

## Modifications de la végétation du Brésil Central entre la dernière époque glaciaire et l'interglaciaire actuel

Marie-Pierre LEDRU

**Résumé** — L'étude palynologique de Salitre (19° S Lat., Brésil), complétée par les datations  $^{14}\text{C}$ , montre pour les 30 derniers millénaires que la végétation arborée s'est développée à 13 000 et à 9 500 ans B.P. et a régressé à 10 500 et 5 500 ans B.P. Des divergences avec l'évolution de la végétation à Carajás (5° S Lat., Amazonie) sont expliquées par la présence d'advections polaires dans ces régions.

### Vegetation changes in Central Brazil between the Late Glacial and the present interglacial

**Abstract** — The evolution of vegetation during the past 30,000 years in Salitre (19° S Lat., Brazil), supported by  $^{14}\text{C}$  dates, shows expansion of the forest at 13,000 years B.P. and at 9,500 years B.P. and its regression at 10,500 years B.P. and at 5,500 years B.P. Differences from the evolution of vegetation in Carajás (5° S Lat., Amazonia) can be explained by the effects of polar advections.

**Abridged English Version** — Very few palynological records of the past 30,000 years have been obtained in the tropical lowlands of South America (Fig. 1) [1]. In Carajás [2] (5° S Lat.) a dry period indicated by the regression of the forest is recorded between 23,000 and 11,000 years B.P. and at 5,000 years B.P.; on the other hand the highest frequency of arboreal pollen is dated at 9,500-8,000 years B.P. In Salitre (19° S Lat.) climatic changes are submitted to a peculiar atmospheric dynamic that could affect differently the evolution of the vegetation.

**CLIMATIC AND BOTANICAL SETTINGS.** — The climate in Central Brazil (15-25°C Lat.) is related to an annual and latitudinal shift of the ITCZ. However, this general pattern is altered by the effects of polar advections inducing very cool temperatures and occasional frost from Southern to Northern Brazil, and rainfalls when they meet the Atlantic circulation affecting the length of the dry season ([3], [4]).

From South to North in the lowlands three types of vegetation [5] are related to this climatic pattern. 1. The *Araucaria* forest with no dry season and mean winter temperatures less than 10°C. 2. The mesophytic semideciduous forest with a short dry season and mean winter temperatures from 10 to 15°C. 3. The *cerrado*, a wooded savanna, with a 4-month dry season and mean winter temperatures above 15°C. In these of forests the amount of mean annual precipitation ranges from 1,500 to 2,000 mm; the mean winter temperature and the length of the dry season are the limiting factors for the distinction of the various types of forest. The modern pollen rain of these vegetation types is given through the analysis of soil surface samples collected at sites where detailed botanical surveys were also carried out [6].

**PALYNOLOGICAL DATA AND PALEOCLIMATIC INTERPRETATIONS.** — We present here the palynological results of the analysis of 40 stratigraphic levels in the upper 2 m of a 6 m deep core taken in the peat bog of Salitre (19° S Lat., 46° 46' W Lg., 1050 m Alt.). The palynological analysis is supported by  $^{14}\text{C}$  dates and the section is divided in eight pollenzones (Fig. 2). 1. In zone VII, dated at ca 28,000 years B.P., the development of a flooded forest (defined as

Note présentée par Yves COPPENS.

Igapó in the present amazonian flora) [5] relates to high winter temperatures (above 15°C) and no dry season. 2. In zone VI, dated between 17,000 and 13,000 years B.P., the vegetation cover becomes more open and the increase of *Sphagnum* shows that soils are marshy. The mean winter temperature is lower than today as is attested by the increase of *Drymis*, *Symplocos* and *Podocarpus*, the dry season is longer than in the previous zone. This cold period is related to the end of the Last Glacial maximum [7]. 3. Zone V, dated between 13,000 and 11,000 years B.P., is characterized by an increase of the forest elements and by the presence of *Araucaria* which indicates, referring to present data, cold and moist climatic conditions. This development of the forest is often described in the tropical lowlands as a return to moister conditions ([1], [8]). 4. Zone IV, dated at ca 10,500 years B.P., is characterized by an abrupt decrease of forest elements in response to a longer dry season and cool temperatures. This episode could be related to the existence of a South American Younger Dryas equivalent [11]. 5. Zone III, between ca 9,500 and 5,500 years B.P., is characterized by an increase of forest elements. Two subdivisions were made according to differences in the forest composition: III *b* is characterized by the increase of the *Araucaria* forest taxa that relate to low winter temperatures and no dry season; III *a* by the development of a mesophytic semideciduous forest that relates to a 2-month dry season and mean winter temperatures between 10 and 15°C. The increase of arboreal pollen at the Holocene is also indicated in Amazonia [2] and lowlands in West Africa [12]. 6. Zone II indicates open vegetation at ca 5,500 years B.P. where the percentages of the Poaceae (Gramineae) reach 80%. Only arid conditions can explain the extension of grassland. This is contemporaneous of the climatic optimum of the northern hemisphere [9] and, in Africa, moister conditions were recorded [12]. 7. In zone I, between 4,500 and 3,000 years B.P., arboreal pollen increase and relate to moister climatic conditions, close to those of today. The last 15 cm could not be analyzed because of disturbances during the coring.

CONCLUSIONS. — 1. Climates in Central Brazil appear to have been cooler and drier than today until 13,000 yr B.P. but not drastic enough to eliminate the forest elements. The Salitre pollen diagram offers a good record of the past vegetation and climatic changes for the past 13,000 years in agreement with global changes. A transitional forest developed between ca 13,000 and 11,000 yr B.P., followed by a short dry period related to the Younger Dryas event, whereas the onset of the moist forest starts with the *Araucaria* community followed by the mesophytic semideciduous forest at ca 8,000 yr B.P. 2. During the Holocene a cooler climate than today remains until ca 8,000 yr B.P. 3. The dry period of the middle Holocene, between ca 5,500 and 4,500 yr B.P., is in good agreement with the record of other sites in equatorial Brazil [2] and in the Andes ([13], [14]).

---

I. INTRODUCTION. — L'étude paléoclimatique du Quaternaire récent à partir du marqueur palynologique est encore peu développée dans les régions tropicales de basse altitude de l'Amérique du Sud (fig. 1) [1]. A Carajás [2] (5°S Lat., Amazonie), deux phases climatiques sèches marquées par la disparition de la forêt sont enregistrées entre 23 000 et 11 000 ans B.P. et à 5 000 ans B.P., alors que la fréquence maximale des taxons arborés se situe vers 9 500-8 000 ans B.P. A Salitre les variations climatiques sont soumises à une dynamique atmosphérique particulière affectant peut être d'une autre façon l'évolution de la végétation.

II. CLIMAT ET VÉGÉTATION ACTUELS. — Le climat du Brésil Central (15-25°S Lat.) est contrôlé par le déplacement en latitude au cours de l'année de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT). Mais des advections d'air polaire se produisant en toutes saisons modifient ce schéma. Pendant l'hiver austral, elles provoquent de fréquentes diminutions de la température ainsi que des gelées épisodiques dans le Sud du Brésil et parfois même en pleine zone tropicale. En outre elles sont à l'origine de précipitations plus ou moins abondantes, provoquées par la pénétration de l'air polaire dans l'atmosphère tropicale humide, atténuant la longueur de la saison sèche, pratiquement inexistante au sud du Brésil ([3], [4]).

Trois types de végétation [5], qui se succèdent selon un gradient Sud-Nord, à altitude constante, reflètent ces données du climat : 1. La forêt d'araucaria qui ne connaît pas de saison sèche et qui supporte des températures hivernales inférieures à 10°C ainsi que des gelées. 2. La forêt mésophile semi-décidue tolérant une courte saison sèche et des températures hivernales comprises entre 10 et 15°C. 3. le *cerrado*, sorte de savane boisée, caractérisé par une longue saison sèche de 4 mois en moyenne et des températures hivernales supérieures à 15°C. Les moyennes des précipitations sont les mêmes pour ces trois types de végétation, de l'ordre de 1 500 à 2 000 mm. Ceci montre que le facteur déterminant est, avec la température hivernale, la durée de la saison sèche.

La caractérisation palynologique de ces trois types de végétation a été réalisée par l'analyse d'échantillons prélevés dans les horizons superficiels des sols actuels sur des sites ayant fait l'objet de relevés botaniques détaillés, entre 15 et 25°S de latitude. Ceci nous a permis de définir la plupart des équivalents actuels des différents types de végétation qui se sont succédés à Salitre au cours du Quaternaire récent [6].

III. DONNÉES PALYNOLOGIQUES ET INTERPRÉTATIONS PALÉOCLIMATIQUES RÉGIONALES. — Notre étude a porté sur les 2 m supérieurs d'un sondage de 6 m, effectué avec un carottier à vibration dans la tourbière de Salitre (19°S Lat., 46°46' W Lg., 1 050 m Alt.); celle-ci étant située dans une zone de savane boisée (*cerrado*). 14 datations par le radiocarbone se révèlent cohérentes (fig. 2). Elles montrent notamment que la période comprise entre 28 740 et 17 000 ans B.P. est représentée seulement par 13 cm de dépôts, suggérant un fort ralentissement de la croissance de la tourbière ou un arrêt de la sédimentation de telle sorte que l'on ne dispose d'aucune information précise sur cette période.

Le diagramme simplifié de la figure 3 est divisé en huit zones palynologiques permettant de cerner l'évolution du climat au cours des 30 derniers millénaires.

La zone VII est datée de 28 000 ans B.P. environ dans sa partie supérieure. Le spectre pollinique composé de Myrtacées, *Alchornea*, *Celtis*, *Miconia*, *Melastomataceae/Combretaceae* est caractéristique de celui des forêts temporairement inondées de l'Amazonie : les Igapós ([5], [8]). L'absence de *Sphagnum* et la pauvreté en espèces herbacées confirment la nature inondée du terrain. Cette forêt réclame des précipitations abondantes (> 2 000 mm par an), des températures élevées et pas de saison sèche.

La zone VI, entre 17 000 et 13 000 ans B.P., est marquée par une diminution progressive des taxons arborés culminant vers 13 000 ans B.P. et affectant tous les taxons de la zone VII. La végétation devient plus ouverte, les sols sont humides mais pas inondés et permettent le développement des ombellifères (Apiacées). L'apparition des *Sphagnum* atteste de la formation de la tourbière. La température hivernale est inférieure à 10°C (présence d'espèces se développant sous des basses températures telles *Drymis*, *Symplocos* et *Podocarpus*) et la durée de la saison sèche augmente.

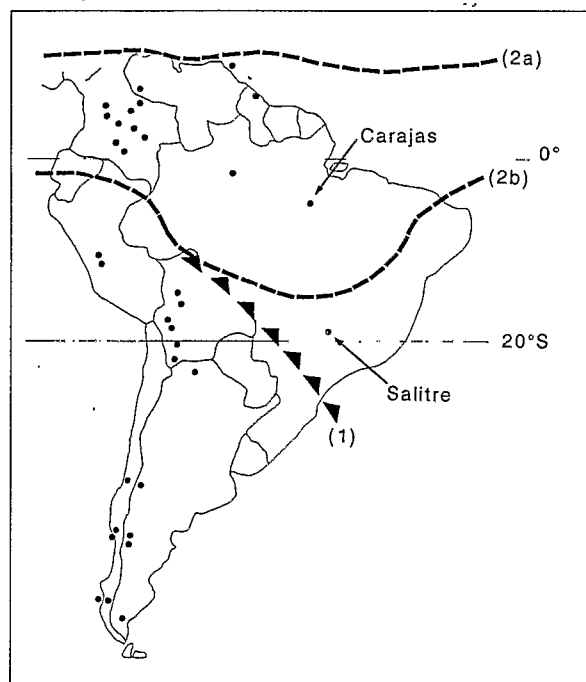


Fig. 1. — Carte des données palynologiques en Amérique du Sud [1], situation de Salitre (19°S) et Carajás [2] et position moyenne du front polaire (1) et de la Zone de Convergence Intertropicale en juillet (2a) et en janvier (2b).

Fig. 1. — Map of South America with all the palynological records [1], the location of Salitre (19°S) and Carajás [2] and mean position of the polar front (1) and of the Intertropical Convergence Zone in July (2a) and January (2b).

La zone V, de 13 000 à 11 000 and B.P. enregistre une plus grande abondance des taxons arborés, marquée par une augmentation de la fréquence des Myrtacées et une diminution de la fréquence des *Sphagnum* et des Apiacées, dues à une diminution de la durée de la saison sèche. Toutefois nous n'observons pas le rétablissement d'une forêt inondée. L'apparition de *Araucaria* suggère que les conditions climatiques froides favorables à ce taxon étaient présentes à Salitre (gelées épisodiques et saison sèche peu marquée).

La zone IV, datée de 10 500 ans B.P. environ, se caractérise par une brusque diminution de la fréquence des taxons arborés. La saison sèche est plus longue que dans la zone précédente (disparition des araucarias). Les deux datations par le radiocarbone qui encadrent cette zone palynologique sont identiques si l'on tient compte de la marge d'erreur. Cela indique que les dépôts correspondant se sont mis en place rapidement et que la phase climatique a été relativement brève.

La zone III, entre 9 500 et 5 500 and B.P., est marquée à la base par une forte augmentation de la fréquence des taxons arborés; deux sous-zones sont distinguées en fonction de différences écologiques : III b enregistre l'apparition et le développement de la forêt d'araucaria, la tourbière est toujours présente. Les températures sont basses, la saison sèche n'existe pas et les gelées hivernales sont fréquentes. III a voit la forêt d'araucaria disparaître au profit d'une forêt de type mésophile semi-décidue avec *Miconia*, *Alchornea*, *Arecaceae*. La saison sèche a une durée de 2 mois et les températures sont plus élevées entre 8 000 et 5 500 ans B.P.

La zone II enregistre une très forte baisse des fréquences des taxons arborés, la plupart des plantes hygrophiles disparaissent ainsi que les *Sphagnum*. Seules les Poacées subsistent avec une fréquence de 80 %. Les sols s'assèchent, le maximum de l'aridité est atteint à 5 000 and B.P. Des températures élevées (supérieures à 15°C en hiver) et une longue saison sèche (plus de 4 mois) peuvent expliquer ces changements du couvert végétal.

La zone I, entre 4 500 et 3 000 ans B.P., se caractérise par une augmentation des taxons arborés et donc un retour à des conditions climatiques plus humides, avec un optimum à 4 000 ans B.P. Ceci est démontré par la présence de taxons caractéristiques de la forêt mésophile semi-décidue.

La zone 0 n'a pu être analysée à cause d'une perturbation des dépôts superficiels lors du carottage.

IV. DISCUSSION PALÉOCLIMATIQUE. CORRÉLATIONS AVEC D'AUTRES RÉGIONS. — 1. *Températures*. — La phase froide datée 17 000 à 13 000 ans B.P. et la phase chaude de 5 000 ans B.P. peuvent être corrélées respectivement avec les dernières extensions maximales des glaciers à toutes les latitudes [7] et l'optimum thermique post-glaciaire de l'hémisphère boréal [9]. De même, l'épisode froid que nous situons près de la limite entre le Pléistocène et l'Holocène, pourrait correspondre à une brève et intense diminution la température (Dryas récent) bien connue en Europe ([10], [7]) mais dont on connaît encore mal l'extension à l'échelle du globe, notamment en Amérique du Sud [11].

2. *Précipitations*. — La sécheresse observée entre 17 000 et 13 000 ans B.P. et l'instauration de conditions plus humides vers 13 000 ans B.P. sont des événements souvent signalés dans la zone intertropicale ([1], [12]). De même, le développement de la forêt humide au début de l'Holocène est un phénomène connu dans les forêts tropicales de basse altitude en Amazonie [2] et en Afrique de l'Ouest [12]. Enfin la sécheresse de l'Holocène moyen a été identifiée dans de nombreux sites de l'Amérique sud-équatoriale ([13], [1]) et elle s'oppose aux conditions humides qui ont alors affecté les domaines actuels de la mousson en Afrique [12].

3. *Particularités régionales*. — Les advections polaires qui ont lieu au Brésil Central ont pu moduler la réponse de la végétation aux changements globaux. Pendant la période glaciaire, les fronts polaires stationnaires dans la région de Salitre, ont été à l'origine des précipitations d'hiver qui ont atténué la phase sèche (17 000-13 000 ans B.P.) ou renforcé la phase la phase humide (13 000-11 000 ans B.P.). Pendant l'interglaciaire actuel, la pénétration de l'air polaire peut expliquer le maintien de températures relativement basses jusqu'à 8 000 ans B.P. alors qu'elles étaient proches de leurs valeurs actuelles dans d'autres régions de l'hémisphère Sud [14]. La phase chaude et sèche de l'Holocène moyen (5 000 ans B.P.) montre que la région de Salitre était alors typiquement tropicale, les précipitations de front polaire étant probablement plus au Sud.

V. CONCLUSIONS. — 1. L'évolution de l'environnement et du climat de Salitre est en bon accord avec les changements globaux des derniers 13 000 ans au cours desquels des conditions climatiques plus froides et plus sèches qu'aujourd'hui sont enregistrées. Une forêt de transition s'est développée entre 13 000 et 11 000 ans B.P. suivie d'une brève période sèche apparentée au Dryas récent. 2. Au cours de l'Holocène un climat plus froid que l'actuel s'est maintenu jusqu'à 8 000 ans B.P. 3. La phase sèche de 5 000 ans B.P. est aussi enregistrée sur d'autres sites de la zone équatoriale et des Andes.

Note remise le 8 juillet 1991, acceptée après révision le 22 novembre 1991.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] V. MARKGRAF, *Quaternary Science Reviews*, 8, 1989, p. 1-24.
- [2] M. L. ABSY, A. M. CLEEF, M. FOURNIER, M. SERVAÏT, A. SIFFEDINE, M. F. F. SILVA, F. SOUBIES, K. SUGUIO, B. TURCO et T. VAN DER HAMMENT, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, 1991, p. 673-678.
- [3] P. VAUGHAN-WILLIAMS, *Brasil. A concise thematic geography*, Hyman, 1988, 166 p.

- [4] P. PAGNEY, *Les climats de la Terre*, Masson, 1976, 150 p., Paris.
- [5] R. SCHNELL, *La flore et la végétation de l'Amérique tropicale*, Masson, 1987, Paris.
- [6] M. P. LEDRU, *Thèse*, Muséum National d'Histoire Naturelle, 1991, 193 p.
- [7] W. S. BROECKER et G. H. DENTON, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 1989, p. 2465-2501.
- [8] M. L. ABSY, *Amazonia*, Pergamon Press, 1985, p. 72-82, Londres.
- [9] J. GUIOT, A. PONS, J. L. de BEAULIEU et M. REILLE, *Nature*, 338, 1989, p. 309-313.
- [10] R. G. FAIRBANKS, *Nature*, 342, 1989, p. 637-642.
- [11] V. MARKGRAF, *Boreas*, 20, 1991, p. 63-70.
- [12] J. MALEY, *Palaeocology of Africa*, 18, A. A. Balkema, 1987, p., Rotterdam.
- [13] M. SERVANT, M. FOURNIER, F. SOUBIES, K. SUGUIO et B. TURCQ, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 309, série II, 1989, p. 153-156.
- [14] S. SERVANT-VILDARY et M. ROUX, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 311, série II, 1990, p. 429-436.

Programme GEOCIT, URIC, ORSTOM,  
70-74, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex.

#### EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 2. — Diagramme pollinique simplifié de la carotte LC3 de Salitre. Les pourcentages sont calculés par rapport à la somme totale des pollens en excluant les taxons hygrophiles et aquatiques. Les datations  $^{14}\text{C}$  sont réalisées par M. Fournier (Laboratoire des Formations superficielles, ORSTOM).

Fig. 2. — Summary pollen diagram of the core LC3 from Salitre. All percentages are related to the pollen sum, hygrophilic and aquatic taxa excluded.  $^{14}\text{C}$  dates are given by M. Fournier (Laboratoire des Formations superficielles, ORSTOM).

