

8 L'ÉVOLUTION A LONG TERME DE LA FORÊT AMAZONIENNE

BIODIVERSITÉ ET CHANGEMENTS GLOBAUX

1. Climat et hétérogénéité du massif forestier

Les botanistes et les zoologistes ont formulé de longue date l'hypothèse que de fortes contraintes climatiques se sont exercées dans le passé sur le massif forestier amazonien (Prance, 1982). D'intenses sécheresses auraient profondément perturbé les écosystèmes sur de grandes surfaces et la forêt dense se serait alors seulement maintenue dans les secteurs – « les zones refuges » – où les conditions lui restaient favorables. Inversement, le retour à un climat humide se serait traduit par une reconquête forestière à partir des refuges de l'époque sèche antérieure, mais cette reconquête s'est faite à différentes vitesses selon les espèces car beaucoup d'entre elles ont une faible capacité de dispersion (transport difficile des graines, conditions spécifiques de germination, etc.). Ces espèces n'auraient encore aujourd'hui que très partiellement recon-

quis l'espace qui leur est favorable. Les secteurs où la forêt s'est maintenue pendant les périodes sèches seraient marqués, au sein de la forêt actuelle, par une plus grande biodiversité, car les contraintes climatiques n'y ont pas été assez marquées pour éliminer les espèces les plus sensibles. De plus, on présume que de nouvelles espèces ont pu y apparaître, se maintenir et se développer. Finalement, en répondant aux modifications du climat par des processus de fragmentation/recolonisation, le massif forestier amazonien aurait acquis l'hétérogénéité qui en est actuellement la principale caractéristique.

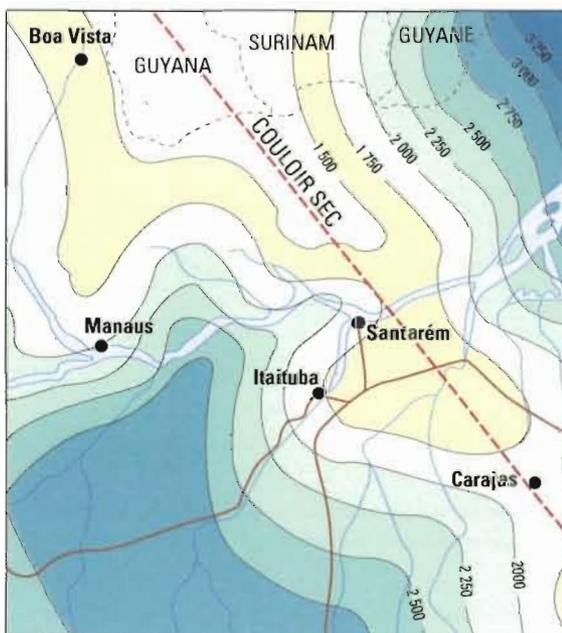
Cette hypothèse ne peut être validée que par une reconstitution très précise de l'histoire des massifs forestiers. Les anciens auteurs ont admis que les modifications majeures les plus récentes de la forêt ont eu lieu il y a environ 18 000 ans¹ lors de la phase la plus froide de la dernière époque glaciaire (Ab'Saber, 1977). Des conditions climatiques plus sèches qu'actuellement ont été repérées à cette date dans de nombreuses régions

tropicales, notamment en Afrique. En Amazonie, quelques indices tels que d'anciennes traces d'érosion sous la couverture végétale dense actuelle, suggèrent que la forêt a été largement remplacée par des espaces ouverts de savane avant 10000 ans. Mais certaines observations ont montré que de fortes perturbations ont également eu lieu à des dates plus récentes durant la période chaude interglaciaire des dix mille dernières années. En Bolivie, par exemple, sur les marges sud-ouest de l'Amazonie, nous connaissons des dunes éoliennes fossiles qui se sont édifiées il y a moins de 3500 ans (Servant *et al.*, 1981). Ces dunes impliquent un recul très marqué de la forêt au profit d'un paysage aride et c'est seulement après 1500 ans qu'elles ont été colonisées par la forêt. A l'intérieur du massif forestier, des charbons de bois fossilisés dans des sols du Pará et du haut Rio Negro montrent que la forêt a été, au cours des derniers millénaires, assez intensément modifiée pour donner prise au feu, ce qui n'est pas possible dans les conditions présentes (Soubiès, 1980). Enfin, des épisodes durant lesquels les rivières se situaient en dessous de leurs niveaux actuels ont été décelés dans diverses régions et suggèrent une diminution épisodique des précipitations à l'échelle de l'ensemble du bassin amazonien (Absy, 1985). Toutes ces observations confirment les anciens changements climatiques qui ont été envisagés par les biogéographes pour fournir une explication cohérente à l'hétérogénéité de la forêt actuelle. Néanmoins, elles restent insuffisantes pour relier précisément l'évolution de l'état actuel des écosystèmes aux modifications passées du climat régional ou planétaire.

2. Une zone sensible : le « couloir sec » amazonien

Les travaux récemment réalisés dans le cadre du programme « Conservation de la forêt amazonienne » (ECOFIT, 1996) apportent des éléments nouveaux et plus précis de datation. Ils concernent le « couloir sec » amazonien (figure 1). Celui-ci correspond à la zone actuellement la moins humide du massif forestier ; les précipitations y sont de l'ordre de 1500 mm/an et la durée de la saison sèche y est supérieure à trois mois. Ce « couloir sec » qui s'étend du Nord-Ouest au Sud-Est, entre le Roraima et le Pará, sépare les zones très humides de l'Amazonie occidentale et de l'Amazonie orientale.

● Le site de Carajas vers 6° de latitude Sud est localisé en forêt mais une végétation d'arbustes et d'herbacées y est localement observée sur des plateaux de faible étendue – la Serra Norte et la

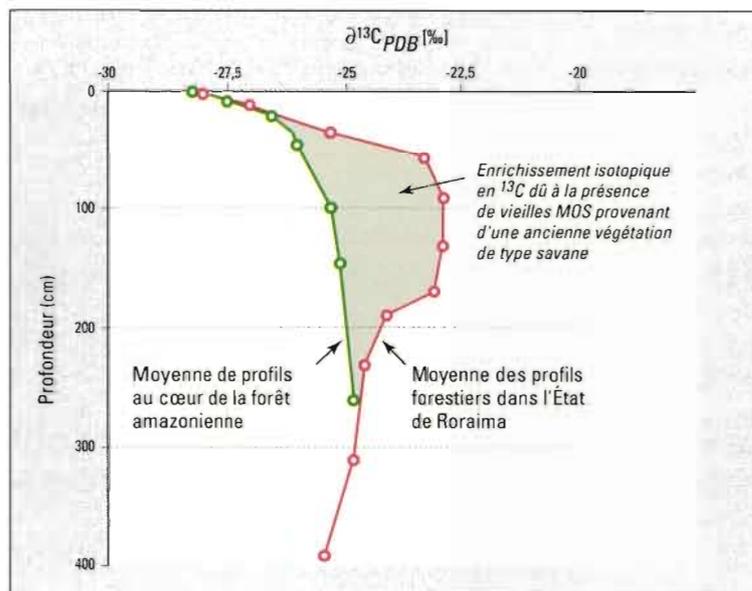


1. Localisation des sites de Carajas et Boa Vista dans le « couloir sec » amazonien (d'après le projet Radam).

1. Les dates mentionnées dans cet article sont exprimées en âges radiocarbone avant le Présent qui par convention correspond à l'année 1950.



2. Vue panoramique sur la Serra Sul de Carajas. La partie sommitale du relief correspond à une cuirasse ferrugineuse très indurée où la végétation se réduit à une couverture arbustive et herbacée. La Serra Sul s'élève au-dessus de la forêt (premier plan).



3. Profils moyens de compositions isotopiques ^{13}C de différents sols forestiers prélevés au cœur de la forêt amazonienne, comparés à ceux prélevés dans le Roraima. Dans les sols sous forêt du Roraima, les teneurs en Carbone 13 sont plus élevées entre 100 et 200 cm que dans d'autres régions forestières d'Amazonie. Elles enregistrent un épisode de retrait de la forêt vers 5000 ans. Des profils comparables ont aussi été observés dans les sols de Carajas où la forêt a été remplacée à la même époque par une végétation herbacée.

Serra Sul – qui s'élève au-dessus du paysage forestier (document 2). Cette végétation particulière est liée à la présence d'une cuirasse ferrugineuse très indurée et subaffleurante où la forêt ne peut pas se développer. Sur les plateaux, de nombreuses dépressions de petites tailles, liées à des zones d'irrégularités de la cuirasse, sont occupées par des lacs peu profonds ou des marécages. Ceux-ci sont alimentés par les eaux de pluie et par le ruissellement. Les sédiments qui s'y accumulent sont essentiellement constitués de restes organiques produits par la végétation aquatique. Les dépressions reçoivent également, par le jeu des courants atmosphériques, les pollens qui sont émis

par la forêt dense située en contrebas. Ceux-ci sont en quelque sorte la signature, sur les plateaux, des écosystèmes forestiers humides qui caractérisent la région de Carajas.

● *Le site de Boa Vista*, à 4° de latitude Nord, présente des caractéristiques différentes : il s'insère dans un paysage relativement plat où la végétation est constituée par des unités en mosaïques de forêts et de savanes aux limites bien tranchées. Ces mosaïques marquent la transition entre le massif forestier amazonien au Sud et les savanes du Roraima au Nord. De nombreuses dépressions lacustres ou marécageuses parsèment le paysage en forêt comme en savane.

3. Les sols et les sédiments, archives du passé

Les changements passés des écosystèmes ont été reconstitués dans les sites de Carajas et Boa Vista par l'étude des sols et par l'étude des sédiments. Dans les sols tropicaux, les isotopes stables du carbone sont présents en proportions différentes dans la matière organique des horizons de surface, selon le type de végétation. Les teneurs en Carbone 13, exprimées par rapport à un échantillon standard (PDB), sont de l'ordre de -12‰ sous savane et de -27‰ sous forêt. En profondeur, le sol contient des matières organiques résistantes dont les âges, déterminés par la méthode du radiocarbone, se révèlent de plus en plus anciens du haut vers le bas. L'analyse du Carbone 13 permet donc de savoir si ces matières organiques fossiles proviennent d'une végétation de savane ou de forêt. On a pu ainsi mettre en évidence à Boa Vista et à Carajas (figure 3) que des sols actuellement sous forêt ont été occupés par la savane il y a un peu plus de 4000 ans. Ils contiennent en effet, entre 1 et 2 m de profondeur, une matière organique ancienne dont les

teneurs en Carbone 13 (- 22‰), anormalement élevées pour un sol sous forêt, montrent qu'elle est issue en partie d'une végétation de graminées. Les sédiments qui se sont accumulés au cours du temps dans les dépressions lacustres ou marécageuses constituent de véritables archives naturelles où l'on retrouve les traces des modifications passées de l'environnement. Pour accéder à ces archives, des sondages sont réalisés dans les dépressions (document 4). Un tube d'aluminium, soumis à des vibrations dans sa partie supérieure, est enfoncé manuellement dans le sédiment. Après extraction, il est transporté au laboratoire où il est scié en deux parties dans le sens de la longueur. Le sédiment contenu dans le tube est échantillonné niveau par niveau selon une maille serrée de prélèvements. Les échantillons sont ensuite analysés par différents spécialistes. Les géochimistes, en s'appuyant sur la méthode du Carbone 14, estiment l'âge radiométrique de chaque échantillon. Les palynologues, en étudiant les grains de pollen fossilisés dans les sédiments, reconstituent les états successifs de la végétation. Il leur est par exemple facile de repérer un recul de la forêt au profit de la savane, car un tel changement entraîne une forte augmentation de la fréquence des pollens de graminées ou d'arbres typiques de la savane. Les sédimentologues s'intéressent aux flux sableux ou argileux qui ont atteint le milieu de sédimentation après transport par le ruissellement. Les variations au cours du temps de ces flux et de leurs différents constituants minéralogiques enregistrent les modifications de l'environnement et, en particulier, les phases d'intensification de l'érosion sur le bassin versant. Les paléontologistes déterminent les micro-organismes dont les restes sont conservés dans les dépôts. Certains de ces micro-organismes, comme les algues de l'espèce *Botryococcus braunii* et les éponges de l'espèce *Corvomeyenya thumi*, semblent mieux résister à des conditions d'assèchements intermittents de la tranche d'eau. De plus,



4. Opération de sondage dans le lac de São Joaquim (Roraima).

ces algues paraissent mieux adaptées à des milieux lacustres ouverts alors que les éponges se développent plutôt dans les marécages encombrés de végétation aquatique. Les résultats de toutes ces analyses permettent donc de comparer les modifications de la végétation, les changements de l'érosion et les variations des milieux aquatiques, et d'en extraire une interprétation sur l'histoire de l'environnement.

4. Les changements liés à la dernière époque glaciaire

La dernière époque glaciaire, entre 110 000 et 10 000 ans, a été caractérisée par des températures plus basses qu'actuellement sur l'ensemble

de la planète mais on sait que de nombreux épisodes de relatif réchauffement, appelés « interstades », y sont intercalés (Jouzel *et al.*, 1994). L'analyse des carottes de glace, prélevées dans l'Antarctique et au Groenland, a révélé que le gaz carbonique (CO_2) et le méthane (CH_4) étaient moins abondants dans l'atmosphère que durant les époques chaudes interglaciaires de l'histoire du globe (Lorius *et al.*, 1990). Leurs teneurs ont néanmoins augmenté de manière significative durant les épisodes interstadiques de relatif réchauffement. Les variations du méthane ont été expliquées par des modifications du cycle hydrologique et de la végétation dans les régions continentales des basses latitudes, car celles-ci sont considérées comme la principale source du

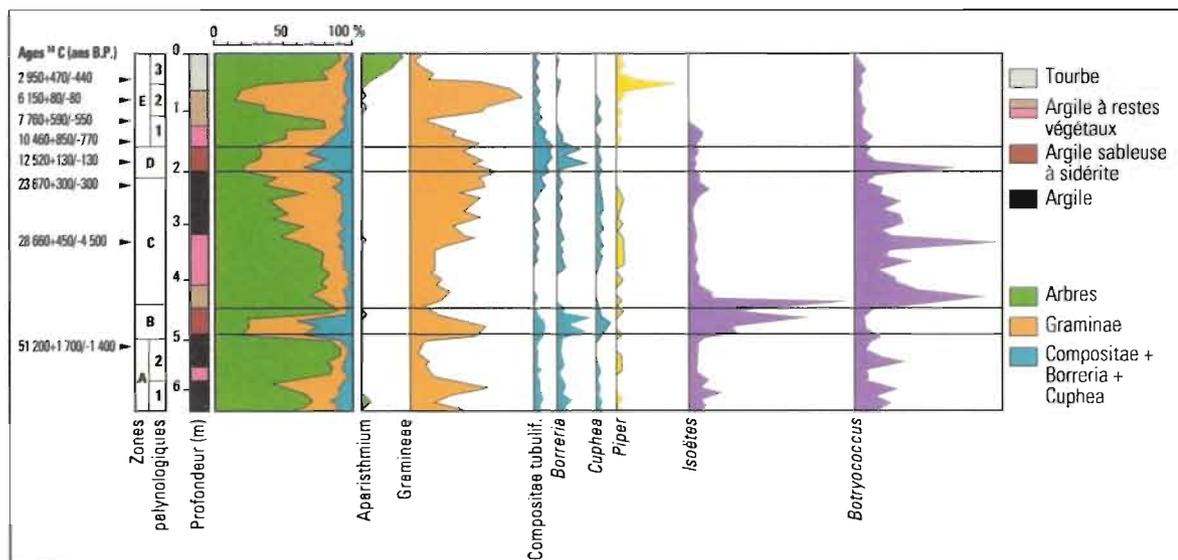
méthane contenu dans l'atmosphère. On peut donc prévoir, d'après les enregistrements des carottes glaciaires, que la zone équatoriale a connu une évolution aussi complexe que les hautes et moyennes latitudes durant la dernière période glaciaire.

L'histoire de l'environnement, qui a été reconstruite sur le site de Carajas d'après l'étude des archives sédimentaires lacustres, en donne la confirmation. Le diagramme palynologique figure 5 (Absy *et al.*, 1993) montre clairement que la forêt de cette partie de l'Amazonie a régressé à plusieurs reprises au profit de la savane. Les changements décelés dans la partie inférieure du diagramme (zones palynologiques A et B) ne sont pas encore précisément datés car la méthode du radiocarbone n'est pas applicable

de manière fiable aux époques antérieures à 35 000 ans (l'âge de 51 200 ans mentionné sur le diagramme doit être considéré pour cette raison avec précaution).

Les changements plus récents sont mieux datés et on peut les comparer avec les enregistrements connus dans d'autres régions du globe. Ils délimitent quatre grandes étapes :

- Une phase forestière est clairement enregistrée par des pourcentages élevés des pollens d'arbres entre 40 000 ans environ et 30 000 ans (partie inférieure de la zone C). La présence du genre *Ilex* et d'éléments de la famille des Mélastomacées, aujourd'hui peu représentés dans les pollens de Carajas, suggère que la forêt était assez différente de ce qu'elle est actuellement. Cette phase forestière est chronologiquement proche d'un



5. Diagramme palynologique simplifié d'une carotte prélevée par sondage dans une dépression marécageuse de Carajas. A gauche, les variations relatives des pourcentages des pollens d'arbres (en vert), de graminées (en orange) et des éléments typiques de la savane (en bleu) depuis la base jusqu'au sommet de la carotte, révèlent d'intenses fluctuations de l'écosystème forestier. A droite, sont représentées les variations individuelles de quelques taxons terrestres ou aquatiques. Isoètes est une plante aquatique d'eau peu profonde : il est associé à l'une des plus anciennes phases de régression de la forêt. Les pourcentages les plus élevés de l'algue *Botryococcus* marquent les épisodes de hauts niveaux lacustres dans la dépression. La période comprise entre 23 670 et 12 520 n'est représentée que par une faible épaisseur de sédiment car la dépression s'est asséchée durant la plus grande partie de cette tranche de temps.

épisode global de relatif réchauffement (inter-stade).

- *Une régression de la forêt a débuté vers 30 000 ans et a culminé vers 20 000 ans.* Elle coïncide avec un intense refroidissement de la planète et avec une diminution des teneurs de l'atmosphère en méthane.

- *La période comprise entre 20 000 et 13 000 ans n'est pas représentée à Carajas car les lacs se sont alors asséchés, d'où un hiatus de sédimentation dans les dépressions.* Des conditions beaucoup plus sèches se sont alors instaurées à Carajas. De telles conditions ont été signalées à la même époque dans de nombreuses autres régions tropicales : elles ont été associées à la phase la plus froide (20 000-15 000 ans) de la dernière époque glaciaire.

- *Une remise en eau des dépressions et une lente progression de la couverture arborée caractérisent la période comprise entre 13 000 et 10 000 ans.* Une évolution similaire a eu lieu dans d'autres secteurs de la zone tropicale, en Afrique, en Amérique du Sud et dans le Sud-Est asiatique. Elle a enregistré aux basses latitudes un changement planétaire qui a été marqué par une forte élévation de la température et une augmentation des teneurs en CO₂ et CH₄ de l'atmosphère. La forêt tropicale a eu alors tendance à se reconstituer à partir de zones refuges où elle s'était maintenue durant l'époque glaciaire, mais c'est seulement à 9 000 ans qu'elle a atteint son développement optimum. Une augmentation des précipitations en a été certainement la cause principale mais l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère a pu également contribuer au renforcement des biomasses forestières.

Toutes ces observations montrent que la végétation du « couloir sec » amazonien a évolué en étroite relation avec les changements globaux et que les phases de retrait et d'extension de la forêt que nous y observons s'insèrent dans une évolution d'ensemble de la bande forestière équatoriale.

5. Les intenses perturbations des dix mille dernières années

Les dix mille dernières années correspondent à une période chaude interglaciaire sur l'ensemble du globe. Les changements qu'on y a décelé, notamment par l'étude des carottes de glace, ont été considérés jusqu'à présent comme trop faibles pour avoir un impact significatif sur la forêt tropicale (les températures ont varié de 1° à 2 °C aux moyennes latitudes). Les enregistrements sédimentaires de Carajas montrent que la forêt a connu en réalité d'importantes modifications.

L'optimum forestier qui caractérise le paysage de Carajas à 9 000 ans a été identifié dans d'autres régions tropicales. En Afrique et en Asie, les modèles mathématiques du climat suggèrent, en bon accord avec les observations, que cet optimum est lié à un renforcement des pluies de mousson. En Amérique du Sud, la situation apparaît plus complexe et elle est encore mal comprise. Aux basses latitudes sud de ce continent, l'époque de 9 000 ans, caractérisée par des conditions humides dans le Sud-Est de l'Amazonie (Carajas), a été marquée au contraire par des conditions sèches dans les hautes montagnes des Andes de Bolivie (le niveau du lac Titicaca se situait à plusieurs dizaines de mètres en dessous de son altitude actuelle, Mourguiart *et al.*, 1992). Dans le Sud-Est du Brésil, la forêt d'Araucaria s'étendait à près de 1 000 km au Nord de sa position présente (Ledru *et al.*, 1994) et il n'en subsiste aujourd'hui que de rares témoins sur les plus hauts reliefs. Le climat était alors relativement froid, humide et sans saisons sèches bien marquées. Cette extension de la forêt d'Araucaria a été expliquée par de fréquentes pénétrations aux basses latitudes d'air polaire froid, issu de l'Antarctique. Il s'agit là d'un mécanisme atmosphérique encore aujourd'hui très actif dans le Sud du Brésil. Limitée aux basses

couches de l'atmosphère, sur une tranche de 1 000 à 2 000 m d'épaisseur, cette pénétration d'air polaire froid n'atteint pas les très hautes altitudes de la Cordillère des Andes. Son rôle sur le climat tropical est donc limité aux régions de moins de 1 000 à 2 000 m d'altitude. On comprend ainsi comment des conditions sèches ont pu s'instaurer dans les Andes de Bolivie alors que le Brésil central, soumis aux perturbations polaires, était humide. Nous ne savons pas pour le moment si l'air polaire a atteint le bassin amazonien et cela sera l'une des questions auxquelles devront répondre les recherches futures.

La période comprise entre 7 500 et 4 000 ans a été marquée à Carajas par une régression de la forêt au profit d'une végétation de graminées. A la même époque, une extension de la savane est clairement identifiée dans la région de Boa Vista (Desjardins *et al.*, 1996). Une forte sécheresse a donc eu lieu dans le « couloir sec » amazonien durant plus de 3 000 ans. Cette perturbation semble s'être également manifestée à l'Est du massif forestier (nous verrons plus loin qu'elle est signalée par de fréquents charbons de bois fossiles dans les sols de la Guyane française) mais elle n'a pas été jusqu'à présent identifiée à l'Ouest. Elle n'en révèle pas moins un changement climatique d'échelle continentale car celui-ci a été mis en évidence dans d'autres parties de l'Amérique du Sud : au Brésil central, la forêt d'Araucaria a été remplacée par une forêt semi-décidue qui a elle-même cédé ensuite la place à un paysage de savane ; au Nord de Rio de Janeiro, dans la vallée du Rio Doce, la forêt (*Mata Atlantica*) était réduite, au moins partiellement, à des forêts galeries qui occupaient les fonds des vallées ; en Bolivie, sur les hauts plateaux andins, le niveau du lac Titicaca se situait à plus de 60 m en dessous de son altitude actuelle.

La forêt s'est reconstituée aux alentours de 4 000 ans et elle a progressé au détriment de la savane sur ses bordures septentrionales. Mais à Carajas,

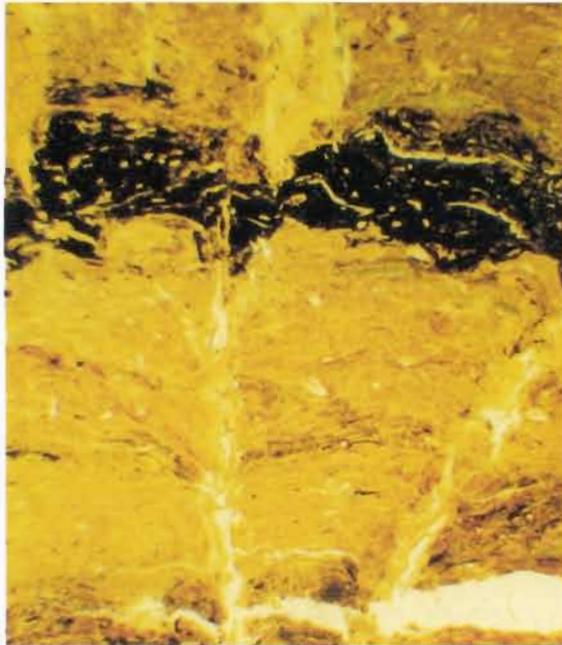
la persistance après cette date de pollens d'arbres, comme le genre *Cecropia* qui caractérise les lisières ou les trouées de la forêt, montre que des espaces ouverts ou très perturbés se sont maintenus. L'écosystème forestier n'a donc atteint son aspect actuel qu'à une date très récente. A Boa Vista, les analyses palynologiques faites sur les carottes prélevées sur le fond des lacs en savane (Lago Redondo) et en forêt (Laguna Campestre) n'ont pas révélé pour le moment de changements majeurs durant les 4 000 dernières années.

Les mécanismes qui sont à l'origine des modifications du climat amazonien durant la période interglaciaire des dix derniers millénaires sont encore difficiles à déterminer car on manque d'observations dans certaines régions clés du continent sud-américain, notamment au Nord de l'équateur. Nous présumons néanmoins que ces modifications ont été principalement contrôlées par les circulations océaniques car elles se révèlent différentes en Afrique et en Amérique du Sud. On sait en effet que la forêt s'est maintenue sur le continent africain entre 7 500 et 4 000 ans alors qu'elle était au moins régionalement très perturbée sur le continent sud-américain (Servant *et al.*, 1993). Cette opposition entre les deux continents s'observe également sous une forme beaucoup plus atténuée aux courtes échelles de temps de la période actuelle. De nos jours, les anomalies négatives de précipitations de la zone équatoriale se révèlent plus fréquentes et plus intenses en Amérique du Sud qu'en Afrique. Ces anomalies sont étroitement corrélées, en Amazonie, à des épisodes de réchauffement des eaux de surface du Pacifique oriental au large du Pérou. Ces épisodes appelés *El Niño* ont un impact moins apparent en Afrique car les précipitations sont ici plus fortement contrôlées par les températures de surface de l'Atlantique tropical. Il est donc possible, par analogie avec les événements actuels, de relier les périodes sèches d'Amazonie à l'évolution du Pacifique oriental

(Martin *et al.*, 1993). Cette interprétation, bien qu'elle soit encore provisoire, n'en laisse pas moins entrevoir que les circulations océaniques ont joué un rôle déterminant dans l'évolution du climat et donc des écosystèmes forestiers durant les derniers dix mille ans.

6. Le feu, facteur important de l'évolution récente

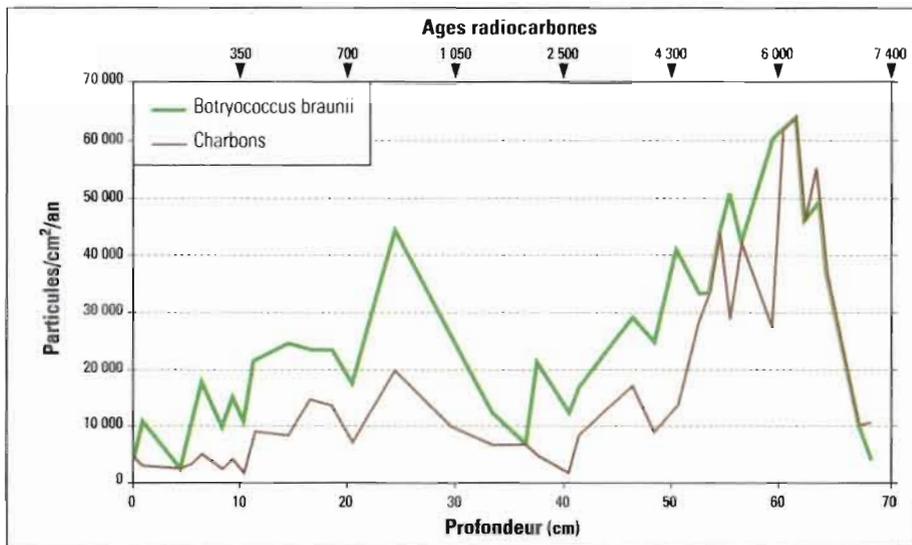
Les traces de paléocendies, déjà signalées dans le Pará et dans le haut Rio Negro, existent également à Carajas. Elles sont représentées dans les sols sous forêt par des charbons de bois. Ceux-ci datent en majorité de 7 000 à 4 000 ans mais quelques-uns, situés à proximité des lisières



6. Vue microscopique d'un échantillon de sédiment lacustre. La bande noire (épaisseur : un dixième de mm environ) est exclusivement constituée de microparticules charbonneuses datées d'environ 6 000 ans. Elle enregistre un épisode durant lequel les incendies ont été fréquents dans la région de Carajas.

actuelles près des plateaux cuirassés, ont fourni des âges plus récents (1 000 à 1 500 ans). Les paléocendies ont aussi été enregistrés par des accumulations épisodiques de minces couches (document 6) riches en microparticules charbonneuses dans le fond des lacs de la Serra Sul. La fréquence de ces microparticules suggère que les paléocendies ont été plus ou moins importants selon les époques : intensément développés entre 7 000 et 4 300 ans, ils semblent avoir pratiquement disparu vers 2 500 ans et s'être à nouveau modérément développés entre 900 et 400 ans. Les charbons, simultanément présents dans les sols où ils n'ont pas été transportés sur de longues distances, et dans les sédiments lacustres où ils se sont accumulés après un transport aérien, proviennent nécessairement d'incendies ayant affecté des surfaces assez importantes. Leur abondance maximale, entre 7 000 et 4 000 ans, coïncide avec un large développement des espaces ouverts à graminées. Ils ont donc eu lieu dans des écosystèmes déjà durablement perturbés par le climat. Dans les sédiments, la fréquence des charbons et celle des algues du genre *Botryococcus* évolue de manière remarquablement parallèle (figure 7). On peut en déduire que les incendies ont eu un impact important sur les milieux aquatiques, peut-être parce que ceux-ci ont été enrichis en éléments nutritifs par des apports en aérosols issus des zones brûlées.

Les traces d'incendies sont connues dans de nombreuses autres régions de l'Amérique du Sud, y compris dans les zones actuellement les plus humides comme la Guyane. Il est difficile de les attribuer à des actions anthropiques locales. Nous pensons plutôt que ce sont des stress hydriques répétés qui ont fragilisé les écosystèmes, de telle sorte que ceux-ci ont donné prise au feu. Cette interprétation est corroborée en Guyane par le fait que le feu a été très fréquent bien avant les premières occupations humaines qui datent ici seulement de 2 000 ans. Le rôle de



7. Variations en fonction de la profondeur des microparticules charbonneuses et de l'algue du genre *Botryococcus* dans les sédiments lacustres des 7 400 dernières années à Carajas. Le parallélisme entre les variations de ces deux indicateurs suggère que la production algale des anciens milieux aquatiques a été fortement influencée par des apports en aérosols produits par les feux.

l'homme néanmoins ne peut pas être négligé car il a pu renforcer la vulnérabilité des écosystèmes aux incendies. Il suffit que des espaces ouverts apparaissent au sein de la forêt dense pour que les feux qui y sont déclenchés par l'homme puissent pénétrer plus ou moins profondément à l'intérieur de la forêt si celle-ci a été antérieurement déstabilisée par des événements secs.

7. Forêt et fonctionnement du système planétaire

La variabilité de la forêt, telle qu'on peut l'appréhender d'après les traces qu'elle a laissées dans les sols et les sédiments du « couloir sec » amazonien, apparaît aujourd'hui beaucoup plus marquée qu'on ne le croyait jusqu'à présent. En période glaciaire, la forêt du « couloir sec » amazonien a répondu au changement de l'environnement planétaire et cette réponse ne diffère pas fon-

damentalement de celle qui a été observée dans d'autres régions tropicales, au moins pour la période comprise entre 30 000 et 10 000 ans. La forêt a reculé durant les phases les plus froides de l'évolution du globe et elle a au contraire progressé durant les phases de réchauffement. Ces fluctuations peuvent avoir joué, en retour, un rôle sur les grands cycles biogéochimiques de la planète : elles ont probablement contribué aux modifications des teneurs en méthane dans l'atmosphère.

Dans les conditions interglaciaires que nous connaissons depuis 10 000 ans, la forêt, que l'on croyait relativement stable, a été en réalité soumise à des contraintes climatiques dont les effets ont été considérables : l'écosystème forestier a fortement régressé dans le « couloir sec » amazonien durant une longue période comprise entre 7 500 et 6 000 ans. Plus récemment, les incendies qui se sont répétés à plusieurs reprises alors que la forêt avait tendance à se reconstituer montrent que les perturbations déjà reconnues

dans certaines régions périphériques comme la Bolivie n'ont pas été limitées aux bordures du massif forestier. Finalement, il ressort que la forêt est un écosystème très sensible aux changements du climat. Cela est d'autant plus important à souligner que l'on peut s'attendre, aux échelles de temps des prochaines décennies, à des modifications climatiques significatives. L'anthropisation de plus en plus poussée de l'Amazonie et en particulier le remplacement sur de grandes étendues de la forêt « primaire » par une forêt « secondaire » ne peut que renforcer l'impact des variations climatiques. Un exemple récent en a été donné au Brésil par les incendies qui ont affecté au total près de 8 millions d'hectares de forêt à la faveur d'une anomalie sèche, pourtant de courte durée, qui a eu lieu en 1987.

8. La « mémoire » de la forêt et son futur

L'idée que le massif forestier a été soumis à des processus de fragmentation et de recolonisation d'origine climatique est renforcée par les recherches récemment conduites dans le « couloir sec » amazonien. Ces processus se sont répétés à un rythme plus rapide qu'on ne le présumait jusqu'à présent et surtout ils ne concernent pas seulement les époques reculées de la dernière époque glaciaire. La sécheresse qui a eu lieu vers 6000 ans a certainement introduit de fortes discontinuités au sein du massif forestier. Dès lors, il est probable que de nombreuses formations végétales forestières datent seulement de quelques siècles ou de quelques millénaires. Celles qui sont les plus riches en espèces à dispersion rapide témoignent d'une reconquête forestière récente ayant succédé à d'intenses perturbations d'origine climatique. Par ailleurs, certaines savanes aujourd'hui isolées les unes des

autres par des espaces forestiers, correspondent probablement aux formes relictuelles d'anciens paysages ouverts de paléoclimats secs. On peut donc admettre que les écosystèmes d'Amazonie correspondent de nos jours à des états transitoires au sein d'une longue évolution et qu'ils ne sont que partiellement en équilibre avec le climat actuel. Les actions anthropiques, considérablement accélérées durant les dernières décennies, auront un impact d'autant plus important qu'elles s'exercent sur des milieux naturellement instables sur le long terme. En fragilisant les écosystèmes, elles peuvent amplifier l'impact des futurs changements du climat. C'est ainsi que des anomalies négatives de précipitations, qui n'auraient pas de conséquences majeures en milieu naturel, renforcent la propagation des incendies sur de vastes étendues. En fragmentant le massif forestier, les actions anthropiques favorisent l'expansion d'espèces colonisatrices spécialisées à des conditions écologiques extrêmes.

Conclusion

En définitive, les changements passés obligent à prendre conscience que les perturbations climatiques, aujourd'hui amplifiées par l'action de l'homme, laisseront au sein des écosystèmes des traces qui peuvent perdurer sur de très longues périodes, séculaires à millénaires. Les étroites relations, que l'on commence à appréhender entre l'évolution de la forêt et les changements planétaires, montrent que le massif forestier amazonien est très sensible aux modifications de l'environnement global. Les modifications climatiques qui pourraient avoir lieu à l'échéance des prochaines décennies en relation avec un réchauffement probable de la planète (« effet de serre ») constituent de ce fait un risque potentiel d'autant plus important que les conséquences en seront renforcées par les actions anthropiques.

BIBLIOGRAPHIE

AB'SABER A.N. (1977), *Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários*, Paleoclimas, São Paulo, 3, pp. 1-20.

ABSY M.L. (1985), « The palynology of Amazonia: the history of the forest as revealed by the palynological record » dans *Keyenvironments Amazonia*, C.T. Prance et T.E. Lovejoy, eds, Oxford Pergamon Press.

SERVANT M. ET ABSY M.L. (1993), « A história do clima e da vegetação pelo estudo do pólen », *Ciência Hoje*, 16, pp. 26-30.

DESJARDINS TH., CARNEIRO FILHO A., MARIOTTI A., CHAUVEL A. ET GIRARDIN C. (1996), « Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios », *Ecology*, sous presse.

ECOFIT-PROGRAMME (1996), « Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux », Symposium (résumés), Paris, mars 96, programme CNRS-ORSTOM « Écosystèmes et paléocécosystèmes des forêts intertropicales », Centre de Recherche Ile-de-France, ORSTOM, Bondy, 335 pages.

JOUZEL J., LORUIS C., JOHSEN S. ET GROOTES P. (1994), « Climate instabilities: Greenland and Antarctic records », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 319, 2, pp. 65-77.

LEDRU M.P., BEHLING H., FOURNIER M., MARTIN L. ET SERVANT M. (1994), « Localisation de la forêt d'Araucaria du Brésil au cours de l'Holocène. Implications paléoclimatiques », *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 317, pp. 517-521.

LORUIS C., JOUZEL J., RAYNAUD D., HANSEN J. ET LE TREUT H. (1990), « Greenhouse warming climate sensitivity and ice-core data », *Nature*, 347, pp. 139-145.

MARTIN L., ABSY M.L., FLEXOR J.M., FOURNIER M., MOURGUIART PH., SIFEDDINE A. ET TURCQ B. (1993), « Long-term El Niño-like conditions expounding climate alterations in South America during the last 7000 years », *Quaternary Research*, 39, pp. 338-346.

MOURGUIART PH., WIRRMANN D., FOURNIER M. ET SERVANT M. (1992), « Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 315, 2, pp. 875-880.

PRANCE G.T. ED. (1982), *Biological Diversification in the Tropics*, Columbia Univ. Press, New York, 681 pages.

SERVANT M., FONTES J.C., RIEU M. ET SALIÈGE X. (1981), « Phases climatiques arides holocènes dans le Sud-Ouest de l'Amazonie (Bolivie) », *C.R. Acad. Sci. Paris*, 292, 2, pp. 1295-1297.

SERVANT M., MALEY J., TURCQ B., ABSY M.L., BRENAC P., FOURNIER M. ET LEDRU M.P. (1993), « Tropical forest changes during the Late Quaternary in African and South American lowlands », *Global and Planetary Change*, 7, pp. 25-40.

SOUBIÉS F. (1980), « Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000-3000 ans B.P.) », *Cah. ORSTOM Géol.*, 11, pp. 133-148.

RÉSUMÉ

L'hétérogénéité actuelle de la forêt amazonienne résulte d'une longue évolution liée aux changements planétaires du climat. Durant la dernière époque glaciaire, les phases d'expansion ou de retrait des écosystèmes forestiers se corrèlent aux changements globaux de la température. Durant l'actuelle période chaude, d'intenses perturbations régionales ont profondément affecté la forêt amazonienne qui a été, de toutes les forêts équatoriales, celle qui a connu la plus forte variabilité durant les derniers millénaires. Cela explique en partie la distribution très complexe des espèces animales ou végétales actuelles. De nos jours, les actions anthropiques amplifient l'impact des variations du climat et laisseront une empreinte forte qui perdurera sur de longues périodes, séculaires à millénaires.

A heterogeneidade atual da floresta amazônica resulta de uma longa evolução ligada às mudanças mundiais do clima. Durante a primeira época glacial, as fases de expansão ou de contração dos eco-sistemas florestais se correlacionaram às mudanças globais de temperatura. Durante o atual período quente, intensas perturbações regionais afetaram profundamente a floresta amazônica que foi, de todas as florestas equatoriais, a que conheceu a mais forte variação durante os últimos milênios. Isto explica em parte a complexa distribuição das espécies animais ou vegetais encontradas nos dias de hoje. Atualmente as ações antrópicas amplificam o impacto das variações do clima e deixarão uma forte marca que perdurará por longos períodos, séculos e mesmo milênios.

The diversity of the Amazon forest is the result of a long evolution linked to changes in the earth's climate. During the last Ice Age, the phases of expansion and contraction of the forest ecosystems were related to global changes in temperature. During the present hot period, intense regional disturbances have profoundly affected the Amazonian forest which, of all the equatorial forests, has been the one which has seen the greatest changes during recent millenia. This partly explains the very complex present-day flora and fauna. Current human activity amplifies the impact of climatic changes and will leave its mark on the Amazon forest for centuries or even millenia to come.

LES AUTEURS

■ **MICHEL SERVANT**, directeur de recherche à l'ORSTOM, docteur ès Sciences, est spécialiste de l'étude des variations du climat durant le Quaternaire. Ses recherches ont porté notamment sur les paléoenvironnements du Sahara et des Andes tropicales. Il dirige depuis 1992 le Programme Ecosystèmes et paléoécosystèmes des forêts intertropicales (ECOFIT) qui regroupe des équipes de plusieurs institutions : CNRS, ORSTOM, MNHN... en France, l'université de Brazzaville et l'université de Yaoundé en Afrique, les universités de São Paulo et de Rio de Janeiro, l'INPA et le Museo Goeldi au Brésil.

■ **MARIA LUCIA ABSY**, chercheur à l'Institut national de recherches amazoniennes (INPA, Manaus), docteur de l'université d'Amsterdam. Elle a été l'un des pionniers des études sur l'histoire de la forêt tropicale. Ses travaux ont porté notamment sur les relations pollen/végétation et sur la reconstitution des changements de la forêt dans différentes régions d'Amazonie.

■ **ARNALDO CARNEIRO FILHO**, chercheur à l'INPA, diplômé de l'université de Wageningen. De formation agronomique, il s'intéresse particulièrement à la caractérisation des paysages tropicaux par des études sur le terrain couplées à l'analyse de l'imagerie satellitaire.

■ **ARMAND CHAUVEL**, directeur de recherche à l'ORSTOM, docteur ès Sciences. Ses recherches ont porté sur la transformation des sols ferrallitiques du Sénégal en relation avec les modifications bioclimatiques. Il participe depuis 1987 aux études de l'INPA (Manaus, Brésil) sur les processus de dégradation et de régénération des sols et de leur couverture végétale en Amazonie.

■ **RENATO CORDEIRO**, étudiant au Laboratoire de géochimie de l'université fédérale fluminense de Niteroi (Brésil), prépare une thèse de doctorat sur l'enregistrement des feux de forêts dans les sédiments lacustres anciens de Carajas (Amazonie).

■ **THIERRY DESJARDINS**, chargé de recherche à l'ORSTOM, docteur de l'université de Nancy. Ses travaux concernent principalement l'évolution de la matière organique des sols en relation avec les changements d'origine climatique et/ou anthropique. Après avoir travaillé au Centre de recherche sur l'énergie nucléaire en agriculture (université de São Paulo), il participe actuellement à un programme de recherche de l'INPA (Manaus).

■ **ABDEFETTAH SIFEDDINE**, chargé de recherche à l'ORSTOM, docteur du Muséum national d'Histoire naturelle (Paris). Ses recherches portent sur la reconstitution des changements des paléoenvironnements durant le Quaternaire. Il s'est notamment spécialisé dans la caractérisation de la matière organique par l'analyse pétrographique et géochimique.

■ **BRUNO TURCQ**, chargé de recherche à l'ORSTOM, docteur de l'université de Bordeaux. Spécialiste de l'étude du Quaternaire, il a effectué des recherches sur le milieu littoral de même que sur le milieu continental tropical. Il participe actuellement aux programmes de recherche du Laboratoire de géochimie à l'université fédérale fluminense de Niteroi (Brésil).

Servant Michel, Absy M.L., Filho A.C., Chauvel Armand,
Cordeiro R., Desjardins Thierry, Sifeddine Abdelfettah,
Turcq Bruno (1997)

L'évolution à long terme de la forêt amazonienne :
biodiversité et changements globaux

In : Théry H. (ed.). *Environnement et développement en
Amazonie brésilienne*. Paris : Belin, p. 166-179

ISBN 2-7011-1532-9