

**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**

Maria Lucia ABSY, Antoine CLEEF, Marc FOURNIER, Louis MARTIN, Michel SERVANT, Abdelfetah SIFEDDINE, Manoela FERREIRA DA SILVA, François SOUBIES, Kenitiro SUGUIO, Bruno TURCQ et Thomas VAN DER HAMMEN

*Résumé* – L'analyse d'un sondage de 6,50 m, dans une dépression marécageuse de la Serra Sul dos Carajas (Brésil), montre que la forêt dense humide s'est ouverte à quatre reprises au cours des 60 000 dernières années. Les évolutions de l'Amérique du Sud et de l'Afrique sont comparables de 20 000 à 8 000 ans B.P. A partir de cette date de nettes divergences apparaissent.

**Occurrence of four episodes of rain forest regression in southeastern Amazonia during the last 60,000 yrs. First comparison with other tropical regions**

*Abstract* – The analysis of a 6.50 m-long core collected in a swamp of the Serra dos Carajas (Brazil) reveals four periods of rain forest regression during the last 60,000 years. The evolutions in South America and Africa are similar between 20,000 and 8,000 years B.P. and divergent after this interval.

*Abridged English Version* – The Southern Serra dos Carajas (50°25' lg. W, 6°20' lat. S) is a 700-800 m-high, narrow plateau developed upon a "banded iron formation". This region is situated in a corridor, trending NW-SE, inside the Amazon Basin, where the annual precipitation (1,500-2,000 mm) is lower [5] than in the adjacent regions (2,000-3,000 mm). In the rain forest surrounding the plateau relative seasonal dryness is evidenced by patches of deciduous trees. The plateau surface is covered by open or dense treelet-scrub savannas.

The data presented here concern the CSS2 core collected on the plateau, in the center of a former lake filled-up with sediment. Three sedimentary sequences may be identified (Fig. 1) each of them starting with a sandy layer rich in siderite containing quartz and hematite grains. The transition upward from the sandy layer to an organic-rich silt is more or less progressive. In the sample depth versus age data curve (Fig. 1) a marked concavity, at the base of the upper clastic layer (IIIa), corresponds to a hiatus in sedimentation due to a drying of the lake after 22,870 and before 12,520 years B.P. The eight identified palynological zones (Fig. 2) are in agreement with these sequences. In the sandy layers, pollen assemblages of savanna elements are dominant (zones A1, B, D) whereas they are substituted by forest elements in the organic-rich facies. The higher clastic flux, the more open vegetation and the lower level of the lake lead us to relate the sandy layers to drier periods. The last, Holocenic, organic-rich deposition shows marked differences with its Pleistocenic equivalents. The extension of the savanna in the sub-zone E2, with a maximum around 6,000 years B.P., represents a different type of savanna vegetation where fire, revealed by the abundance of charcoal fragments, played an important role. The final increase of the forest in sub-zone E3 (around 3,000 years B.P.) is partly caused by pioneer elements.

Note présentée par Georges MILLOT.

These data clearly show that the area suffered considerable change of vegetation and climate. The dry periods, around 60,000, shortly before 40,000, and during the 21,000-11,000 years B.P. interval, seem to correlate with the known temperature and rainfall minima of the Last Glacial in Europe [15]. The drying of the lake after 22,000 and before 12,500 years B.P., its reappearance slightly before 12,500 years B.P. and the subsequent rise of the water level during the Late Glacial are also described for other lakes of the tropical zone ([6] to [8]). The dry episode of the Middle Holocene is correlative with the reduction of the Amazon river discharge [9]. Middle Holocene dryness is also observed in other parts of South America: in Brazil [11] and Bolivia ([12], [13]). This climatic evolution since 8,000 years B.P. is opposite to that observed in West Africa: the Holocene dryness corresponds to high levels of the lakes in Africa [6] while the forest development after 3,000 years B.P. in Carajas is correlative with drier conditions in Africa [14].

One of the main points under discussion is the change of the Amazonian rain forest surrounding the plateau. The bulk of the present pollen rain in the lake area comes from the rain forest. During the dry periods of the Quaternary, the elements of the forest are clearly lower and sometimes even absent. Hence it seems very likely that the forest disappeared, at least partly, from the surroundings of the plateau. The drier parts of the Pleistocene dry periods are not represented because the sedimentation was stopped by the drying of the lake. Considering the present geographical-climatological distribution of the Amazonian forest, the type of change registered at the end of the dry periods would mean a lowering of at least 500 mm of the annual rainfall (from 1,500-2,000 to 1,000-1,500 mm) in the drier Amazonian corridor and eventually the fragmentation of the Amazonian forest.

This study is funded by an ORSTOM (France)-CNPq (Brazil) convention and by the P.D.I.R.H. Programme from Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (I.N.P.A.) for M. L. Absy's work. Logistic help was provided by mining company DOCEGEO.

---

I. INTRODUCTION. — Les études géomorphologiques ont montré que les forêts denses humides des pays tropicaux avaient fortement régressé à certaines époques du Quaternaire [1]. Ceci peut expliquer en partie la grande diversité biologique des écosystèmes forestiers intertropicaux [2] et permet d'estimer, sur des exemples passés, le rôle de ces écosystèmes dans le climat régional ou le climat global. En Amérique du Sud, les connaissances actuelles sur l'histoire des forêts denses concernent uniquement quelques sites holocènes, ([3], [4]). Cette étude apporte, pour la première fois, une description détaillée des changements de la végétation en Amazonie sur une période d'environ 60 000 ans.

II. SITE D'ÉTUDE. — La *Serra Sul* de Carajas est un plateau cuirassé de 700 à 800 m d'altitude qui s'élève au-dessus d'un paysage de forêt dense humide. Il se situe dans le couloir sec de l'Amazonie brésilienne [5], où les précipitations (1 500-2 000 mm/an) sont moins abondantes que dans les régions adjacentes (2 000-3 000 mm/an). Cette moindre humidité du climat se reflète dans la forêt par la présence de bosquets d'arbres décidus. Sur le plateau, la végétation est soit une savane arbustive dense à *Mimosa acustipula* et *Sobralia liliastrum*, soit une savane arbustive et buissonnante ouverte à *Byrsonima coriacea*, *Croton argyrophyllus* et *Gramineae* où *Borreria* et *Compositae* atteignent leurs extensions maximales. Les spectres polliniques actuels des sédiments des lacs et des marécages situés sur le plateau montrent une nette prédominance des éléments arborés (76 %). Ces

derniers, tels que *Cecropia*, *Celtis*, *Trema*, *Piper*, et *Aparisthmium*, proviennent en majorité (63 % du total des pollens) de la forêt qui entoure le plateau.

III. MATÉRIEL D'ÉTUDE. DATATIONS. — Un sondage de 6,50 m (CSS2) a été réalisé, avec un carottier à vibration, dans le centre de l'une des dépressions marécageuses du plateau. De bas en haut, trois séquences sédimentaires ont été identifiées : I, II, III (fig. 1). Chacune de celles-ci comprend une couche sableuse riche en sidérite contenant du quartz et de l'hématite qui passe progressivement à une couche supérieure silteuse organique. Par contre, les limites inférieures, nettes et irrégulières, des couches sableuses trahissent l'érosion des dépôts organiques lors d'assèchements temporaires de la dépression. La distribution des âges radiocarbone en fonction de la profondeur (fig. 1) fait apparaître un palier très marqué, situé à la limite supérieure de la séquence II, confirmant l'existence d'une lacune de sédimentation entre 22 870 et 12 520 ans B.P.

IV. PALYNOLOGIE. CHANGEMENTS DE LA VÉGÉTATION ET DU CLIMAT. — Le diagramme de la figure 2 résume les données d'une analyse palynologique ayant porté sur 50 échantillons de la carotte CSS2.

1. *Périodes de disparition de la forêt.* — Les spectres polliniques des zones A1, B et D montrent une forte prédominance des graminées et des taxons de savane. Certains éléments de la forêt dense humide, comme *Cecropia*, sont parfois complètement absents. Ces spectres polliniques, très différents des spectres actuels, indiquent une disparition, au moins partielle, de la forêt autour du plateau à des époques que l'on peut situer, par extrapolation, vers 60 000 (A1), 40 000 (B) et 23 000-11 000 ans B.P. (C). L'abondance du taxon aquatique *Isoëtes* indique l'existence d'un lac peu profond. La zone palynologique E2 (entre 7 500 et 3 000 ans B.P. environ) se distingue des précédentes par une sous-représentation des taxons de savane et par une grande abondance de fins débris végétaux carbonisés. Ceux-ci montrent que des incendies ont contribué à l'ouverture des paysages végétaux.

2. *Périodes de développement de la forêt.* — Définies par un pourcentage élevé des éléments arborés, les zones A2, C, E1 et E3 témoignent d'un développement de la forêt. Dans les deux premières, le genre *Ilex* est fortement représenté. Dans la zone C, l'abondance de *Botryococcus* suggère qu'un lac relativement profond s'est maintenu dans la dépression. Son assèchement a été précédé par une augmentation des graminées dans les spectres polliniques et peut-être par l'implantation d'une végétation arborée dans la dépression, ainsi qu'en témoigne la présence dans le sédiment de nombreux bois fossiles. Dans la zone E1, la fréquence maximale des pollens d'arbres se situe vers 9 500-8 000 ans B.P. Enfin, la réapparition de la forêt à l'Holocène supérieur (E3) s'exprime dans les spectres polliniques par l'abondance de taxons d'une végétation pionnière comme *Aparisthmium* et *Piper*.

V. COMPARAISON AVEC D'AUTRES DONNÉES PALÉOCLIMATIQUES. — Les données obtenues peuvent être comparées avec l'évolution de l'Afrique occidentale durant les 20 000 dernières années. Les forêts denses humides avaient fortement régressé en Afrique comme dans le Sud-Est de l'Amazonie entre 20 000 et 13 000 ans B.P. [6]. Le développement progressif mais encore limité de la végétation arborée à partir de 13 000-12 000 ans B.P., a été associé à une élévation généralisée du niveau des nappes d'eau continentales dans la zone intertropicale ([7], [8]). Le plein épanouissement de la forêt dense a eu lieu simultanément sur les deux continents entre 10 000 et 9 000 ans B.P. Des évolutions nettement divergentes entre l'Afrique et l'Amérique du Sud deviennent apparentes à partir de 8 000 ans B.P. A

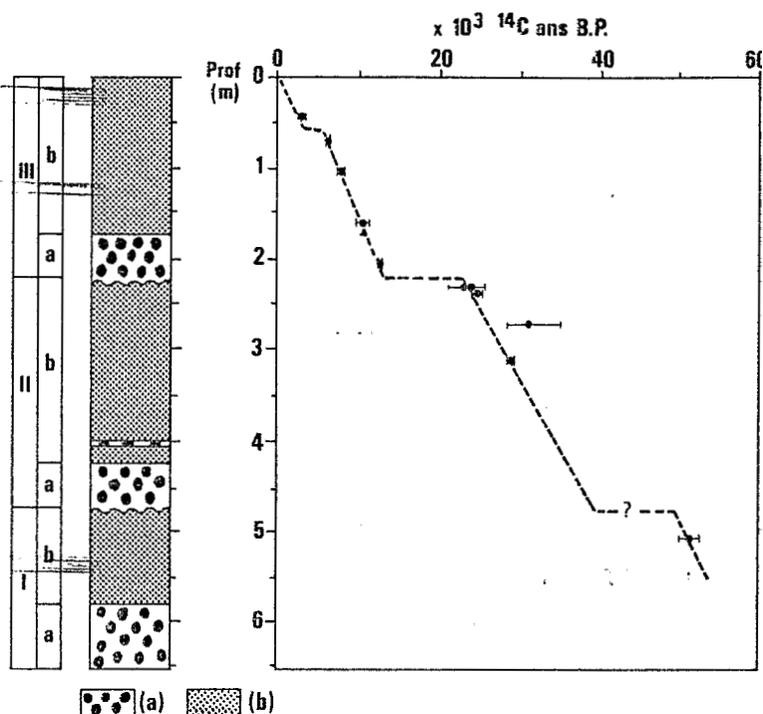


Fig. 1. — Sondage CSS2. Relation entre les âges  $^{14}\text{C}$  et les profondeurs de prélèvement.

I, II, III : séquences sédimentaires. (a) sable à sidérite, (b) limon organique.

Fig. 1. — CSS2 core. Age data plotted against the depth intervals of the samples.

I, II, III: sedimentary sequences. (a) clastic sand with siderite, (b) organic-rich silts.

une forte humidité attestée en Afrique par de très hauts niveaux lacustres qui ont culminé vers 6 000 ans B.P. [8], s'oppose en Amérique sud-équatoriale une sécheresse qui s'est notamment exprimée par la régression de la forêt à Carajas et qui est connue dans plusieurs régions tropicales de l'Amérique du Sud. Elle s'est traduite par une réduction du débit de l'Amazonie [9], par des incendies ([5], [10], [11]), d'intenses érosions [11] et des remaniements éoliens [12]. Dans les Andes Centrales, le niveau du lac Titicaca s'est abaissé, à la même époque, de près de 60 m [13]. Ces divergences sont confirmées vers 4 000-3 000 ans B.P. par la réapparition de la forêt à Carajas, alors que les conditions climatiques deviennent plus sèches en Afrique [14].

Les phases sèches pléistocènes reconnues à Carajas pourraient se corréliser avec les épisodes froids et secs récemment identifiés en Europe [15]. L'élévation généralisée des nappes d'eau de la zone intertropicale vers 13 000 ans B.P. est chronologiquement proche d'un intense réchauffement global qui s'est traduit par un important recul des glaciers dans les deux hémisphères [16]. La sécheresse holocène est synchrone d'un optimum thermique dans l'hémisphère nord (6 000 ans B.P. environ).

VI. CONCLUSIONS. — Quatre périodes d'ouverture de la forêt sont identifiées pour la première fois en Amazonie. Les trois premières (vers 60 000, 40 000 et 23 000-11 000 ans B.P.) sont caractérisées par la présence de taxons de savane. Par comparaison avec la distribution actuelle de la forêt dense humide en Amazonie, on peut admettre que les précipitations, qui sont aujourd'hui de 1 500-2 000 mm/an à Carajas, étaient



d'environ 1 000-1 500 mm/an pendant ces épisodes. Il est vraisemblable que le massif forestier amazonien se soit fragmenté à ces époques.

Les évolutions paléoclimatiques de l'Amérique sud-tropicale et de l'Afrique sont analogues de 20 000 à 8 000 ans B.P. entre le dernier maximum glaciaire (20 000-15 000 ans B.P.) et le début de l'interglaciaire actuel. Elles divergent à partir de 8 000 ans B.P. avec l'apparition d'une phase sèche en Amérique du Sud, alors que le climat africain est encore très humide. Le développement de la forêt à Carajas à partir de 3 000 ans B.P. environ s'oppose à une tendance vers la sécheresse en Afrique occidentale (désertification du Sahara, phases d'ouverture de la forêt dense).

Note remise le 14 janvier 1991, acceptée le 22 janvier 1991.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. TRICART, *Rev. Géomorph. Dyn.*, 18, 1974, p. 145-148.
- [2] G. T. PRANCE éd., *Biological Diversification in the Tropics*, Columbia University Press, 1982, 681 p.
- [3] M. L. ABSY et Th. VAN DER HAMMEN, *Acta Amazônica*, 6, 1976, p. 293-299.
- [4] K. B. LIU et P. A. COLINVAUX, *J. Biogeogr.*, 15, 1988, p. 231-248.
- [5] F. SOUBIES, *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 1, 1980, p. 133-148.
- [6] J. MALEY, *Palaeoecology of Africa*, 18, 1987, p. 307-334.
- [7] F. A. STREET et A. T. GROVE, *Quaternary Research*, 12, 1979, p. 83-118.
- [8] M. SERVANT et S. SERVANT-VILDARY, *The Sahara and the Nile*, M. A. J. WILLIAMS et H. FAURE éd., Balkema, Rotterdam, 1980, p. 133-162.
- [9] W. J. SHOWERS et M. BEVIS, *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 64, 1988, p. 189-199.
- [10] J. C. SALDARRIAGA et D. C. WEST, *Quaternary Research*, 26, 1986, p. 358-366.
- [11] M. SERVANT, M. FOURNIER, F. SOUBIES, K. SUGUIO et B. TURCQ, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 153-156.
- [12] M. SERVANT, J. C. FONTES, M. RIEU et J. F. SALIEGE, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, série II, 1981, p. 1295-1297.
- [13] D. WIRRMANN, Ph. MOURGUIART et L. F. DE OLIVEIRA ALMEIDA, *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 6, 1988, p. 89-127.
- [14] H. ELENGA, D. SCHWARTZ et A. VINCENS, *Bull. Soc. géol. France* (sous presse).
- [15] J. GUIOT, A. PONS, J. L. DE BEAULIEU et M. REILLE, *Nature*, 338, 1989, p. 309-313.
- [16] W. S. BROECKER et G. H. DENTON, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 1989, p. 2465-2501.

---

M. L. A. : *I.N.P.A.*, C.P. 478, 69000 Manaus, AM, Brazil;  
 A. C. et T. H. : *Hugo de Vries Laboratory*, Kruislaan 318,  
 1098 SM Amsterdam, The Netherlands;  
 M. F., L. M., M. S., A. S., F. S. et B. T. : *ORSTOM*,  
 70-74, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex;  
 M. F. S. : *Museu Paraense Emilio Goeldi*,  
 Av. Perimetral, s/n 66040 Belem, PA, Brazil;  
 K. S. : *Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*,  
 C.P. 20899, 01498 São Paulo, Brazil.