EXISTENCE D'UNE PHASE SÈCHE EN AMAZONIE BRÉSILIENNE DATÉE PAR LA PRÉSENCE DE CHARBONS DANS LES SOLS (6.000-3.000 ANS B.P.)

François SOUBIÈS

Pédologue O.R.S.T.O.M.
Instituto Geociências, Rua Caetano Moura, 123, 40.000 Salvador (BA), Brésil

Résumé

L'observation des coupes de la route transamazonienne N.S. reliant Santarém (Pará) à Cuiabá (Mato Grosso) a révélé que dans une vaste zone sous forêt au S.-O. du Pará, les sols renfermaient de façon sporadique, à une profondeur assez faible et à peu près constante, des débris charbonneux d'origine végétale. Les datations ^{14}C effectuées permettent de situer l'époque de la carbonisation vers 3.000 à 6.000 ans B.P. Différents arguments d'ordre pédologique et climatique portent à penser que la genèse de ces dépôts de charbons est vraisemblablement liée à l'incendie d'une ancienne couverture végétale lors d'un épisode climatique plus sec que l'actuel.

Mots-clés : Amazonie brésilienne. Bois carbonisés. Sols ferrallitiques. Forêt tropicale humide. Datation ^{14}C. Paléoclimats. Holocène.

Resumo

A observação dos cortes da estrada transamazônica B.R. 163 ligando Santarém (Pará) à Cuiabá (Mato Grosso) mostrou que em uma vasta área ocupada pela floresta, a S.-O. do Pará, os solos encerraram casualmente, numa profundidade bastante fraca e aproximadamente constante, fragmentos de carvão de origem vegetal. As datações ^{14}C executadas permitem situar o período da carbonização em torno de 3.000 a 6.000 anos B.P. Diferentes argumentos principalmente pedológicos e climatológicos levam a pensar que a gênese desses depósitos de carvão estaria relacionada ao incêndio de uma antiga cobertura vegetal durante um episódio climático mais seco que o atual.

Abstract

Existence of a dry period in the Brazilian amazonia dated through carbons in the earth (6000-3000 years B.P.)

Roadcuts along the Brasilian Transamazonian Highway BR-163, joining Santarém (Pará) to Cuiabá (Mato Grosso), show that in a broad belt covered by the tropical rain forest in the southwest of Pará State the soils contain sporadically, at a rather shallow and nearly constant depth, coal fragments of vegetal origin. ^{14}C dating shows that the carbonisation age lies in the range of 3.000 to 6.000 years B.P. Pedological and climatological arguments point to the likelihood that these coal deposits are related to the burning of ancient vegetal cover under climatic conditions drier than the present one.

Key words: Brazilian Amazonia. Carbonaceous woods. Ferralitic soils. Wet tropical forest. Geochronology. Paleoclimates. Holocene .

Introduction

Les observations rapportées dans cet article ont été effectuées dans la partie orientale du bassin de l'Amazone, au S.O. de l'état du Pará (Brésil), le long du nouvel axe routier (BR-163) reliant Santarém, sur le confluent Tapajós-Amazonas, à Cuiabá, 1 800 km plus au Sud, dans l'état de Mato Grosso (fig. 1). Entre Itaituba et Cachimbo, tronçon où se situent plus précisément nos observations (fig. 2), la BR-163 traverse sur plusieurs centaines de kilomètres une vaste région sous forêt pratiquement inhabitée et jusqu'ici très difficile d'accès. Cette partie du Bassin Amazonien comprise entre le Tapajós et le Xingu, éloignée des voies d'eau facilement navigables, est restée peu connue jusqu'à une date assez récente. Ce n'est qu'à partir de 1970 que les connaissances sur cette région se sont considérablement accrues grâce à divers travaux de prospection géologique et minière (GEOMITEC, 1972. DOCEGEO, 1975..., etc.) et grâce, surtout, aux remarquables travaux cartographiques de l'organisme fédéral de recherche « projeto RADAM ». Ces travaux ont été réalisés antérieurement à l'ouverture de la route. La zone qui nous intéresse ici est en partie couverte par les différentes cartes au 1/1.000.000 publiées par le « RADAM » en 1975 dans son volume n° 7. Ce volume, ainsi que ceux parus depuis ou antérieurement et qui se rapportent à d'autres secteurs du bassin amazonien, renferme une masse considérable de données, particulièrement précieuses, sur le milieu naturel d'Amazonie ; il y a largement été fait appel dans ce travail. Afin de tirer parti des coupes fraîches et des facilités de communication offertes par la route nouvellement construite, une reconnaissance géologique et minière des formations bordant cet axe fut entreprise de 1975 à 1977 par la section de géologie de l'Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará (IDESP-Projeto « Santarém - Cachimbo »). Le finan-

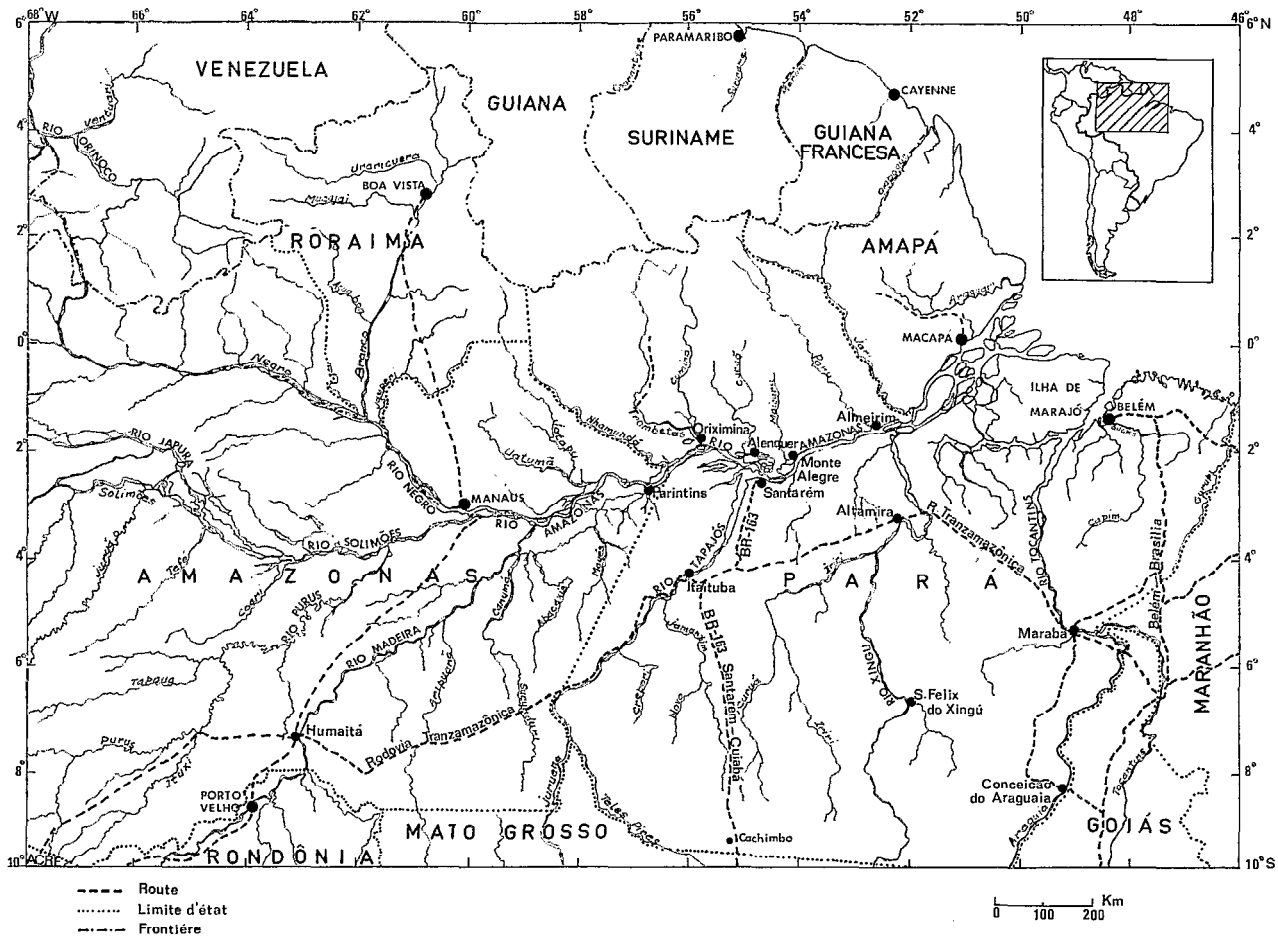


Fig. 1. — Carte de situation (d'après Docegeo (Xe Conf. Geol. Interguianas) et Projeto Radam.)

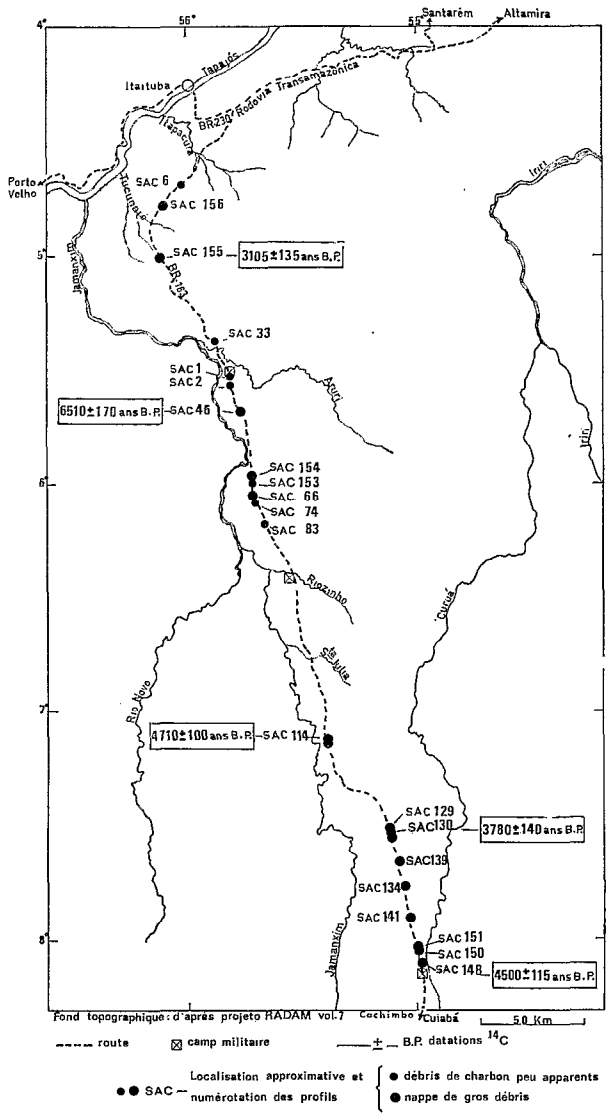


Fig. 2. — Profils contenant des charbons fossilisés : localisation et datations.

cement des travaux était dû à la Superintendencia do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) dans le cadre du programme « POLAMAZONIA » de mise en valeur de l'Amazonie. C'est au cours de cette prospection qu'ont été effectuées les observations.

Le Milieu

Légèrement au sud d'Itaituba, vers 4° 30′ de latitude sud, peu après son intersection avec l'axe transamazonien est-ouest BR-230 (fig. 2) la route Santarém - Cuiabá, qui courrait jusque là sur des sédiments tertiaires ou paléozoïques, aborde puis recoupe sur plusieurs degrés de latitude une vaste zone de roches éruptives précambriennes (granites et rhyolites essentiellement) appartenant au craton du Guaporé. Le paysage associé à ce soubassement cristallin est de type vallonné ; des secteurs assez accidentés, de 300 à 400 m d'altitude, alternent avec des étendues mieux aplanies et plus basses (150 m environ). Le réseau hydrographique, de type dendritique, est très dense. Le climat est tropical humide avec une saison sèche courte, mais nettement marquée, d'une durée de 3 à 4 mois et une pluviosité annuelle moyenne pouvant varier de 1 800 mm à 2 800 mm selon les lieux (fig. 3). La moyenne annuelle de température est voisine de 27 °C. Une forêt humide, sempervirente, de physionomie variable, occupe l'ensemble du paysage (fig. 4).

Vers 8° 30′ de latitude, une centaine de kilomètres avant la frontière Pará - Mato Grosso, le paysage change brutalement. La route rencontre à ce niveau, puis recoupe, une épaisse série détritique gréseuse précambrienne formant des reliefs tabulaires de 400 à 500 m d'altitude : les « Chapadas e Serras do Cachimbo ». La savane ou « cerrado » remplace alors la forêt sans que, apparemment, le macroclimat ne subisse de modification importante ; il reste sensiblement le même que dans la zone sous forêt traversée jusque là et qui s'étend au nord jusqu'à l'Amazone.

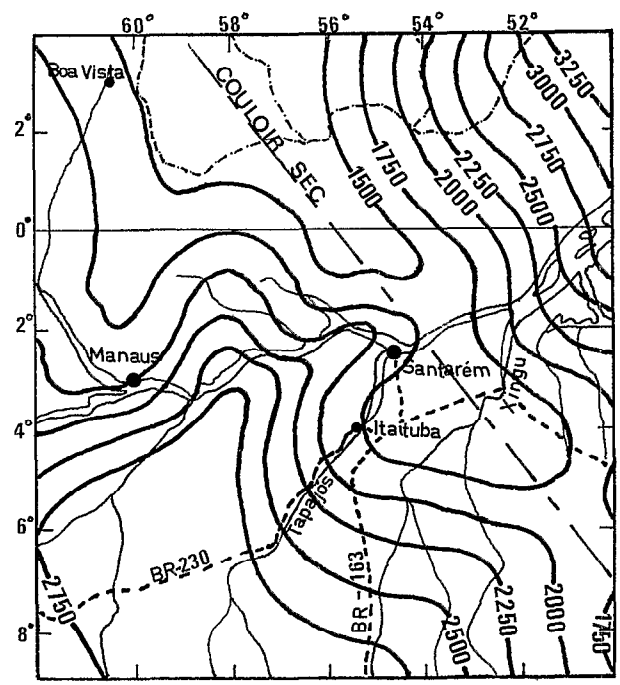


Fig. 3. — Isohyètes annuelles (mm.). D'après : projeto Radam vol. 7 et Atlas climatológico do Brasil.

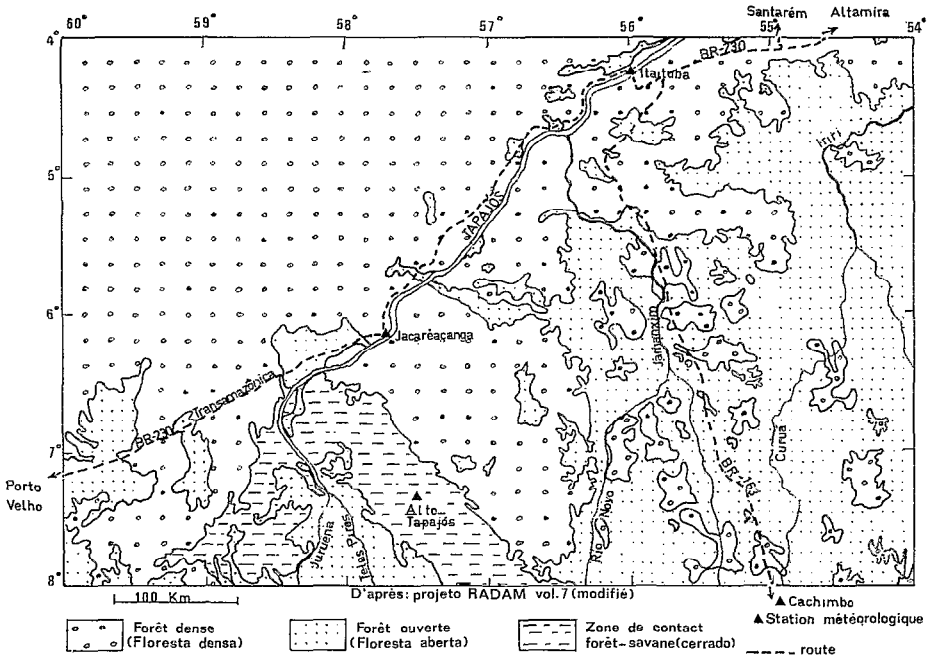


Fig. 4. — La couverture végétale.

Les charbons dans les sols

Localisation

C'est une cinquantaine de kilomètres au nord de l'escarpement bordant le plateau de Cachimbo, vers 8° de latitude sud, que notre attention fût pour la première fois attirée par la présence d'une nappe de débris de charbon à faible profondeur dans les sols. D'autres indices furent découverts par la suite, plus au nord, tout au long de plus de 400 km de route (fig. 2). Toutes les coupes offertes par la tranchée de la route ne purent, malheureusement, être examinées en détail sous cet angle particulier. Or ces charbons ne se révèlent souvent à l'observateur qu'après un examen attentif et minutieux et peuvent très bien passer inaperçus lors d'un sondage à la tarière. Par ailleurs, la route n'offre, parfois, sur de longues distances, aucune coupe utilisable. Les quelques occurrences indiquées sur notre carte de localisation (fig. 2) et répertoriées dans le tableau 1, ne sauraient donc donner une idée très exacte de l'extension géographique et de la fréquence du phénomène. Il est vraisemblable que celui-ci est beaucoup plus répandu que nous n'avons pu le montrer.

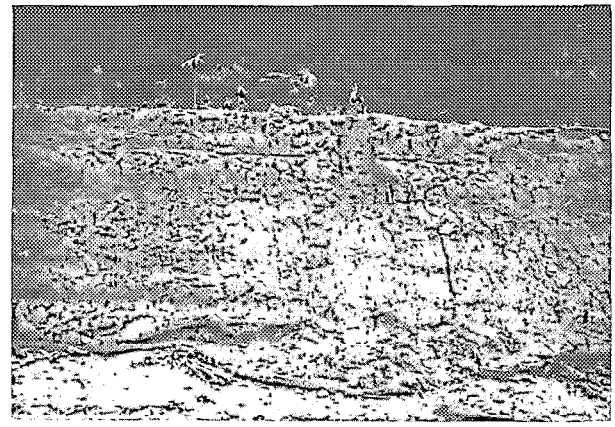
Physionomie des indices

L'apparition de ces charbons n'est pas liée à une famille particulière de sols. Il n'existe pas, d'ailleurs, une grande diversité dans les couvertures pédologiques de cette région. Quelles que soient les roches-mères, les interfluves sont en majeures partie occupées par des sols ferrallitiques profonds (plusieurs mètres), remaniés (stone-line vers 2 à 4 m) et non indurés. Texture et couleur varient selon la nature des roches-mères avec une dominance des textures argileuses (kaolinite, metahalloysite, oxydes et hydroxydes de Fe et Al) et des teintes rouges-jaunâtres. Ces sols sont finement structurés et généralement très poreux et très bien drainés ; l'hydromorphie se cantonne dans les bas-fonds qui n'occupent qu'une faible partie du paysage et n'ont pas été prospectés.

Tableau I.

Localisation des profils à charbon fossile. Kilométrage « compteur » à partir de Santarem (km 0).

Rio Itapacura	Km	361 2	SAC 154	Km	571.2	SAC 139	Km	785 6
SAC 6	"	381 5	" 153		574.5	134	"	796 8
" 156	"	398.3	" 66		579.6	" 141	"	812.3
Rio Tucunaré	"	412.7	" 74	"	582.5	" 151	"	828.2
SAC 155	"	425 1	" 83	"	594 0	" 150	"	829.9
" 33	"	490 4	Rio Riozinho	"	624 4	" 148	"	836.7
Rio Aruri	"	493.9	Rio Sta Julia	"	667 9	Acamp. militar (B.E.C.)	Km	839.7
SAC 1	"	514 9	SAC 114	"	711.7			
" 2	"	520 1	" 129	"	769.6			
" 46	"	532.9	" 130	"	771.9			



Photos 1 et 2. — La nappe de charbons au voisinage des profils SAC 114 (ci-dessus) et SAC150 (à droite).

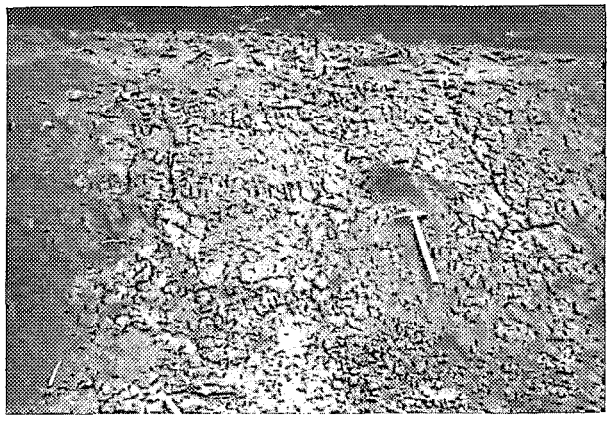


Photo 3. - Gros débris de charbons vers 1 m de profondeur (profil SAC 130).

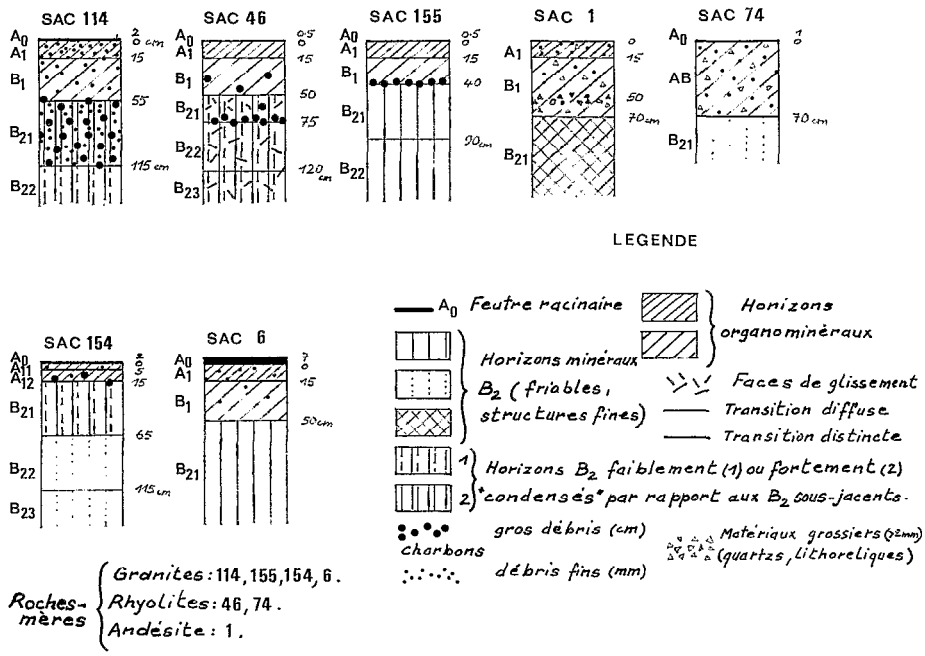


Fig. 5. — Représentation schématique des parties supérieures de quelques profils ferrallitiques contenant des charbons.

Les différents modes de gisement que nous avons pu observer sont schématisés sur la figure 5. On voit que les débris de charbons, dont la taille peut varier de quelques centimètres à moins d'un millimètre, ne sont généralement pas associés de façon stricte à un horizon pédologique particulier mais, au contraire, plus ou moins dispersés à travers différents horizons que l'on peut définir, indépendamment de la présence ou absence de charbon, par les variations de texture, structure, couleur, etc., des matériaux. Cette dispersion n'est cependant pas anarchique. On observe, le plus souvent, une concentration préférentielle de gros débris vers 50 cm à 1 m de profondeur, sous la zone d'activité racinaire dans la zone de passage des horizons supérieurs enrichis en matière organique aux horizons minéraux B2 (profils : 114, 46, 155). Il apparaît, alors, sur les coupes une véritable nappe de débris, d'épaisseur, de netteté et de continuité très variables selon les points d'observation. Localement, un véritable « horizon charbonneux » peut parfois être défini. Cette nappe, dont la profondeur d'enfouissement peut atteindre 150 cm ou, au contraire, être très réduite (profil 154), forme une sorte de « stone-line » supérieure assez bien adaptée à la surface topographique actuelle. Le phénomène est particulièrement net dans la partie sud de la zone explorée, au sud de la rivière Santa Julia (fig. 2 et photographies). La nappe de charbons est souvent associée à une discontinuité physique, mais non chimique ou minéralogique, dans les sols. La matrice argileuse associée aux débris présente parfois une teinte légèrement plus foncée (taches brunâtres) que celle des horizons B2 ou B1 adjacents (profil 114) ; ce phénomène n'est pas général et ne semble s'accompagner que d'une faible augmentation des teneurs en matière organique ; il n'y a pas, ou plus, de paléohorizon organique enfoui comme cela inciterait à le penser à première vue. En quelques endroits la présence des charbons ne se manifeste que de façon très discrète sous forme de débris très fins et très dispersés, à peine visibles (profils 1,74, 6). Signalons enfin que des éclats de quartz et de fins débris de roche altérée peuvent être associés aux débris de charbon et se trouver concentrés, eux aussi, en une « stone-line » discrète à faible profondeur (profils : 1,74).

Une dégradation thermique ou biologique ?

Les débris de charbons, dont la couleur intensément noire témoignent d'une assez grande richesse en carbone, présentent de façon très évidente une structure ligneuse. Il s'agit donc de charbon de bois. Comme leur dureté est assez élevée et que l'éclat sur les cassures fraîches, perpendiculairement aux paléo-feuillets ligneux, est souvent assez intense, vitreux, on peut penser qu'ils sont le produit d'une carbonisation à haute température de matières végétales, autrement dit d'un incendie (Correia M.

et al., 1974). Il ne peut guère en être autrement, d'ailleurs. On n'a jamais observé dans les sols ferrallitiques très bien drainés, c'est-à-dire dans un milieu oxydant et biologiquement très actif, des débris de végétaux se transformer en charbon de bois à la température ordinaire... Ce n'est, semble-t-il, qu'en milieu confiné, hydromorphe, que la dégradation biologique des bois peut conduire, à la température ordinaire, à des produits charbonneux (lignite, etc.) ; or, nous sommes très loin d'un tel milieu pour tous les sols où nous avons observé des charbons... L'examen des spectres infrarouge de ces charbons permet de prouver, aussi, de façon plus directe, que leur genèse est liée à une dégradation thermique et non biologique. R. MAURY (1971, 1973, 1974, 1976) a en effet montré qu'il existait des différences très notables entre les spectres IR de bois dégradés biologiquement à la température ordinaire et ceux de bois dégradés thermiquement à moyenne ou haute température. Si l'on compare les spectres publiés par cet auteur à ceux que donnent

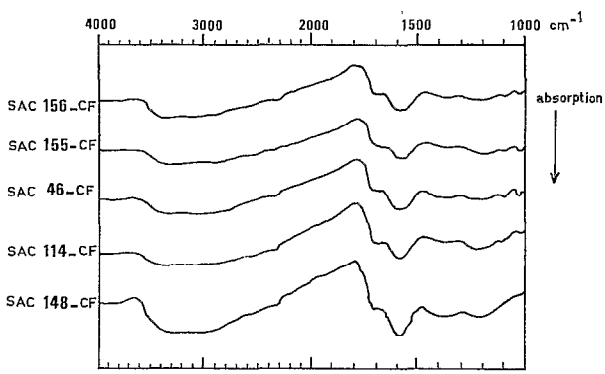


Fig. 6. — Spectres I.R. de quelques charbons de bois fossilisés.

quelques uns de nos charbons (fig. 6), on peut en déduire que des températures de 250 à 300 °C ont vraisemblablement été atteintes et qu'il y a donc bien eu incendie. Cette preuve n'est, toutefois, pas aussi absolue qu'il peut paraître. La matière organique peut en effet subir, après sa fossilisation, des transformations chimiques lentes, encore mal connues, pouvant entraîner une modification des spectres IR. Dans notre cas cependant où, comme nous le verrons, l'époque d'enfouissement est relativement récente et la profondeur d'enfouissement est faible, il est permis de penser que la méthode de R. MAURY donne des résultats fiables.

Tout plaide, finalement en faveur d'une genèse par dégradation thermique à assez haute température pour nos charbons. Ils ne peuvent donc être que le produit de l'incendie d'une ancienne couverture végétale.

Datation des incendies

Afin de situer le phénomène dans le temps, 5 datations ^{14}C ont été effectuées (1). On peut constater que les âges obtenues (fig. 2) sont relativement dispersés puisqu'ils s'échelonnent entre 6510±170 ans B.P. et 3105±135 ans B.P. Trois datations, cependant, donnent des âges compris entre 3700 et 4700 ans B.P. Il n'y a pas de relation nette entre la profondeur d'enfouissement des débris et leur âge, ni, non plus, entre les âges obtenus et la position en latitude des prélèvements correspondants. On peut s'interroger sur les raisons de cette dispersion. Dans les cinq cas étudiés les modes de gisement et l'environnement sont très comparables et les mêmes méthodes d'échantillonnage ont été utilisées : prélèvement sur quelques dizaines de mètres de distance de gros débris dans la nappe de charbon, à une profondeur de 40 cm à 1 m selon les points. Par ailleurs, la texture des charbons, la profondeur à laquelle ils se trouvent, sont telles et les précautions prises lors de l'échantillonnage et l'analyse ont été telles qu'une pollution par du carbone récent n'est guère envisageable. Cette pollution est certainement minime. Son effet sur les datations ne pourrait, d'ailleurs, être que faible étant donné l'âge récent de nos matériaux (G. DELIBRIAS, 1972). Il est certain, de même, que sont négligeables dans le cas présent les variations d'âge pouvant être induites par des échanges isotopiques après l'enfouissement (G. DELIBRIAS, 1972. J. CHALINE, 1972) ou par un fractionnement isotopique lors de la combustion (R. MAURY, 1974). On sait, par contre, que certaines espèces arborescentes peuvent atteindre un âge considérable (plusieurs centaines d'années) et que le cœur d'un tronc d'arbre meurt (cessation des échanges avec l'atmosphère) bien avant la périphérie. Si une combustion intervient à une époque donnée, des débris d'âge variés peuvent donc être répandus sur le sol. Ceci pourrait expliquer, dans une certaine mesure, la dispersion observée dans nos datations, mais probablement pas des écarts allant jusqu'à 3000 ans.

Il faut donc admettre pour le moment que, sauf erreur analytique, des incendies se sont développés dans cette région à différentes époques et non une

(1) Travail réalisé à l'Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia sous la direction de L. MARTIN et J. M. FLEXOR. Nous les remercions vivement pour leur aimable collaboration.

seule, dans une période comprise entre 3100 et 6500 ans B.P. Un maximum de fréquence pour les phénomènes semble se dessiner vers 4000 à 4500 ans B.P.

Fossilisation des charbons

Deux sortes de mécanismes ont pu concourir à l'enfouissement des débris : le travail de la faune du sol et le colluvionnement. Bien que, la présence sporadique de lithoreliques (débris de quartz..., etc.) au niveau des nappes de charbons semble indiquer qu'une certaine érosion a pu se manifester après le passage des incendies, nous ne pensons pas que des phénomènes de colluvionnement aient été la cause principale de l'enfouissement des débris. D'une part, la profondeur à laquelle on rencontre les charbons ne semble pas beaucoup varier avec la pente ; d'autre part, les sources d'approvisionnement possible en matériel colluvial sont bien souvent trop éloignées pour que le phénomène ait pu jouer. C'est l'activité de la faune du sol lors de la reconquête du milieu par la végétation qui nous semble, plutôt, avoir été le principal moteur de la fossilisation des débris. On sait que cette activité peut être considérable. Un calcul basé sur les données fournies pour les termites par P. Boissezon *et al.* (1973) montre qu'un travail continu de ces insectes pendant 4500 ans aurait pour conséquence, en supposant l'érosion nulle, la création en surface d'une couche de matériaux de 0,4 m à 4,5 m d'épaisseur (selon les milieux). En se basant sur les résultats obtenus par T. M. L. Conceição *et al.* (1974), pour l'activité des vers de terre sous une forêt tropicale, un calcul analogue, montre que, pour la même durée et une érosion nulle, le travail continu de ces organismes entrainerait une remontée de matériaux de 1 m environ. On peut essayer de chiffrer quelle serait, durant le même intervalle de temps, l'épaisseur de la tranche de sols enlevée en surface par l'érosion. Si l'on se base sur les mesures effectuées par E. J. Roose sur des parcelles expérimentales en Afrique (E. J. Roose *et al.*, 1976), il apparaît que cette épaisseur pourrait varier de 3,2 mm à 32 cm selon le type de couvert végétal (forêt ou savane) et la pente ; et si l'on s'appuie sur les évaluations plus globales de l'érosion faites par J. Y. Gac et M. Pinta (1973), ainsi que par G. Sieffermann (1973), à partir de mesures effectuées sur des bassins-versant, sous végétation naturelle (savane ou forêt), en Afrique également, on peut chiffrer cette épaisseur à 3,4 cm et 7,2 cm respectivement. On voit donc que, sous végétation naturelle (forêt ou savane) l'érosion n'est pas telle que des matériaux déposés à la surface des sols ne puissent lentement s'y enfoncer par suite du brassage des matériaux par la faune. L'enfouissement des débris de charbon sous l'action de la faune des sols est donc une hypothèse tout à fait plausible.

Recherche et examen des causes possibles du phénomène

Les grands traits de l'histoire bioclimatique récente du bassin amazonien

Il n'existe encore que peu de données précises et fiables sur l'histoire bioclimatique quaternaire du bassin de l'Amazone en territoire brésilien. Nous avons vainement cherché, en particulier, d'autres datations que les nôtres qui auraient pu aider à mieux situer, dans son immense contexte, l'événement que nous avons découvert. Dans la recherche d'une explication à ces paléo-incendies on se trouve ainsi confronté à différentes hypothèses entre lesquelles il est particulièrement malaisé de choisir.

Des différents travaux réalisés jusqu'ici il se dégage au moins la certitude que le bassin amazonien n'est pas resté à l'abri des fluctuations climatiques ayant affecté l'ensemble de la planète au quaternaire. Cette certitude se nourrit de différentes observations d'ordre géomorphologique, zoologique, botanique, pédologique et sédimentologique effectuées en différents points du bassin ou sur les côtes voisines. J. Tricart (1974, 1977), en particulier, a récemment apporté des preuves très convaincantes d'un assèchement important du climat et d'une raréfaction du couvert végétal dans cette région du globe à certaines époques du quaternaire : présence de champs de dunes fossiles dans l'État de Roraima, ainsi qu'au Sud du bassin dans la vallée du São Francisco (État de Bahia) ; existence d'un modelé n'ayant pu être engendré que par un ruissellement intense dans la région de Santarém ; présence, aussi, de terrasses climatiques sur les hauts cours de certains affluents de l'Amazone. Les arguments fournis par les écologistes ne sont pas moins importants. Dans un récent article de synthèse B. B. Simpson et J. Haffer (1978) soulignent l'inhomogénéité du peuplement animal et végétal du bassin, phénomène que l'on ne peut guère expliquer, étant donné l'absence actuelle de véritables barrières écologiques, que par un morcellement du massif forestier à certaines époques du passé, lors d'épisodes climatiques secs (savanisation). Des sortes de refuges pour la flore et la faune sylvicole, que les auteurs localisent au voisinage des centres de haute pluviosité actuels, auraient alors existé. Cette théorie séduisante des « refuges » est souvent évoquée dans d'autres publications (W. G. Sombroek, 1966. T. Van der Hammen, 1974. J. Tricart, 1974, 1977. A. N. Ab'Saber, 1977. P. Colinvaux, 1979).

Certaines observations effectuées par les botanistes du « projeto RADAM » sont venu récemment la conforter ; on trouve, en effet, dans quelques savanes incluses au Nord de Santarém (savanes édaphiques vraisemblablement) des espèces provenant à la fois du Vénézuela, des Guyanes, du Roraima et du centre-ouest brésilien, ce qui ne peut guère s'expliquer que par un passage antérieur sous savane d'une bonne partie du bassin (Radam, vol. 10, 1976). Ces fluctuations dans l'extension du domaine forestier en Amazonie ont pu être directement prouvées en un point, au moins, du bassin, par analyse pollinique de sédiments fluviatiles (Rondônia : V. der HAMMEN, 1974) (1). Les nappes de matériaux grossiers ou « stone-lines » que renferment très fréquemment les sols d'Amazonie, apportent également la preuve de l'existence d'épisodes climatiques secs anciens au cours desquels l'érosion a pu accentuer son action sous un couvert végétal raréfié (W. G. SOMBROEK, 1966. M. A. JOURNAUX, 1975). L'existence de dépôts de sables arkosiques dans les plaines abyssales au large de l'embouchure de l'Amazone est un autre fait, enfin, où certains auteurs ont pu voir la preuve d'une vaste désertification du continent adjacent à certaines époques du passé (E. J. DAMUTH et R. W. FAIRBRIDGE, 1970) ; mais cette interprétation est actuellement contestée (J. D. MILLIMAN *et al.*, 1975).

Il ne fait donc guère de doute qu'à certaines époques du Quaternaire, en liaison avec des phénomènes d'assèchement du climat, la forêt ait laissé la place dans certaines parties du bassin à une végétation plus ouverte, du type savane. A peu près tout reste encore à dire et à faire, cependant, quant à la localisation *précise* dans l'espace et dans le temps de ces anciennes savanes. En nous limitant au quaternaire récent et en nous appuyant sur l'histoire climatique, mieux connue, de certaines régions proches du bassin amazonien (T. Van der HAMMEN, 1974, 1978) et aussi d'Afrique (P. ROGNON, 1976. F. A. STREET et A. T. GROVE, 1976. E. M. Van ZINDEREN BAKKER et J. MALEY, 1977), on peut cependant admettre, suivant en cela J. TRICART (1974, 1977), que c'est vers la fin de la période froide du Würm (ou Wisconsin), soit, grossièrement, entre 20 000 et 13 000 ans B.P., que l'assèchement du climat et la savanisation ont dû être les plus marqués. Vers 13 000 à 10 000 ans B.P., en liaison avec un réchauffement climatique mondial, particulièrement bien connu dans l'hémisphère nord (J. CHALINE, 1972. H. LUMLEY, 1976. J. C. DUPLESSY *et al.*, 1976) et enregistré, aussi, dans l'hémisphère sud (S. J. JOHNSEN *et al.*, 1972. J. H. MERCER, 1975), une forte augmentation de la pluviosité s'est manifesté en de nombreux points de la zone intertropicale. Cet événement, qui a laissé de nombreuses traces en Afrique, a aussi, été enregistré dans les Andes où la forêt étend son domaine alors que les glaciers se retirent. Il est probable que c'est à partir de cette époque que la forêt amazonienne a conquis le domaine qui est actuellement le sien par élargissement progressif des « refuges » où elle s'était retiré lors de la grande période sèche précédente.

L'histoire de cette conquête nous est encore inconnus ; mais l'on sait, cependant, d'après certaines recherches menées en Amérique ou en Afrique, recherches sur lesquelles nous reviendrons plus loin, qu'entre 8 000 ans B.P. (environ) et nos jours, divers épisodes climatiques secs ont pu se manifester dans la zone intertropicale. C'est ici qu'interviennent nos observations car il semble possible que nos paléo-incendies aient été liés à de telles phases d'assèchement du climat. Notre connaissance de l'histoire récente du bassin est cependant si faible qu'on ne peut retenir sans beaucoup de précaution une telle explication. Il est nécessaire, auparavant, d'envisager et, si possible, d'éliminer les quelques autres hypothèses qui se présentent, puis de voir si un assèchement du climat a effectivement pu se produire, dans la région où se rencontrent nos charbons, au moment où ont éclaté les incendies.

Les causes possibles

Le premier problème qui se pose est celui concernant le type de végétation qui pouvait couvrir cette région au moment où ont éclaté les incendies. Force est de reconnaître que, faute d'études plus poussées sur nos matériaux et faute, aussi, de données plus précises sur l'histoire d'autres régions d'Amazonie à l'holocène, nous n'en savons pas grand-chose. On peut raisonnablement penser, cependant, qu'il s'agissait, comme de nos jours, d'une forêt. Certes, comme nous l'avons vu précédemment, il est possible qu'une savane ait occupé ce secteur vers la fin du Würm ; mais la très forte augmentation de pluviosité qui s'est certainement manifesté en Amazonie, comme partout ailleurs en zone tropicale, au début de l'holocène a probablement fait que la forêt s'est (re)installée à cette époque dans cette région. Ceci est d'autant plus probable que les sols qu'on y rencontre, hormis la zone du plateau de Cachimbo au sud, présentent des propriétés hydriques (réserve en eau) telles qu'ils ne constituent pas, en eux-mêmes, un obstacle à la colonisation par la forêt, bien au contraire.

(1) Ce sont, à notre connaissance, les seules analyses de ce type réalisées jusqu'ici en Amazonie brésilienne.

C'est donc, selon toute probabilité, la forêt tropicale humide, sempervirente, qui occupait cette région vers 7 à 8 000 ans B.P. avant que ne se manifestent les premières vagues d'incendie. On sait qu'une telle forêt n'a aucune propension à brûler sur des centaines de kilomètres. Même si, au creux dela saison sèche, un incendie peut localement éclater, allumé, par exemple, par la foudre, cela ne va jamais très loin étant donné les énormes volumes d'eau transitant en permanence dans cette masse végétale très dense et l'absence de couvert graminéen. Pour que des incendies aussi gigantesques que ceux de nos observations permettent d'imaginer se soient développé, il est nécessaire que sur de vastes surfaces un dessèchement extrême de la forêt se soit manifesté. Ceci pourrait être la conséquence d'une aridification du climat. Bien que, comme nous le verrons, un assèchement du climat soit effectivement probable dans cette région, sensiblement à la même époque que celle où ont eu lieu les incendies, nous n'avons, cependant, aucune preuve directe qu'un tel phénomène se soit réellement produit. Ceci nous oblige à envisager l'hypothèse du maintien de conditions climatiques analogues aux conditions actuelles depuis le début de l'holocène. Quelles auraient pu être, dans le cadre de cette hypothèse, les causes des incendies ? On n'en voit guère que deux : le défrichement de la forêt par l'homme ou un phénomène extrêmement rare, mais que l'on ne peut à priori éliminer, qui serait la chute de corps cosmiques de grande dimension (météorites). Ce sont ces deux hypothèses que nous allons maintenant examiner.

Les hypothèses dans le cadre de la permanence d'un climat humide

Un cataclysme d'origine cosmique ?

L'hypothèse d'une pluie de météorites de très grande taille pourrait, éventuellement, expliquer l'incendie de la forêt sur de grandes étendues ; mais, outre le fait que cette hypothèse s'accorde très mal avec la dispersion observée dans nos âges, l'examen des images S.L.A.R. n'a jusqu'ici révélé aucune trace de cratères... Par ailleurs, le climat n'ayant pas varié, on peut raisonnablement penser que le milieu naturel, momentanément et localement perturbé, aurait très rapidement retrouvé son équilibre. La forêt aurait, comme on peut l'observer de nos jours, très rapidement reconquis son domaine, de sorte que, après plusieurs milliers d'années, les traces du phénomène dans les sols auraient toutes les chances de se résumer à la simple présence de charbons. Or, si l'on compare les sols ferrallitiques de cette région d'Amazonie à leurs homologues africains couverts depuis très longtemps soit par la forêt soit par la savane, il apparaît, bien au contraire, que ces sols ont gardé la trace d'une *profonde altération du milieu* vraisemblablement liée à un passage prolongé sous une végétation moins protectrice que la forêt.

On note, en tout premier lieu, la présence sporadique, immédiatement au-dessous de la nappe de charbon ou à son niveau, d'horizons nettement plus compacts, plus cohérents, et plus largement structurés que les horizons B2 sous-jacents, généralement très friables, très poreux et finement structurés (fig. 5 : profils 114, 46, 154). Or, toutes les observations effectuées jusqu'ici en Afrique (F. X. HUMBEL, 1974. A. CHAUVEL, 1977) ou à Madagascar (F. SOUBIES, 1974) tendent à montrer que le développement d'horizons à plasma condensé, au voisinage de la surface, aux dépens de matériaux ferrallitiques très aérés (matériaux micropédiques), est sous la dépendance d'un couvert végétal de type « savane » associé à un climat à longue saison sèche et non un phénomène caractéristique d'un climax forestier. L'existence de tels horizons en pleine forêt amazonienne est donc extrêmement surprenante, les conditions hydrodynamiques nécessaires à leur genèse n'étant visiblement pas remplies actuellement. On ne peut y voir, à notre avis, que l'effet inégalement marqué ou/et effacé (bioturbation...) selon les lieux d'une raréfaction prolongée du couvert végétal, postérieurement aux incendies.

On constate, également, que les horizons A de certains sols assez argileux (1) sont parfois fortement appauvris, cet appauvrissement allant de pair avec une amélioration de la saturation du complexe absorbant. Ce phénomène est très paradoxal et ne peut guère s'expliquer, en s'appuyant, entre autres, sur les travaux de D. MARTIN au Cameroun et au Gabon que par un passage prolongé sous savane ou une mise en culture de ces sols (D. MARTIN, 1973, 1977).

Il apparaît aussi que ces sols, qu'ils contiennent ou non des charbons, sont beaucoup plus pauvres en matière organique que leurs homologues sous forêt d'Afrique de l'Ouest et que cette matière organique est répartie d'une façon différente, selon un mode proche de celui observé actuellement en Afrique pour des sols ferrallitiques sous savane (F. X. HUMMEL *et al.*, 1977) (2). Ceci porte à penser que l'installation

(1) 50 à 60 % d'argile en B2.

(2) Taux moyen en Al (0-15 cm) : 2,5 %. Rapport « matière organique/argile » moyen en Al : 0,06. Il n'y a pas de forte concentration de la matière organique en surface, d'où des teintes très claires à ce niveau.

de la forêt est très récente dans cette région et vient donc renforcer l'idée que celle-ci est récemment passé sous savane.

On remarque, enfin, qu'il n'existe dans cette région qu'une très faible corrélation entre la texture des horizons organiques et la teneur en matière organique de ces horizons. Or l'existence d'une telle corrélation semble être la règle pour des sols ferrallitiques sous végétation naturelle en Afrique de l'Ouest, tout au moins lorsque l'on prend en considération des sols soumis actuellement aux mêmes conditions bioclimatiques, ce qui est approximativement le cas pour notre zone (A. PERRAUD, 1971, D. MARTIN, 1973 ; F. X. HUMMEL *et al.*, 1977). Cette absence de corrélation confirme, s'il en était besoin, que les équilibres bioclimatiques ont été profondément perturbé dans cette région.

De cet ensemble de caractères parfaitement « anormaux » on tire la conviction qu'un véritable bouleversement d'équilibre, correspondant à l'installation pendant une assez longue durée d'une végétation de type savane, a vraisemblablement accompagné les incendies. Si un tel phénomène correspond parfaitement à l'effet prévisible d'un assèchement du climat, il s'accorde, par contre, assez mal avec ce que l'on peut penser des résultats de l'éclatement d'incendies pour une cause fortuite dans un milieu forestier stable, en équilibre. Pour cette raison, ainri que pour les autres déjà mentionnées, cette première hypothèse est donc à rejeter. L'action de l'homme (abattage, brulis, mise en culture, etc.), toutefois, pourrait parfaitement aboutir dans un tel milieu aux effets enregistrés dans nos sols. Est-ce réellement envisageable ?

Des actions anthropiques ?

Il est possible que des actions anthropiques aient eu lieu puisque la présence de l'homme à proximité du bassin amazonien est déjà signalée, par exemple, en Colombie dès 12 500 ans B.P. (Van der HAMMEN, 1978). Plus près de la zone prospectée, en bordure du Tapajós, quelques indices d'une présence humaine pouvant remonter à 7 000 ans B.P. ont également été découverts (M. F. SIMÕES, 1976). Toutefois le défrichement de la forêt sur des milliers de km^2 ne saurait être l'œuvre que d'une importante occupation humaine dont on peut penser qu'il resterait de nombreuses traces (outils, édifices, etc) ; or ce n'est apparemment pas le cas... Par ailleurs, la région où se rencontrent nos charbons ne correspond au terrain de parcours d'aucune tribu connue et se trouve éloignée des grands cours d'eau aisément navigables où toutes les traces d'habitats anciens ont jusqu'ici été trouvées. On peut ajouter à ceci qu'il n'est pas dans les habitudes des Indiens vivant actuellement en Amazonie de défricher la forêt sur de vastes étendues ; ils n'en ont, d'ailleurs, guère les moyens.

On voit donc que cette deuxième hypothèse ne peut, non plus, être retenue, sans que l'on puisse, toutefois, de même que la précédente, complètement l'exclure. Finalement la seule hypothèse qui nous reste pour expliquer à la fois le développement d'incendies sur de vastes surfaces et les phénomènes de savanisation qui les ont certainement accompagnés est celle d'un assèchement du climat. La forêt insuffisamment alimentée en eau se serait désséchée et aurait pu être, alors, une proie facile pour des incendies dont l'origine propre a pu être multiple (foudre, homme, etc.). Les conditions climatiques régnant alors n'auraient pas permis la reconstitution immédiate de la forêt. Une végétation plus ouverte de type « savane » se serait installée quelque temps jusqu'à ce qu'une augmentation de la pluviosité permette à la forêt de reconquérir à nouveau son domaine. Nos incendies auraient donc une signification climatique. Est-ce réellement possible ? C'est ce que nous allons maintenant essayer de prouver.

La cause probable : une oscillation climatique

Un assèchement des climats dans la zone intertropicale vers 4 à 5 000 ans B.P.

L'hypothèse d'une origine climatique pour nos incendies se trouve considérablement renforcée par le fait que, dans le même intervalle de temps (ou à peu près) où ils éclataient (3 100-6 500 ans B.P.), un net assèchement du climat se manifestait en de nombreux points de la zone intertropicale. En Amérique du Sud, c'est en particulier le cas de la Cordillière orientale de Colombie où l'analyse pollinique de certains dépôts lacustres conduit à admettre qu'une nette diminution de la pluviosité a eu lieu entre 5 000 et 3 000 ans B.P. (V. der HAMMEN *et al.*, 1978). Plus à l'est, des études du même type mènent à des conclusions analogues : phase sèche entre 6 à 5 000 ans et 3 800 ans B.P. dans les « Llanos orientales » de Colombie et vers 6 à 7 000 ans B.P. dans certains secteurs de Guyane (V. der HAMMEN, 1974). Dans la partie sud du Vénézuela, au nord du massif de Roraima, dans le haut Ventuari, des phénomènes d'érosion des sols se manifestent vers 4 000 ans B.P. (1) (G. SIEFFERMANN, comm. or).

(1) 3950±110 ans B.P. Datation de G. DELIBRIAS.

Aux îles Galapagos, sous l'Équateur, un lac de cratère, uniquement alimenté par des eaux pluviales, enregistre une successsion de bas niveaux entre 6 200 et 3 030 ans B.P. (P. A. COLINVAUX, 1972). Signalons encore, pour l'Amérique du Sud, que J. TRICART (1974) a mis en évidence, au Sud du bassin amazonien, dans les champs de dunes fossiles, vraisemblablement würmiens, du coude du São Francisco (région de Xique-Xique, État de Bahia) des phénomènes de remaniement récents réalisés sous un climat plus sec que l'actuel. Cet événement n'a, cependant, pu être daté.

Une crise climatique majeure se manifeste également en Afrique sensiblement à la même époque. Entre 5 000 et 4 000 ans B.P., environ, une grande partie des lacs situés entre le Sahara et l'Équateur voient leur niveau baisser considérablement (F. A. STREET et A. T. GROVE, 1976. P. ROGNON, 1976. E. M. Van ZINDEREN BAKKER et J. MALEY, 1977) ; c'est en particulier le cas du Lac Tchad (M. SERVANT, 1970) dont la régression est accompagnée d'une nette aridification du couvert végétal environnant (J. MALEY, 1977 a et b). C'est vers 4 000 ans B.P., aussi, que se manifeste une forte diminution des apports d'eau douce du Niger à l'Océan Atlantique (L. PASTOURET *et al.*, 1978). Bien d'autres preuves d'une modification importante des climats au Sahara et sur des bordures vers 4-5 000 ans B.P. sont répertoriées dans l'article très documenté de P. ROGNON (1976) auquel nous renvoyons le lecteur.

On voit donc que notre « événement » est loin d'être isolé dans le temps bien qu'il le soit, apparemment, dans l'espace. Des changements climatiques importants se sont produit sensiblement à la même époque en différents points du globe et, en particulier, à la périphérie du bassin amazonien. La crédibilité de l'hypothèse d'une « origine climatique » pour les paléo-incendies s'en trouve, bien évidemment, accrue. Tout ceci ne prouve pas, cependant, que cet assèchement du climat, enregistré ailleurs, ait également pu se produire dans le secteur d'Amazonie où se rencontrent nos charbons... Il est certain que si nous pouvions en apporter quelques preuves, la validité de notre hypothèse s'en trouverait encore augmentée. C'est sur ce problème que nous nous pencherons maintenant.

Un « couloir sec » en Amazonie

Bien que les modalités de la circulation générale atmosphérique sur l'Amazonie ne soient pas encore parfaitement connues (1), il est clair, cependant que le régime des pluies y est principalement dicté, de même qu'en Afrique de l'Ouest tropicale et équatoriale, par exemple, par le balancement saisonnier de la zone intertropicale de convergence ou « CIT » (G. OSORIO de ANDRADE, 1972). A la différence de l'Afrique de l'Ouest, toutefois, il peut apparaître ici d'importantes déformations de l'Équateur météorologique qui sont liées, d'une part, aux reliefs méridiens andins, le long desquels des masses d'air polaire antarctique peuvent venir se glisser jusqu'à de très basses latitudes (4° S) et dues, d'autre part, au stationnement à d'assez basses latitudes sur l'Atlantique Sud de l'anticyclone dynamique subtropical « kalaharien » ou « de Ste Hélène ». C'est ce dernier point, surtout, qui retiendra notre attention. Cet anticyclone, en effet, lorsqu'il se renforce en hiver et remonte obliquement vers le N.E. du Brésil, semble pouvoir atteindre de très basses latitudes et venir exercer son influence asséchante jusque sur certaines parties de l'Amazonie. Des études récentes ont montré (Radam vol. 10, p. 354) qu'une dorsale de hautes pressions, sorte d'apophyse au volume anticyclonique principal, est susceptible d'apparaître certaines années en Amazonie dans un certain « couloir » orienté S.E.-N.W. et allant de la région du Nordeste jusqu'à Roraima. Dans ce couloir balayé par un alizé continental, sec, de S.E., les précipitations se trouvent alors fortement réduites. L'amazonie orientale est ainsi pratiquement « coupée en deux » par un « corredor menos chuvoso » séparant deux zones à haute pluviosité (Amazonie centrale et région des Guyanes, Amapá, ile de Marajo). Ce « couloir sec » apparaît clairement sur les cartes publiées par le projeto Radam (fig. 3) et par B. B. SIMPSON et J. HAFFER (1978) (fig. 7). On voit que la région où nous avons découvert des charbons se situe à son voisinage immédiat, sur sa bordure sud. Il ne fait guère de doute qu'un simple décalage vers le Nord et renforcement de l'anticyclone aurait pour conséquence un élargissement de ce « couloir » et une accentuation de la sécheresse dans les régions qu'il traverse (blocage de la mousson en été). Existerait-il, alors, une raison au décalage vers le nord et renforcement de l'anticyclone kalaharien vers 3 000 à 6 500 ans B.P. ?

Un renforcement de l'anticyclone kalaharien lié à un refroidissement de l'hémisphère sud

On sait que dans chacun des deux hémisphères la position et la force des anticyclones dynamiques sub-tropicaux dépendent principalement de la valeur du gradient thermique pôle-équateur, autrement dit, des températures extra-tropicales (P. PEDELABORDE,

(1) Il n'existe qu'une soixantaine de postes météorologiques pour couvrir un immense territoire de plus de 4.000.000 de km²

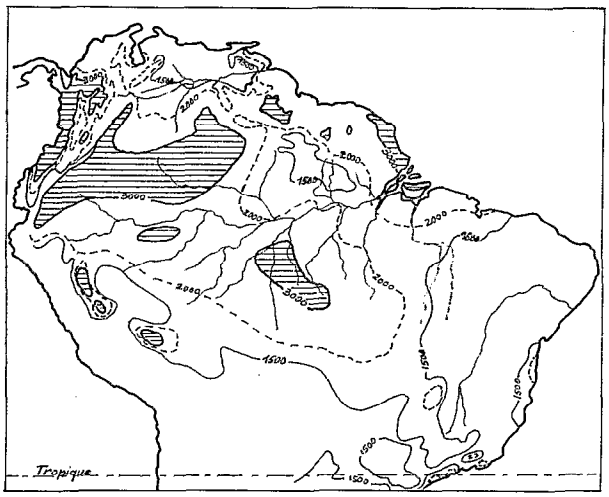


Fig. 7. — Esquisse des isohyètes annuelles (mm) pour l'Amérique du Sud septentrionale. D'après : SIMPSON et HAFFER, 1978 (modifié).

1955. M. LEROUX, 1976. R. GARNIER, 1976. P. ROGNON, 1976). Toute augmentation de ce gradient par suite d'un refroidissement aux hautes latitudes entraîne une accélération et descente en latitude du jet-stream (courant de haute altitude alimentant ces anticyclones) qui a pour effet de renforcer et repousser vers l'Équateur la ceinture anticyclonique sub-tropicale. Ceci explique qu'on ait pu mettre en évidence dans l'hémisphère nord, pour la fin du quaternaire par exemple, une relation assez étroite entre les périodes de refroidissement de cet hémisphère et les phases sèches enregistrées au Sahara et sur sa bordure Sud (P. ROGNON, 1976. F. A. STREET et A. T. GROVE, 1976. E. M. Van ZINDEREN BAKKER et J. MALEY, 1977). Cette relation existe, en particulier, pour la période qui nous intéresse ici. Vers 4 à 5 000 ans B.P., alors que le Sahara s'assèche, un refroidissement du climat se manifeste en Europe (période sub-boréale) (J. CHALINE, 1972) et se trouve aussi enregistré dans les glaces du Groenland (W. DANSGAARD *et al.*, 1969). On voit donc qu'un décalage vers le nord et renforcement de l'anticyclone kalaharien vers 3 000 à 6 500 ans B.P. aurait pu être la conséquence d'un refroidissement de l'hémisphère sud à la même époque. Or, il semble bien qu'un tel événement se soit produit. D'une part la température moyenne annuelle semble avoir nettement baissé dans certains secteurs de l'Antarctique vers 6 000 ans B.P. puis vers 3 500 à 4 500 ans B.P. (S. J. JOHNSEN *et al*, 1972) ; d'autre part, une forte avancée des glaciers s'est manifestée dans les Andes entre 5 500 et 4 500 ans B.P. (J. H. MERCER, 1975). Il existe donc quelques raisons de penser qu'un assèchement du climat a effectivement pu se produire dans le secteur d'Amazonie où se rencontrent nos charbons au moment où, précisément, leur « mise en place » s'est effectuée. Ceci plaide fortement en faveur de l'hypothèse d'une « origine climatique » pour leur genèse.

REMARQUE FINALE : LE PROBLÈME DE LA « FLORESTA DENSA » ET DE LA « FLORESTA ABERTA » EN AMAZONIE

Pour la commodité de l'exposé et parce que la nature des problèmes dont nous avions à débattre nous y autorisait, nous avons toujours considéré jusqu'ici la forêt tropicale humide amazonienne comme un corps homogène. Ceci n'est qu'approximativement vrai. Dans notre secteur, de même qu'en bien d'autres régions du bassin, deux grands types de formations forestières se partagent, en fait, le paysage : la « floresta densa » et la « floresta aberta » (1) (fig. 4). Toutes deux sont des forêts ombrophiles, sempervirentes, résistantes au feu et difficilement pénétrables. La « floresta densa » rappelle assez la grande forêt tropicale africaine : couverture uniforme, très dense, d'arbres de 25 à 35 m d'où émergent des arbres de plus de 50 m. La « floresta aberta », qui semble être une particularité du bassin amazonien, se caractérise par des arbres de port plus faible (10 à 25 m, grands arbres rares), une densité de peuplement généralement moindre et la prolifération, plus ou moins accusée selon les lieux, des lianes ou/et des palmiers (2). C'est elle qui domine dans notre secteur où la « floresta densa » n'occupe généralement que les zones les plus accidentées.

On s'explique encore très mal les raisons de la présence de la « floresta aberta ». D'une part sa distribution ne s'accorde qu'imparfaitement, dans le détail, avec celle des climats *actuels*. Si l'on compare, par exemple, les figures 3 et 4, on peut voir qu'il existe une dysharmonie flagrante entre le mode de répartition des deux formations et celui de la pluviométrie. D'autre part, il ne semble pas exister, non plus, de liaison étroite entre la répartition de cette forêt et celle des sols. Les botanistes du projeto Radam ont bien tenté d'expliquer par une

(1) Forêt dense et forêt ouverte.

(2) D'où le nom de « cipoal » (cipo : liane) ou « cocal » (coco : noix de cóco) qui lui est localement donné. Dans notre secteur cette prolifération des lianes ou/et des palmiers est peu marquée.

aluminisation et lixiviation excessive des sols le développement de la « floresta aberta » (Radam, vol. 4 et 8), mais cette explication ne peut être retenue pour la région traversée par la « Santsrèm-Cuiaba » entre 4° et 8° lat. Sud : nous n'y avons observé aucun lien précis entre tel ou tel type de sol et l'une ou l'autre des deux formations forestières. Ces constatations rejoignent celles de I. C. FALESI (1972 b). Vient alors l'idée, suggérée puis, semble-t-il, abandonnée (?) par les botanistes du projeto Radam (1), que l'existence d'une telle forêt anarchiquement distribuée serait la conséquence d'une oscillation climatique. Tous les faits rapportés dans les paragraphes qui précèdent plaident très fortement en faveur de cette hypothèse. C'est la raison pour laquelle ce problème d'écologie a été ici abordé. Cette hypothèse semble d'autant plus vraisemblable que :

1. C'est principalement sous couvert de « floresta aberta » que semblent se localiser les traces d'incendies ;

2. c'est sur le trajet du « couloir sec » ou à ses abords que se rencontre surtout la « floresta aberta » (Roraima, Haut Xingu, confluence Tocantins-Araguia, etc.).

Cette « floresta aberta » serait donc le produit de la recolonisation par la « grande » forêt de zones dévastées par la sécheresse vers 3 à 6 000 ans B.P. Il n'est pas exclu que de tels phénomènes aient encore eu lieu récemment puisque, dans certains secteurs, de nombreux arbres morts jalonnent cette forêt (Radam, vol. 4, 7, 8).

CONCLUSION

Les caractères très originaux présentés dans leurs horizons supérieurs par les sols bordant l'axe routier « Santarém-Cuiabá » et l'ensemble des connaissances acquises à ce jour sur l'histoire climatique de la zone intertropicale au Quaternaire récent, amènent à considérer comme hautement probable l'existence de une ou plusieurs périodes sèches dans le bassin de l'Amazone, à l'holocène, entre 3 000 et 6 000 ans B.P. environ. Certaines zones *climatiquement sensibles* du bassin auraient été particulièrement affectées par les phénomènes, l'une d'elles correspondant, sans doute, à un couloir N.W.-S.E. allant du Roraima au Maranhão. Cette (ou ces) phase(s) d'assèchement du climat, vraisemblablement liée(s) à des phénoménes de refroidissement à l'échelle mondiale, aurai(en)t eu pour conséquence un dépérissement de la végétation, vraisemblablement forestière, qui existait à cette époque dans cette zone. Celle-ci aurait pu être alors ravagée, sur de vastes étendues, par des incendies. Ainsi s'expliqueraient, dans une certaine mesure, certaines particularités du peuplement végétal actuel du bassin. Il faut espérer que dans un proche avenir des recherches sur le terrain tout au long du « couloir sec » amazonien et des études de laboratoire plus poussées que nous n'avons pu les mener seront entreprises afin d'apporter des précisions sur cet épisode encore énigmatique de l'histoire du bassin de l'Amazone.

REMERCIEMENTS

L'auteur exprime sa particulière reconnaissance à Mme G. DELIBRIAS, à MM. L. MARTIN, P. ROGNON, G. SIEFFERMANN, Y. TARDY, ainsi qu'à MM. R. MAURY, J. C. REVEL, A. BITTENCOURT et F. X. HUMBEL, pour toutes les informations qu'ils lui ont transmise et encouragements qu'ils lui ont prodigué. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide de tous les géologues de l'I.D.E.S.P. ayant participé au « projeto Santarém-Cachimbo », spécialement C. ALMEIDA, E. N. de CAMPOS et J. M. SANTANA SANTOS : qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour leur soutien au cours de l'exploration d'une région particulièrement difficile de notre planète.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M. le 11 mars 1980.

(1) Radam, vol. 7 : « ... O cipoal constitui um « anticlimax » de evidencias bioclimáticas ligadas a provável flutuacão climática mais seca... »