

Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène: les données d'un profil de sol à charbons de bois (Salitre, Minas Gerais)

Jean-Louis Vernet, Luc Wengler, Maria-Eugenia Solari, Gregorio Ceccantini, Marc Fournier,
Marie-Pierre Ledru et François Soubiès

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 319, série II,
p. 1391 à 1397,
1994

J.-L. V., L. W. et M.-E. S.: Laboratoire
de Paléobotanique,
Environnement et Archéologie,
URA 1477 CNRS, Université de
Montpellier-II,
Institut de Botanique, case 052,
34095 Montpellier Cedex, France;

G. C.: Departamento de Botanica,
Instituto de Biociencias, Universidade
de Sao Paulo, CP 11461,
01000 São Paulo, Brazil;

M. F. et M.-P. L.: ORSTOM,
70-74, route d'Aulnay,
93140 Bondy, France;

F.-S.: ORSTOM,
70-74, route d'Aulnay,
93140 Bondy, France
et Laboratoire de Minéralogie,
Université Paul-Sabatier, 39, allée
Jules-Guesde, 31000 Toulouse, France.

Résumé La découverte d'une séquence holocène de charbons de bois dans un latosol bordant une dépression marécageuse au Brésil central permet de définir une période majeure de feux de forêts à l'Holocène moyen. Ces incendies, responsables des paysages de *cerrado* et *cerradão* actuels interviendraient à partir du début d'une importante période sèche à 6 000 BP. Autour de 3 000 BP, la forêt mésophile semi-décidue se reconstitue et ce n'est qu'après 600 BP que les défrichements modernes apparaîtront.

Mots-clés : Holocène, Charbons de bois, Feux, Brésil central, Paléoenvironnement.

Abstract Fire, climate and vegetation in Central Brazil during the Holocene: data from a soil profile with charcoal (Salitre, Minas Gerais)

A sediment profile containing charcoal fragments was discovered in a swampy area in the region of central Brazil; the sequence includes most of the Holocene and testifies to the existence of a period of significant wildfires during the Middle Holocene. These fires, at the origin of today's savanna, took place during the beginning of a dry climatic period around 6,000 BP. The recovery of the partly-deciduous mesophilous forest takes place around 3,000 BP. Modern deforestation began after 600 BP.

Keywords : Holocene, Charcoal, Fire, Central Brazil, Palaeoenvironment.

**Abridged
English
Version**

DURING the last 10 millenia, the South American tropical forest underwent significant changes, particularly during the Middle Holocene (Absy *et al.*, 1991; Ledru, 1993; Servant *et al.*, 1981, 1989). In Central Brazil climatic and anthropological factors have been invoked to explain the development and present form of this forest (Klein, 1975). Both are taken into consideration in our study which follows the discovery of Holocene wildfires in the Amazonian area (Sanford *et al.*, 1985; Soubiès, 1980). The preliminary results from a pedological excavation are presented in this paper.

AREA OF STUDY

The swampy depression at Salitre has recently been the subject of studies based on pollen analysis (LC3, Ledru, 1993) (figure 1). At present, the area is covered by a vegetation of Brazilian savanna known as *cerradão*. Several pedological trenches were excavated in the area surrounding the lake and numerous charcoal fragments recovered from one of them (LCCF1). This showed no sediment stratigraphy in profile (figure 2 a) and corresponds to the upper part of a latosol covered by forest and where, only the organic horizons and two structural horizons can be distin-

09 OCT. 1995

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° 42482 ed 1

Cote : B

Note

présentée par
Yves Coppens.
remise le 2 août 1994,
acceptée après révision
le 26 septembre 1994.

guished. The importance of the micro-agglomerated structure is noted along with the fragile cohesion of the material.

CHARCOAL, FIRE AND POLLEN

An excavation by horizontal layers, and the sieving of the sediments, allowed us to recover the charcoal fragments. These were left to dry and then weighed; total weights were recorded in relation to the volume of sediment so that a diagram of charcoal frequency might be drawn (figure 2 c).

¹⁴C dating allow us to place the charcoal fragments in the Middle and Late Holocene.

Level 20-30 cm: 600 ± 40 BP (OBDY 1254)
Level 70-80 cm: 3,160 ± 40 BP (OBDY 1255)
Level 100 cm: 3,660 ± 90 BP (OBDY 1029)
Level 140-150 cm: 5,840 ± 50 BP (OBDY 1252)
Level 180-190: 6,330 ± 60 BP (OBDY 1250)

These dates are consistent with the stratigraphic position of the samples:

$$y = 0.026x + 2.448 \text{ with } r = 0.982$$

(y = depth in centimeters/ x = age).

The curve of age variation in relation to depth (figure 2 b) suggests the existence of a regular burial of the charcoal fragments at a rate of 0.26 mm per year which may result either from termite activities or from colluvium deposition.

Dating the base of the profile proved to be impossible due to the lack of sufficient charcoal material. However, according to the regularity of the dates obtained, it is possible to calculate for level -230 cm, a date of around 8,750 BP. If this calculation is correct the base of the profile might date back to the beginning of the Holocene.

Pollen analyses from Salitre (Ledru, 1993) testify to the existence of an *Araucaria* forest between 9,200 and 8,000 BP. This forest, growing under a climate without dry season, was replaced by a partly-deciduous vegetation between 8,500 and 6,500 BP when the existence of a dry season of 2 months was recorded.

The charcoal sequence from Salitre is placed in this perspective. During the time of zone IIIa (6,510 to 5,560 BP), the decline of arboreal pollen—down to 10% (figure 2 d)—is clear, while an increase in the number of charcoal fragments is noted, especially around 5,840 BP, declining afterwards. The increase in the weight content of charcoal is simultaneous with the disappearance of *Araucaria* and *Drimys* and the decrease in *Myroxylon* type and *Symplocos*. The increasing number of fires is correlated with the development of the partly-deciduous mesophilous forest with *Melastomataceae-Combretaceae*, *Miconia*-type and high frequencies of *Poaceae*. The existence of fires might have favoured the development of these taxa.

Our results show that this climatic change and the increasing dryness noticed elsewhere in Brazil (Servant et al., 1989; Sifeddine et al., 1994) would have favoured the start of wild fires. It is possible to consider these fires as "natural", with no connection to human activities as no traces of anthropological artefacts have been found in the profile.

Frequencies of *Poaceae* remain high up to 3,000 BP; those of *Melastomataceae-Combretaceae* are significant even though they reach lower levels. These data match those from charcoal analysis which testify to a decrease in the occurrence of fires until 3,000 BP. Thereafter and until recently (before 600 BP) their number decreases significantly. Recent pollen data from Lagoa campestre (LC 91/1) (Ledru et al., 1994) support the hypothesis of a period of forest recovery after 3,000 BP. The recurrence of wildfires is witnessed after 600 BP and their frequency increases during recent periods in relation to the wood charcoal industry.

CONCLUSION

It seems probable that fire has been responsible for the vegetation dynamics recorded at Salitre. Its frequency and magnitude, since the Middle Holocene, would have favoured the arrival and spread of the savanna. It seems therefore that this is not an exclusively anthropogenic vegetation as supported by former authors (Lund, 1835; Loefgren, 1898). Dry climatic conditions would have been the main cause of the spread of this type of vegetation.

INTRODUCTION

Au cours des 10 derniers millénaires, la forêt intertropicale a subi des vicissitudes importantes en Amérique du Sud (Absy *et al.*, 1991 ; Ledru, 1993 ; Servant *et al.*, 1981, 1989). Des biogéographes comme Klein (1975) suggèrent que la plupart des végétations de ces régions ne sont pas dépendantes des sols et du climat actuel et, pour expliquer cette situation, font appel au facteur anthropique ou à des changements climatiques. Par ailleurs, les pédologues ont révélé l'importance des incendies de forêt depuis l'Holocène moyen jusque dans le domaine amazonien. Ces feux ont laissé des charbons de bois dans les sols. Ces feux pourraient coïncider avec des phases climatiques sèches (Soubiès, 1980 ; Sanford *et al.*, 1985). Dans cette note, nous présentons les résultats obtenus à partir d'un profil pédologique livrant des charbons de bois, témoins de feux *in situ*, résultats qui seront comparés pour la première fois avec les données palynologiques obtenues à partir d'une tourbière proche.

RÉGION ÉTUDIÉE

Dans l'Ouest de l'état de Minas Gerais (Centre-Sud du Brésil), la province alcalino-carbonatitique du «Alto Paranaíba» s'étale sur plus de 500 km en bordure NE du bassin du Parana. Différents complexes éruptifs d'extension kilométrique formés de pyroxénites, péridotites, carbonatites, syénites, fénites, etc. s'y sont mis en place à la fin du Crétacé (70-80 Ma) dans un soubassement précambrien détritique faiblement métamorphique (quartzites, siltites, argilites, etc.). Une altération météorique ferrallitisante s'est exercée depuis sur ces formations durant une très longue période conduisant à la genèse de puissantes couvertures d'altérites (50-100 m), ainsi qu'à des gîtes de concentration supergènes en Ti, Nb, phosphates, Ba, Terres Rares, etc., de grande importance économique.

A mi-chemin entre Brasilia et Belo Horizonte, près de Patrocínio, l'intrusion domi-

que de Salitre (figure 1a) émerge faiblement d'une armature quartzitique dans un paysage peu accidenté. Une dépression marécageuse en occupe le centre (Lagoa campestre: alt. 1 050 m, 19°00'S, 46°46'W).

Le climat est de type tropical humide tempéré par l'altitude (P=1 600 mm, température moyenne annuelle = 20 °C, saison sèche de 4-5 mois).

Ce sont des travaux de paléoclimatologie et de géochimie qui ont entraîné la découverte de pollens dans la dépression tourbeuse de la «Lagoa campestre» (sondage LC3: Ledru, 1993) et de charbons de bois dans les fosses de reconnaissance pédologiques ouvertes sur les versants de la tourbière. C'est dans l'une d'elles (LCCF1) que nous avons prélevé les charbons de bois (figure 1b).

VÉGÉTATION ACTUELLE

La région de Lagoa Campestre comprend une mosaïque de formations communes au Brésil central. La forêt mésophytique semi-décidue originelle a été en grande partie substituée par différentes formes de *cerrado* ou savanes. Ainsi, autour du site de Salitre, plusieurs formations principales peuvent être distinguées:

a) la forêt mésophytique semi-décidue: elle contient des éléments floristiques semblables au *cerradão* (forme arborée dense du *cerrado*). Les espèces les plus importantes sont: *Machaenium acutifolium*, *Miconia chartacea*, *Rapanea cf. tomentosa*, *Cabranea canjerana*. C'est dans cette formation qu'ont été creusées les fosses pédologiques et récoltés les charbons de bois.

b) plusieurs physionomies de *cerrado*: *cerrado sensu stricto*, *campo cerrado* et *campo sujo*. Les *cerrado* occupent les bords de la lagune et colonisent les espaces ouverts de la forêt. On y trouve *Byrsonima coccolobifolia*, *Solanum lycocarpum*, *Kielmeyera coriacea*, *Dalbergia mischobolium*, *Stryphnodendron adstrindens*, *Erythroxylum spp.*

c) les restes d'une forêt galerie le long du rio Salitre et des formations marécageuses lagunaires avec *Cyperaceae*, *Xyridaceae*, *Eriocaulaceae*, *Typha sp.*, etc.

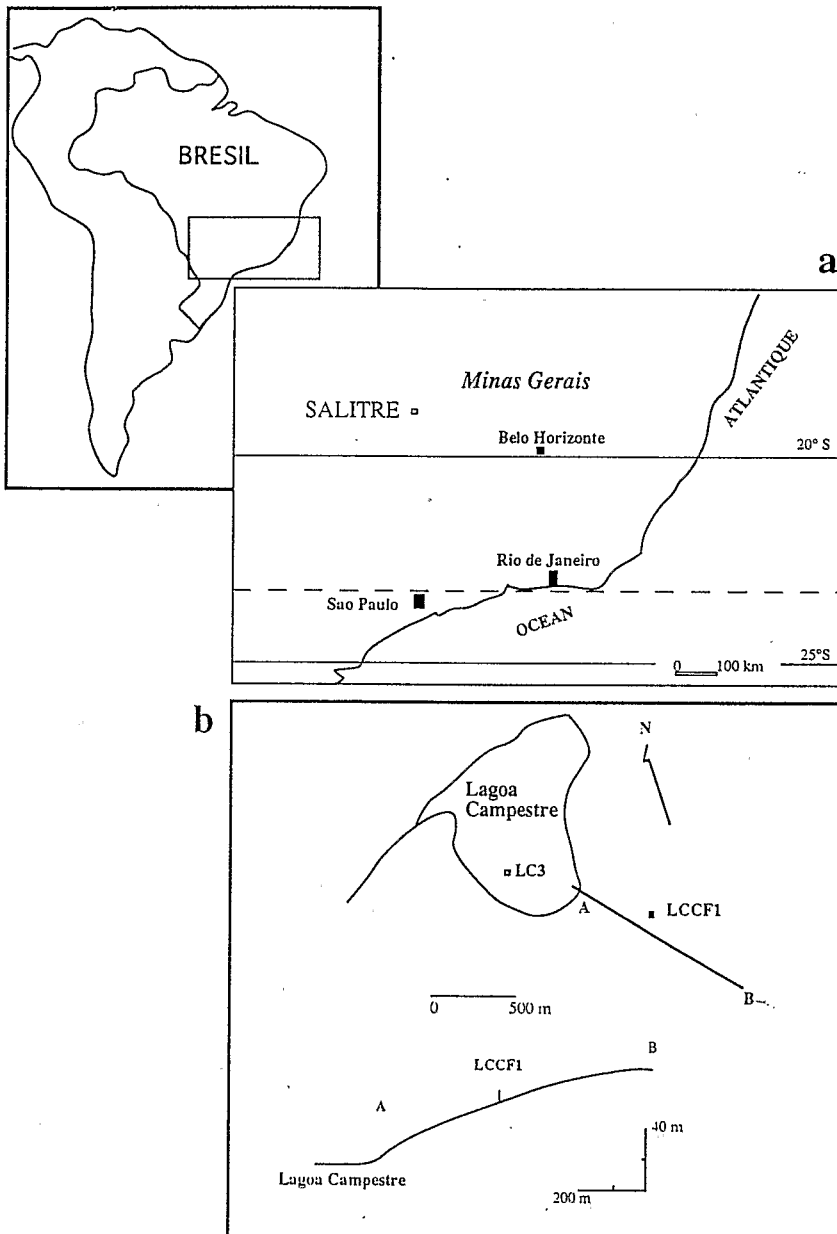


Figure 1 a. Situation géographique de Salitre dans l'état du Minas Gerais (Brésil). b. Le Lagoa campestre avec localisation du sondage palynologique LC3 (Ledru, 1993) et de la fosse pédologique LCCF1.

a. Location of Salitre, in the state of Minas Gerais (Brazil). b. Lagoa Campestre with location of the palynological core LC3 (Ledru, 1993) and of the pedological trench LCCF1.

OBSERVATIONS GÉO-PÉDOLOGIQUES

La fosse pédologique étudiée (LCCF1) est placée à mi-pente vers la dépression interne, dans une parcelle de forêt qui a fait l'objet d'une exploitation par les charbonniers. Sur une profondeur de 2,6 m, la coupe ne révèle aucune stratification apparente d'origine sédimentaire; les seules coupures visibles sont les limites diffuses des horizons pédologi-

ques, discernables grâce à des changements de structure, porosité, consistance et couleur (figure 2a). Les éléments détritiques grossiers sont généralement absents; seuls quelques grains de quartz millimétriques et arrondis ont pu être observés, ainsi que des nodules ferrugineux de taille semblable. Le matériel est argilo-limoneux et fortement micro-agrégé. Des terriers d'animaux fouisseurs de différentes tailles sont visibles sur toute la hauteur de la coupe, mais ne paraissent pas extrêmement abondants. Le diamètre des plus gros est de l'ordre du décimètre (terriers de tatous), mais les plus nombreux sont seulement plurimillimétriques.

Sur le plan pédologique, l'horizon A₀ (0-4 cm), à structure lamellaire grossière et peu marquée, comprend des débris de feuilles en voie de décomposition où la matière minérale est peu abondante; le chevelu racinaire y est très dense et la transition avec l'horizon sous-jacent est nette et plane. Au-dessous (4 à 20 cm), dans l'horizon A₁, les racines de toutes tailles sont très abondantes, l'activité biologique est importante (pellets, déjections...), mais la cohésion de l'ensemble est faible, avec une structure polyédrique à nuciforme moyenne et une sous-structure particulière (micro-agrégée); la couleur est généralement brun foncé (7,5 YR 4/4). La transition avec l'horizon A₃₁ est diffuse et plane comme pour les limites des horizons inférieurs. Entre 20 et 44 cm, les petites racines deviennent nettement moins abondantes que les moyennes et les grosses, la structure de l'ensemble est identique à celle de A₁ tout comme la couleur, légèrement plus claire (7,5 YR 4/6), et on note la présence de nodules argileux compacts, millimétriques à centimétriques, moyennement cohérents et de forme irrégulière. De 44 à 85 cm, l'enracinement est semblable à celui de l'horizon sus-jacent, tout comme la couleur et la structure qui est extrêmement micro-agrégée, le matériel ayant une très faible cohésion, ce qui permet de distinguer un horizon A₃₂ où les nodules argileux sont assez abondants. Au-dessous se trouve un horizon B₂₁ typique (85 à 190 cm), de couleur brun franc (7,5 YR 3,5/6), dans lequel l'enracinement est beau-

coup plus faible et où l'ensemble du matériel est totalement micro-agrégé. Les nodules argileux polyédriques et beiges y paraissent un peu plus nombreux ; leur taille deviendra sensiblement plus grosse dans l'horizon sous-jacent où certains seront pluricentimétriques. A partir de 190 cm commence un horizon B₂₂, plus humide et paraissant plus argileux, avec une structure continue et une ébauche de structure polyédrique moyenne à fine. Le matériel y est de couleur ocre rouge (5 YR 4,5/8) et quelques fines racines y sont présentes.

Cette coupe correspond à la partie supérieure d'un sol ferrallitique meuble (latosol) sous couvert forestier où ne sont visibles que les horizons organiques et deux horizons structuraux. On y notera l'importance de la structure micro-agrégée et la faible cohésion du matériau.

CHARBONS, FEUX ET POLLENS

Sur la coupe, les charbons de bois apparaissant dispersés, des prélèvements de sol ont été réalisés systématiquement par décapages horizontaux de 10 cm sur une surface moyenne comprise entre 1 et 2 m², en mesurant le volume de sol prélevé. Le matériel a été tamisé principalement à l'eau. En tout, plus d'une tonne (810 l) de sédiment a été traitée.

Après séchage, les charbons, de quelques millimètres à 1 cm pour les plus gros, ont été pesés et les valeurs obtenues rapportées au volume de sédiment (figure 2c). On peut noter un maximum important sur les 10 premiers centimètres, valeur qui ne sera plus jamais retrouvée dans les décapages plus profonds. Ceci est certainement à mettre en rapport avec des incendies récents dont on voit encore les traces sur la végétation. Les fréquences chutent ensuite pour atteindre un minimum vers 50-60 cm. A partir de là, elles remontent pour atteindre un maximum plus ou moins doublé entre 120 et 150 cm et décroissent pour devenir très basses à 230 cm où le sondage a été arrêté faute de moyens techniques.

Toutes les datations obtenues situent les charbons de bois dans l'Holocène moyen et récent :

Niveau 20-30 cm :
600 ± 40 BP (OBDY 1254)
Niveau 70-80 cm
3 160 ± 40 BP (OBDY 1255)
Niveau 100 cm :
3 660 ± 90 BP (OBDY 1029)
Niveau 140-150 cm :
5 840 ± 50 BP (OBDY 1252)
Niveau 180-190 cm :
6 330 ± 60 BP (OBDY 1250)

Les dates obtenues présentent une bonne cohérence, elles s'accroissent avec la profondeur et se corrélient linéairement de façon quasi parfaite avec celles-ci (figure 2b) :

$$y = 0,026x + 2,448 \quad (r = 0,982) ;$$

où : y = profondeur (cm) et x = âges ¹⁴C BP.

Ceci suggère un enfouissement régulier des charbons au cours du temps à la vitesse moyenne de 0,26 mm/an. Cet enfouissement pourrait résulter, soit de la remontée de matériel par la faune du sol (termites), soit de phénomènes de colluvionnement (Soubiès, 1980).

Par ailleurs, faute de charbons nombreux, l'extrême base atteinte par le sondage n'a pu être datée. Toutefois, compte tenu de la bonne régularité des dates, il est possible de calculer pour 230 cm, à partir de l'équation de la droite, une valeur de 8 752 BP, ce qui place la base de la coupe très près du début de l'Holocène.

Les travaux palynologiques sur la tourbière de Salitre (LC3 : Ledru, 1993) ont mis en évidence pour l'Holocène, entre 9 200 et 8 000 BP au moins, un assemblage à *Araucaria illex*, *Myroxylon*-type parmi les pollens les plus significatifs, *Araucaria* notamment, atteint un peu plus de 10 %. Ces taxons ainsi que *Symplocos*, *Podocarpus* et *Drimys* sont dominants, signant le développement de la forêt d'*Araucaria* que l'on associe à un climat frais et humide, sans saison sèche et des températures moyennes hivernales inférieures à 10°C. Puis, une forêt semi-décidue avec 2 mois de saison sèche se met en place entre 8 500 et 6 500 BP (zone pollinique IIIb, Ledru, 1993).

La séquence anthracologique de Salitre se place dans cette perspective. En effet, entre

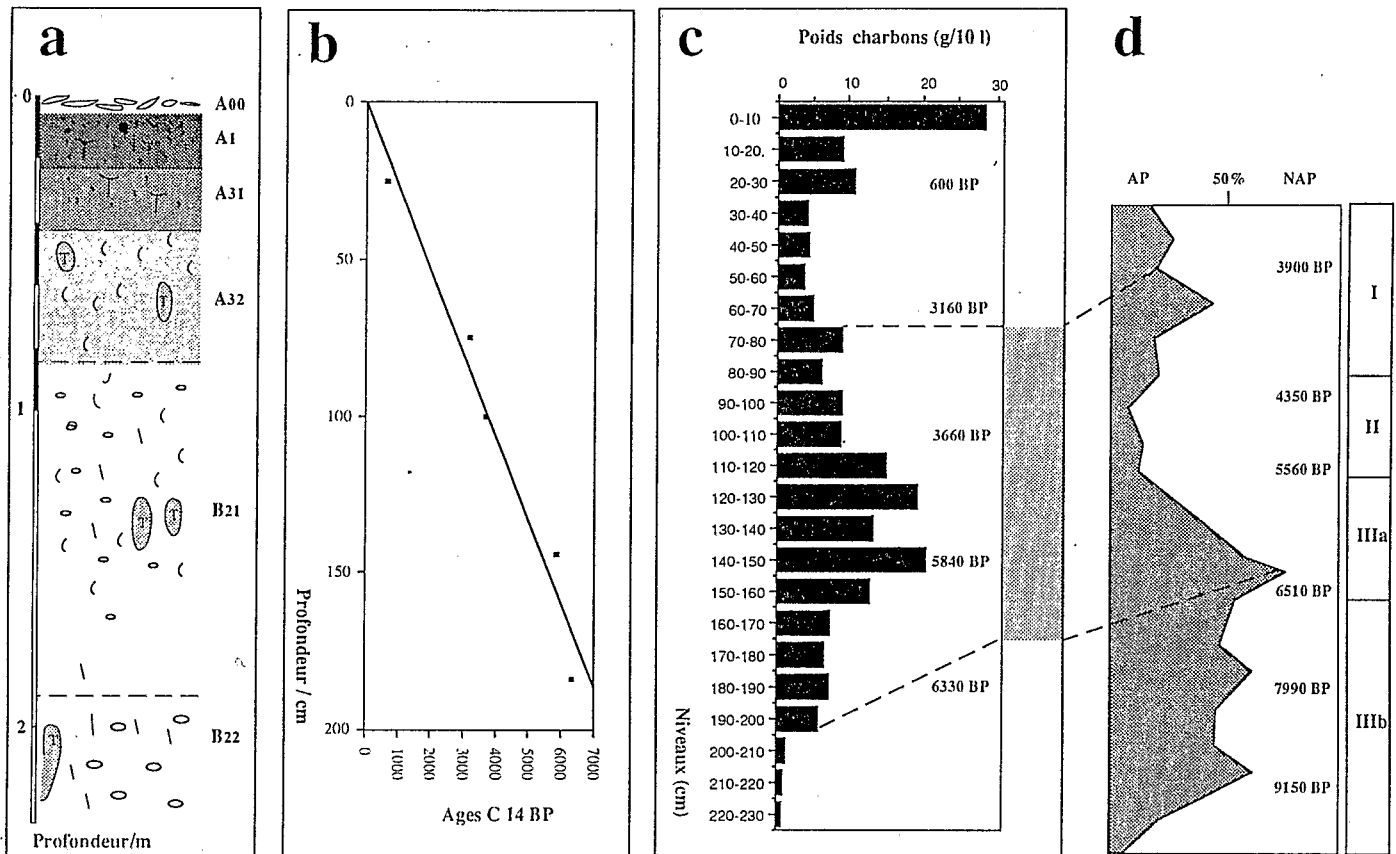


Figure 2 Salitre LCCF1: a. Profil pédologique, T = terriers; b. Variations des âges avec la profondeur. c. Profil anthracologique, noter la concentration des charbons durant l'Holocène moyen-récent; d. Pollens d'arbres (AP) et d'herbacées (NAP) à LC3, Ledru, 1993.

Salitre LCCF1: a. Soil profile, T = disturbed areas; b. Age variation according to depth.

c. Anthracological sequence, note concentration of charcoal during Middle-Recent Holocene (dotted line). d. Arboreal pollen from LC3, Ledru, 1993.

6510 et 5560 BP (zone pollinique IIIa), les pollens d'arbres chutent pour atteindre des valeurs de l'ordre de 10 %, fréquences qui se maintiendront pour remonter ensuite vers la fin du diagramme datée à 3000 BP (figure 2d). Le sol enregistre en même temps et *in situ*, comme les observations pédologiques l'ont montré, un fort accroissement de sa teneur en charbons de bois qui culmine à 5840 BP; ces valeurs – qui passent de 0,06 g/l à 220 cm à 2,06 g/l à 140 cm – déclineront ensuite pour atteindre 0,1 g/l dans le niveau 20-30 cm antérieur à 600 BP. L'accroissement de la teneur en charbons coïncide avec la disparition d'*Araucaria* et *Drimys*, la forte décroissance de *Myroxylon*-type et de *Symplocos*.

L'arrivée d'une forte sécheresse d'au moins deux mois démontrée par la disparition des *Araucaria*, la recrudescence des feux, sont corrélables avec l'extension de la forêt mésophile semi-décidue comprenant des Mélastomatacées-Combrétacées, *Miconia*-type

ainsi que d'abondantes Poacées. Le phénomène climatique a été enregistré ailleurs au Brésil (Servant *et al.*, 1989; Sifeddine *et al.*, 1994). Par ailleurs, une étude fine de la coupe pédologique de Salitre et de ses environs n'a pas révélé de traces d'artefacts anthropiques, ce qui renforce notre interprétation de feux vraisemblablement « naturels » indépendants de l'action de l'homme.

Jusque vers 3000 BP, les fréquences de pollens de Poacées resteront élevées et les Mélastomatacées-Combrétacées, quoique représentées en plus faibles proportions, demeureront notables. Ces résultats sont cohérents avec les données anthracologiques qui témoignent d'un ralentissement de la fréquence des feux jusque vers 3000 BP. Après 3000 BP et jusqu'à une époque toute récente – antérieure à 600 BP – les incendies atteignent leurs valeurs les plus basses. Des données polliniques nouvelles sur une autre carotte (Lagoa campestre, LC 91/1, Ledru *et al.*, 1994) vérifient bien l'hypothèse que la pé-

riode postérieure à 3 000 BP a vu se reconstituer une végétation forestière. Les feux reprendront ensuite, vers 600 BP, pour s'intensifier au cours de notre époque pour les besoins de l'industrie du charbon de bois.

CONCLUSIONS

Il paraît maintenant très probable – mais il faudrait renouveler des travaux de ce type – que la sécheresse et le feu sont largement responsables de la mise en place des forêts semi-caducifoliées à Salitre, dans le centre du Brésil. L'action intense du feu, depuis l'Holocène moyen, aurait largement contribué à faire naître le paysage de savane. Même si l'action de l'homme était démontrée, elle ne pourrait être que secondaire, au contraire de

ce que l'on a proposé (Lund, 1835; Loefgren, 1898). Les latosols sur lesquels se développent ces végétations représentent également un élément fondamental. D'une manière générale, la forêt intertropicale a bien été très largement affectée par la sécheresse et les incendies concomitants de l'Holocène moyen, comme les travaux récents le montrent bien (Servant *et al.*, 1989; Sifeddine *et al.*, 1994). C'est la première fois que l'on peut aller plus loin dans cette démonstration grâce aux recherches conjointes en anthracologie et palynologie.

Ces données maintenant bien étayées, qui seront complétées en particulier par l'identification des essences brûlées et des mesures isotopiques, doivent nous permettre de mieux comprendre la biodiversité et l'écologie de ces régions.

Ce travail a été financé sur le terrain et au laboratoire par le programme IAG/USP-NUPEGEL, projeto tematico processo 91/3518-0 FAPESP et par le programme ECOFIT CNRS-ORSTOM. Les prélèvements de charbons ont été réalisés avec l'aide de M.-F. Vernet et B. Wengler.

ABSY, M. L., CLEEF, A. M., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SIFEDDINE, A., FERREIRA DA SILVA, M. F., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCO, 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, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, p. 673-678.

KLEIN, R. M., 1975. Southern Brazilian phytogeographic features and the probable influence of upper Quaternary climatic changes in the floristic distribution, *Boletim Paranaense de Geociencias*, 33, p. 67-88.

LOEFGREN, A. et EDWALL, G., 1897-1905. Flora Paulista, *Bol. Comm. Geogr. Sao Paulo*, 1-4, p. 12-15.

LUND, P. W., 1835. Bemaerkninger over vegetation paa de indre Hogsletter af Brasilien, isaer i plantehistoriske henseende, *Kgl. Danske Videnskab. Selsk. Skrifer* VI, p. 145-188.

LEDRU, M. P., 1993. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil, *Quaternary Research*, 39, p. 80-98.

LEDRU, M. P., BEHLING, H., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., 1994. Localisation de la forêt d'*Araucaria* du Brésil au cours de

l'Holocène. Implications paléoclimatiques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 317, série II, p. 517-521.

SANFORD, R. L., SILDARRIAGA, J., CLARK, K. E., UHL, C., HERRERA, R., 1985. Amazon rain forest fires, *Science*, 227, p. 53-55.

SERVANT, M., FONTES, J. C., RIEU, M., SALIEGE, F., 1981. Phases climatiques arides dans le Sud-Ouest de l'Amazonie (Bolivie), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, série II, p. 1295-1297.

SERVANT, M., FOURNIER, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCO, B., 1989. Sécheresse holocène au Brésil (18°-20°S). Implications paléoclimatiques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, p. 153-156.

SIFEDDINE, A., FRÖHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SOUBIES, F., TURCO, B., SUGUIO, K., VOLKMER-RIBEIRO, C., 1994. La sédimentation lacustre, indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, série II, p. 1645-1652.

SOUBIES, F., 1980. Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons de bois (6 000-3 000 BP), *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, 1, p. 133-148.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES