été plus importante dans la CSS10 (85 cm) que dans la CSS2 (40 cm).

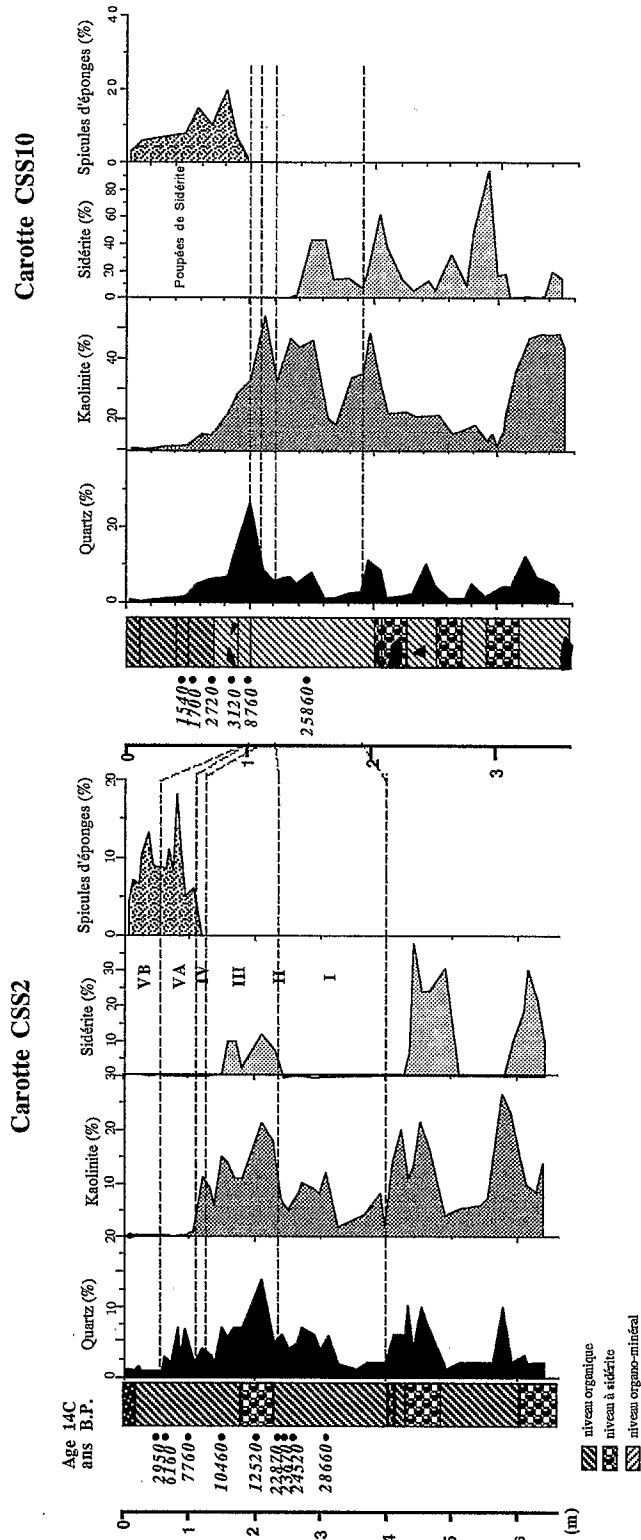
Les résultats des dosages infrarouge des principaux constituants (quartz, kaolinite, sidérite, silice amorphe) sont portés sur la figure 1. Ils montrent que les teneurs en constituants détritiques sont en moyenne plus élevées dans la CSS10 que dans la CSS2. Dans les deux carottes, on observe l'existence de trois groupes de valeurs maximales, dont seul le plus récent est bien daté (13 ka BP) dans la CSS2. Ces valeurs maximales en constituants détritiques s'observent dans les sédiments riches en sidérite (FeCO<sub>3</sub>, sous forme de rhomboèdres), où la matière organique très dégradée, est peu abondante.

La silice amorphe est présente uniquement dans la partie supérieure des deux carottes : à partir de 8 ka BP dans la CSS2 et de 4 ka BP dans la CSS10. L'observation au microscope montre que cette silice amorphe provient de spicules d'éponges. En lame mince, on observe que ces dernières forment des lits millimétriques qui alternent avec des couches de microparticules charbonneuses. Ces spicules proviennent d'une espèce (*Corvomeyenia thumi*), caractéristique des milieux peu profonds riches en silice.

De l'ensemble de ces résultats (figure 1) se dégagent finalement les faits suivants : (1) les deux dépressions ont d'abord été occupées avant 30 ka BP par des plans d'eau permanents qui se sont progressivement abaissés à partir de 28 ka BP, puis asséchés entre 20 et 13 ka BP. La dépression où a été prélevée la CSS2, a été en eau de manière plus ou moins continue de 13 à 3 ka BP, alors que celle de la CSS10 n'a connu qu'un bref épisode lacustre vers 8,7 ka BP. Les deux dépressions ont été occupées par un marécage de 3 ka BP à l'Actuel ; (2) les teneurs en quartz et kaolinite évoluent de façon comparable dans les deux carottes, mais ces teneurs sont en moyenne plus élevées dans la CSS10. Il en résulte que la sidérite, préférentiellement associée aux constituants détritiques, est plus largement distribuée dans cette

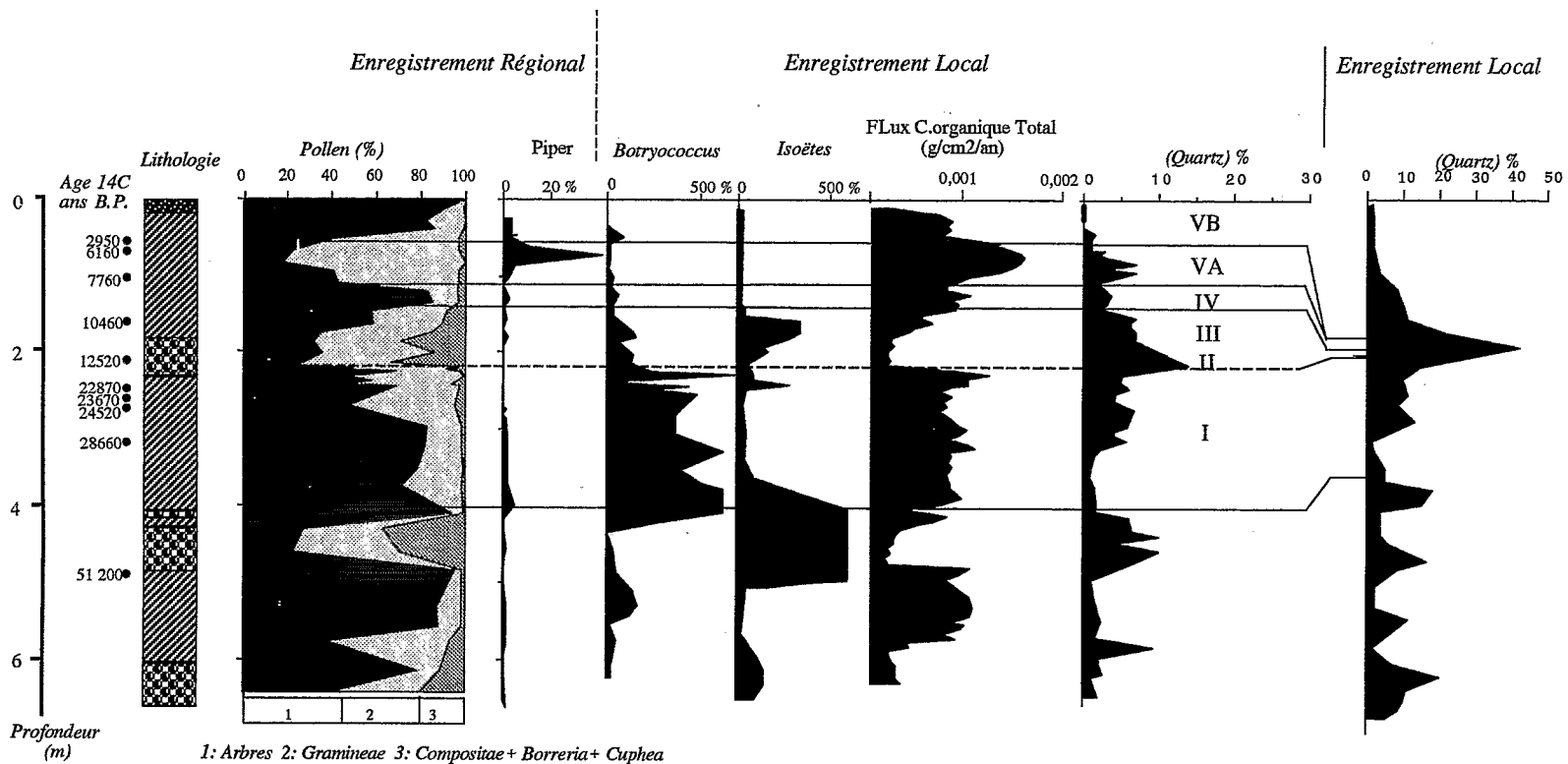
**Figure 1** Variations des pourcentages des constituants détritiques dans les Carottes CSS2 et CSS10.

Variations of the percentages of the detritic contents in CSS2 and CSS10 cores.



# Carotte CSS2

# Carotte CSS10



La sédimentation lacustre au cours des 30 000 dernières années

A. Sifeddine et al.

**Figure 2** Comparaison entre l'enregistrement local et l'enregistrement régional à Carajas. Comparison between local record and regional record in the Carajas.

carotte (3) dans la partie supérieure des deux carottes, la silice amorphe (spicules d'éponges) est associée à la présence de micro-particules charbonneuses.

## V. DISCUSSION

Nous avons vu que le plateau de Carajas émergeait de la forêt tropicale humide. Cependant, plus de 90 % des pollens arborés de la partie superficielle des sédiments lacustres proviennent de cette forêt (Absy et al., 1991). Les variations du spectre pollinique de la CSS2 sont donc de bons indicateurs de l'environnement régional. Les corrélations, entre l'enregistrement local (étude sédimentologique) et l'enregistrement régional (étude palynologique), montrent que les deux dépressions ont évolué depuis 30 ka BP en cinq grandes étapes (figure 2).

– 30 à 20 ka BP: Avant 30 ka BP, la sédimentation, essentiellement organique, est caractéristique d'une période humide. Vers 28 ka BP, un changement de faciès est matérialisé par: (1) le passage d'un niveau franchement organique à matière organique figurée bien conservée, à un niveau organo-minéral, à matière organique plus oxydée; (2) une augmentation des pourcentages en quartz. Dans le spectre pollinique, cette période est marquée, avec un déphasage, par une diminution progressive du pourcentage en pollens d'arbres et une augmentation des spores d'une plante aquatique de bordure (Isoètes). Cette modification de faciès résulte de l'abaissement du niveau du lac ayant entraîné une translation des zones de végétation de bordure vers le centre de la dépression. L'augmentation modérée du quartz et la diminution simultanée du pourcentage en *Botryococcus* (indicateur de la productivité lacustre) à ces mêmes niveaux sont favorables à cette interprétation. Le décalage entre l'enregistrement sédimentologique et palynologique semble montrer que le changement paléohydrologique a précédé la dégradation de la forêt autour du plateau. La réponse des lacs est instantanée, alors que celle de la forêt est plus lente. En conséquence, on doit cor-

réler les hauts niveaux lacustres avec le début du changement de la végétation.

– 20 à 13 ka BP: Cette période est caractérisée par un hiatus, dû à un arrêt de sédimentation, suite à un assèchement complet des lacs. Dans la CSS2, cet assèchement a été précédé par l'installation d'une végétation arborée au fond de la dépression, un peu avant 20 ka BP, comme en témoigne la présence de nombreux fragments de bois fossiles. La morphologie de ces systèmes lacustres, avec un déversoir plus haut que le fond des petites dépressions, n'est pas favorable à l'existence de lacunes érosives.

– 13 à 10 ka BP: L'augmentation progressive du pourcentage en pollens d'arbres indique la reprise du développement de la forêt. C'est pendant cette période que les pourcentages des constituants détritiques (quartz, et kaolinite) et de la sidérite sont maximums vers 13 ka BP et vers 10,5 ka BP (figure 1). Ces fortes valeurs témoignent d'une plus forte érosion des petits bassins versants. Durant cette période, la dégradation de la matière organique suggère que les plans d'eau étaient instables et que les lacs étaient soumis à des phases d'assèchement.

– 10 à 8 ka BP: Cette période, marquée dans les spectres polliniques par un maximum des pourcentages des pollens d'arbres, est caractérisée par un minimum des pourcentages des constituants détritiques qui sont presque nuls vers 10 ka BP, et par l'absence de la sidérite. Ces caractéristiques témoignent du développement maximum de la forêt vers 10 ka BP.

– 8 ka BP à l'Actuel: Cette période est marquée par l'ouverture de la forêt entre 7 et 4 ka BP. On a vu que cette ouverture présentait un certain nombre de caractéristiques particulières: absence des taxons de savane; pourcentage anormal des pollens de *Piper* (végétation pionnière) (Absy et al., 1991); présence de spicules d'éponges; présence d'abondants microcharbons de bois. Le maintien d'un fort pourcentage de pollens de *Piper*, pendant plus de 2 ka, ne peut s'expliquer que par l'existence d'incidents successifs empêchant l'installation définitive de la forêt. Par ailleurs, les microcharbons témoignent de l'existence d'incendies qui sont

également à l'origine de l'enrichissement en silice des eaux naturellement oligotrophes. Cet enrichissement favorise le développement d'éponges du genre *Corvomeyeria thumi* qui ne vivent que dans des plans d'eau de très faible profondeur. L'étude sur lame mince montre que les spicules forment des microlits dans les dépôts de microcharbons. On peut penser que les conditions climatiques étaient en moyenne favorables au développement de la forêt (présence de pollens de Piper), mais que ce développement était régulièrement interrompu par des incendies (présence de microcharbons). Cependant, la forêt équatoriale ne brûlant pas en conditions normales, ces incendies n'ont pu se produire, quelle que soit leur origine (naturelle ou anthropique), qu'à la faveur d'événements secs. L'abondance des spicules d'éponges et des pollens de Piper montre que ces événements secs étaient suivis d'un retour à des conditions humides. On peut donc penser que la période 7-4 ka BP a été caractérisée par des conditions humides fréquemment interrompues par des événements secs de courte durée. Ces fluctuations humide-sec sont certainement responsables de l'augmentation modérée en constituants détritiques, sans qu'il y ait une érosion importante du plateau, comme cela aurait été le cas au cours d'une période sèche continue. L'âge 3,6 ka BP est caractérisé par l'installation de la forêt autour du plateau, la relance de la sédimentation organique, la diminution progressive du détritique. Ceci marque le retour à des conditions humides. Dans les sédiments de la CSS10 déposés entre 2,7 et 1,5 ka BP, on note la présence de spicules et de microcharbons, associés à des constituants détritiques en faible proportion. Ces caractéristiques sont assez comparables à celles de la CSS2 entre 7 et 4 ka BP. Il est donc logique de penser qu'entre 2,7 et 1,5 ka BP, il s'est également produit des incendies qui n'ont pu se développer que pendant des événements secs. L'occurrence de ces derniers a pu être reliée à des modifications de la température de l'Océan Pacifique équatorial de type El Niño, d'une durée de plusieurs dizaines d'années (Martin et al., 1992, 1993). Toutes ces caractéristiques montrent que le climat a connu

une forte variabilité entre 7 et 4 ka BP et entre 2,7 et 1,5 ka BP.

## VI. CONCLUSION

Une analyse minéralogique quantitative globale paraît capable de mettre en évidence des événements climatiques récents. Ainsi, les niveaux à sidérite riches en quartz et en kaolinite caractérisent des phases de forte érosion des bassins versants, alors que les niveaux organiques très pauvres en constituants détritiques caractérisent des phases de non-érosion. La néoformation de la sidérite traduit la remise en eau des lacs. Les dépôts de microcharbons sont des enregistreurs d'incendies n'ayant pu se produire que pendant des événements secs, alors que les microlits de spicules d'éponges traduisent l'existence de successives remises en eau des lacs. L'étude de ces deux lacs montre que les paramètres sédimentologiques enregistrent les variations du milieu local, contrôlées par le climat régional. La période sèche marquée par un hiatus entre 20 et 13 ka BP s'est traduite en Bolivie par un abaissement du niveau du lac Titicaca (Wirrmann et Mourguiart, 1987), et dans le Brésil central par une forte régression de la forêt (Ledru, 1992).

L'élévation générale des plans d'eau vers 13 ka BP a non seulement été enregistrée en Amérique du Sud, mais aussi dans d'autres régions tropicales (Servant et al., 1993). Cet événement est chronologiquement proche du début de la dernière déglaciation vers 15 ka BP (Broecker et Denton, 1989). Il est intéressant de noter que, tandis que les lacs réagissent de manière pratiquement instantanée, la forêt n'atteint son climax que beaucoup plus tard, vers 9,5 ka BP. La forte variabilité du climat entre 8 et 0 ka BP a été identifiée dans d'autres régions d'Amérique du Sud: présence de charbons de bois dans les sols (Soubiès, 1980; Sanford et al., 1985); fortes et brèves périodes de ravinement des versants (Servant et al., 1989); périodes d'inversion du sens de la dérive littorale de quelques dizaines d'années de durée (Martin et al., 1992); variations du niveau du lac Titicaca (Mourguiart et Roux, 1991); enregistre-

ment d'une phase sèche à Salitre (Ledru, 1992). D'autre part, les changements climatiques des régions équatoriales d'Amérique

du Sud et d'Afrique de l'Ouest sont en opposition de phase après 7 ka BP (Servant et al., 1993).

**Remerciements :** Cette étude entre dans le cadre de recherche des programmes ECOFIT (CNRS-ORSTOM), GEOCIT et HARP (ORSTOM). Elle a été réalisée dans le cadre de la convention entre le CNPq (Conseil National de la Recherche Brésilienne) et l'ORSTOM. Nous remercions la compagnie minière brésilienne (DOCEGEO) pour l'apport logistique qu'elle nous a fourni pour la réalisation des carottages.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABSY, M. L., CLEEF, A. M., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SIFEDDINE, A., FERREIRA DA SILVA, M. F., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCQ, B. et VAN DER HAMMEN, Th., 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, p. 673-678.
- BROCKER, W. S. et DENTON, G. H., 1989. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, p. 2465-2501.
- COLINVAUX, P. A., FORST, M., LIU, K. B. et STEINITZ-KANNAN, M., 1988. Three pollen diagrams of forest disturbance in the western Amazon basin, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 55, p. 73-81.
- FRÖHLICH, F., 1981. Les silicates dans l'environnement pélagique de l'océan indien au Cénozoïque, *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, série C, *Sciences de la Terre*, XLVI, 206 p.
- LEDRU, M. P., 1992. Modifications de la végétation du Brésil Central entre la dernière époque glaciaire et l'interglaciaire actuel, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 314, série II, p. 117-123.
- MARTIN, L. et SUGUIO, K., 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7,000 years recorded in beach-ridge plain associated with river months: example from the central Brazilian coast, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, p. 119-140.
- MARTIN, L., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ABSY, M. L. et FLEXOR, J. M., 1993. Southern Oscillation Signal in South American Palaeoclimatic Data of the Last 7,000 Years, *Quaternary Research*, 39, p. 338-346.
- MOURGUIART, Ph. et ROUX, M., 1990. Une approche nouvelle du problème posé par les reconstitutions des paléoenvironnements lacustres : utilisation d'une fonction de transfert basée sur les faunes d'ostracodes, *Géodynamique*, 5, 2, p. 151-165.
- PICHARD, C. et FRÖHLICH, F., 1986. Analyses IR quantitatives des sédiments. Exemples des dosages du quartz et de la calcite, *Revue de l'IFP*, 41, p. 809-819.
- SANFORD, R., SALDARRIAGA, J., CLARK, K. E., UHL, C., HERRERA, R., 1985. Amazon rainforest fires, *Science*, 227, p. 650-652.
- SERVANT, M., FONTES, J. C., RIEU, M., SALIEGE, J.F., 1981. Phases climatiques arides holocènes dans le Sud-Ouest de l'Amazonie (Bolivie), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, série II, p. 1295-1297.
- SERVANT, M., MALEY, J., TURCQ, B., ABSY, M. L., BRENAC, P., FOURNIER, M. et LEDRU, M. P., 1993. Tropical forest changes during the late Quaternary in African and South American lowlands, *Global and Planetary changes*, 7, p. 35-47.
- SERVANT, M., FOURNIER, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K. et TURCQ, B., 1989. Sécheresse holocène au Brésil (18°-20° latitude Sud). Implications paléométéorologiques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, p. 153-156.
- SIFEDDINE, A., 1991. La sédimentation en région tropicale humide (Carajas, Amazonie, Brésil) : relation avec les modifications de l'environnement climatique au cours des 60 000 dernières années, *Thèse, Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, p. 119 (non publié).
- SOUBIES, F., 1980. Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons de bois (6 000-3 000 ans BP), *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 1, p. 133-148.
- SOUBIES, F., SUGUIO, K., MARTIN, L., LEPRUN, J. C., SERVANT, M., TURCQ, B., FOURNIER, M., DELAUNE, M., SIFEDDINE, A., 1991. The quaternary lacustrine deposits of the Serra dos Carajas (state of Para, Brazil): ages and other preliminary results, *Bol. IG-USP, Publ. esp.*, 8, p. 223-243.
- WIRMANN, D. et MOURGUIART, Ph., 1987. Oscillations et paléosalinités des lacs Quaternaire récent en Bolivie, *Géodynamique*, 2, 2, p. 98-101.
- WIRMANN, D., MOURGUIART, Ph. et DE OLIVEIRA ALMEIDA, L. F., 1988. Holocene sedimentology and ostracods repartition in Lake Titicaca. Paleohydrological interpretation, *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 6, p. 89-127.