

# 40

## Feux, sols et écosystèmes forestiers tropicaux

CHRISTOPHE TARDY, JEAN-LOUIS VERNET, MICHEL SERVANT,  
MARC FOURNIER, JEAN-CLAUDE LEPRUN, LUIS CARLOS PESSENDA,  
ABDELFTTAH SIFEDDINE, MARIA-EUGENIA SOLARI, FRANÇOIS SOUBIES,  
BRUNO TURCO, LUC WENGLER, AVEC LA COLLABORATION  
DE STÉPHANE VACHER, SYLVIE JÉRÉMIE, GRÉGORIO CECCANTINI,  
RENATO CORDEIRO ET RJTA SCHEEL

### Introduction

La sensibilisation au phénomène des feux de forêts dans les écosystèmes tropicaux est née d'observations de natures et de contextes différents.

Depuis ne serait-ce que les vingt dernières années, de gigantesques incendies sont apparus en de nombreux points du globe et n'ont pas épargné la zone intertropicale. Si certaines formations végétales sont connues pour être régulièrement affectées, voire même régulées par le passage des feux, les forêts denses humides n'ont pas cette réputation et ne semblent présenter aucune propension particulière à s'enflammer dans des conditions climatiques normales. Certaines en ont cependant été victimes et les effets désastreux de ces feux sur les écosystèmes forestiers ont posé la question de la responsabilité de ces phénomènes catastrophiques : climat ? homme ? action conjuguée des deux ? Dans tous les cas, s'il en était besoin, la fragilité de cette forêt tropicale, rapport à son inflammabilité potentielle, est confirmée et la compréhension des processus qui conduisent ou participent à cet état de fait apparaît primordiale : enjeu scientifique et économique.

En parallèle à ces observations, des lits de charbons de bois fossilisés dans les sols sont mis au jour lors de travaux d'aménagement et sont signalés lors d'investigations scientifiques, et ceci dans des zones forestières tropicales non connues, selon les données actuelles, pour être sujettes à incendie. En Amérique du sud notamment, l'évidence de paléofeux holocènes est mentionnée dans de nombreux travaux de recherche. Par ailleurs les changements paléoenvironnementaux enregistrés dans les sédiments démontrent l'existence d'importantes

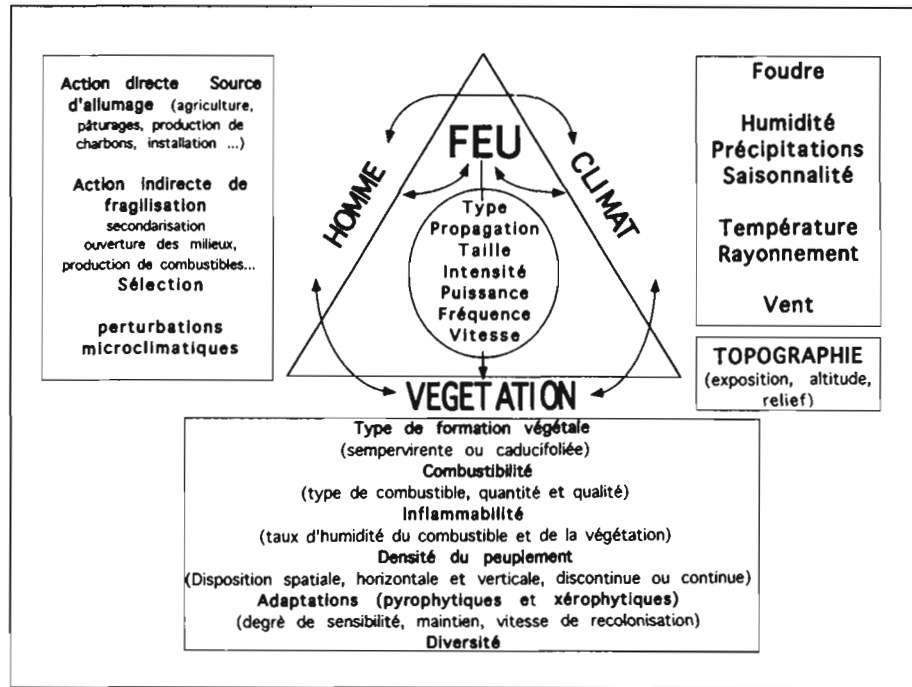
variations du climat et de la couverture végétale sur de grandes échelles de temps et ces données vont dans le sens d'une influence climatique sur l'occurrence des feux de forêts intertropicales.

En dernier lieu, l'avancée des études archéologiques en forêt tropicale, notamment en Guyane française, a elle aussi permis de révéler, sur de grandes distances, la présence de niveaux de charbons stériles d'artéfacts humains ; niveaux qui au départ ont pu poser certains problèmes aux archéologues, au vu surtout des datations très différentes de celles des périodes d'occupation. Il apparaît clairement que c'est grâce à la confrontation des connaissances et des expériences entre les problématiques anthropiques et paléoenvironmentalistes qu'il est possible de faire la lumière sur les différents phénomènes liés au feu qui se sont produits au cours des derniers milliers d'années.

### Feux de forêts actuels

La répartition des feux de forêts dans le monde n'est pas uniforme. Dans la zone intertropicale, le feu est un facteur écologique indéniable pour les zones à forte saisonnalité. Les savanes, les formations arborées ouvertes, les forêts sèches caducifoliées ont évolué avec le feu (Mueller-Dombois et Goldammer, 1990) tandis que les forêts denses plus humides et surtout sous climat hyperhumide en sont le plus souvent exemptes. De la considération de ces différentes catégories, en tenant compte des données climatiques et écologiques actuelles, naît l'appréciation des différentes variables à l'origine des incendies et de leurs aspects quantitatifs (fréquence) et qualitatifs (type, intensité, taille). L'action humaine,

Figure 1 Le triangle du feu représentant les éléments indispensables pour le déclenchement d'un feu : une source, un combustible et de l'oxygène.



génératrice de feux, de plus en plus présente sur l'ensemble de la zone intertropicale, se surimpose aux facteurs naturels et vient souvent bouleverser l'équilibre préexistant jusqu'à masquer l'image du paysage qui devrait être en place.

Le Triangle du feu (Figure 1) représente les éléments indispensables pour le déclenchement d'un feu : une source, un combustible et de l'oxygène. Les trois principaux acteurs écologiques que sont le climat (incluant les phénomènes atmosphériques), la végétation et l'homme jouent sur l'un ou l'autre de ces éléments et interagissent entre eux.

À la lumière de toutes les observations actuelles et des multiples travaux sur les traces des feux passés, il est désormais impossible de considérer le feu seulement comme un artéfact anthropique ; il s'agit bien d'une force naturelle active bien avant l'apparition de l'homme. Les seules conditions nécessaires à la production d'un incendie naturel sont un impact de foudre et un climat favorable à la propagation du feu provoqué.

La foudre est le seul phénomène atmosphérique, donc naturel, qui soit la cause directe de feux de végétation. Les orages se produisent partout dans le monde ; leur répartition n'est pourtant pas homogène et la zone intertropicale s'avère être, d'après les observations, « privilégiée » en la matière (Komarek, 1971). La foudre produit toujours une décharge électrique suffisamment chaude pour allumer un feu qui ensuite dépend de l'inflammabilité du combustible (Trabaud, 1989). Le taux d'humidité du combustible est donc la principale variable qui entre en jeu ; celle-ci est fonction notamment du climat, surtout à travers le taux d'humidité de l'air, les précipitations, la saisonnalité, la température, le rayonnement, le vent, mais aussi d'autres facteurs indirects comme la topographie. De cette manière se définit une zonalité géographique de fragilité par rapport au feu en fonction des caractéristiques climatiques régionales et locales.

Le régime pluviométrique agit moins par son aspect quantitatif que par la répartition annuelle des pluies. La durée et l'intensité de la saison ou des saisons sèches sous les tropiques sont déterminantes, de cette alternance dépend la quantité de combustible et la qualité en matière de taux d'hydratation. la saison sèche est la période de fragilité des végétations sous climat à saisons marquées. Par contre les zones fortement arrosées comme les zones côtières ou les reliefs montagneux bénéficiant également de forts taux d'humidité atmosphérique sont en quelques sortes protégées.

Le vent agit à plusieurs niveaux sur la propagation bien sûr mais également par son action desséchante.

La végétation joue un rôle à différents degrés sur la création d'un incendie de part sa combustibilité (aspect quantitatif de matériau) et son inflammabilité (capacité à prendre feu). Ces propriétés dépendent bien évidemment du type de peuplement en présence (sempervirent ou caducifolié) et de sa densité. Mais la végétation intervient également dans sa capacité de réaction au feu notamment grâce à ses plus ou moins bonnes adaptations à le supporter ou à recoloniser l'espace.

Le facteur humain quant à lui est en grande partie associé aux activités agricoles et aux défrichements qui conduisent ensuite à la secondarisation des milieux et augmentent la sensibilité des écosystèmes par rapport au feu.

## Enregistrements des paléofeux intertropicaux

Dans le cadre géographique et chronologique défini par le programme ECOFIT la plus grande quantité d'enregistrements concernant les paléo-incendies se concentre essentiellement sur l'Amérique du sud. Au Brésil, la présence discontinue de niveaux de charbons sur plus de 400 km, le long de profils de tranchées de routes, est mise en relation avec l'éventualité d'anciens feux situés entre 6 000 et 3 000 BP et associée à l'hypothèse d'un « couloir

climatique sec » en Amazonie (Soubies, 1980). Des études géomorphologiques menées en Bolivie (Servant *et al.*, 1981) mettent en évidence plusieurs phases dites sèches dans le sud-ouest amazonien, avec des charbons attribués à deux périodes de dégradations forestières vers 7 000-5 000 BP puis 3 400-1 400 BP. Des « *rain-forest fires* » se seraient répétés durant les 6 000 dernières années en Colombie et au Venezuela (Sanford *et al.*, 1985; Saldarriaga et West, 1986). Dans le bassin du Rio Doce (Servant *et al.*, 1989), des charbons sont mentionnés, datés entre 8 620 BP et 1 300 BP.

L'intérêt a donc été grandissant pour les informations susceptibles d'être apportées par les charbons fossiles en tant qu'indicateurs d'anciennes perturbations par le feu des écosystèmes forestiers tropicaux et révélateurs d'incidents traumatiques lors des fluctuations plus sèches ou plus contrastées du climat des 10 000 dernières années — fluctuations identifiées par ailleurs par les études palynologiques (Absy *et al.*, 1991; Ledru, 1991).

Dès 1992 s'est donc instaurée au sein du Programme ECOFIT une problématique centrée sur l'étude des charbons de bois : « Atelier Charbons » et donc sur l'importance que peut représenter le feu dans la dynamique à long terme des forêts tropicales ainsi que sur les événements héritages au sein des écosystèmes actuels.

## **Types d'enregistrements des paléo-incendies**

### **Niveau cartographique**

Une recherche sur la localisation des profils pédologiques à charbons du Brésil a été effectuée (Leprun et Pereira Dos Santos) au moyen d'extractions à partir de la banque de données SISOLOS de l'EMBRAPA à Brasilia. Cette étude a permis d'observer à l'échelle du Brésil la répartition géographique des charbons mentionnés dans les profils décrits essentiellement lors des prospections pédologiques. Cette opération a permis de replacer cinq cent quarante-trois profils à charbons et de localiser des zones plus riches que d'autres, qui semblent refléter une plus grande occurrence des feux dans certaines régions, pourtant très différentes les unes des autres. Ces zones de fortes concentrations en charbons de bois dans les sols se situent autour de la grande dépression du Pantanal (sud du Mato Grosso), dans les savanes du Roraima et de la région de Brasilia, au niveau de la forêt d'altitude de la chapada de Ubajara, mais également dans l'État d'Espírito Santo (vallée du rio Doce et forêts dégradées de la Mata atlantica), du Minas Gerais (vallée de Jequitinhonha), le long de l'Amazone et sur l'île de Marajo.

Ces recherches doivent servir de point de départ de nouvelles études ceci afin de définir l'origine de la présence de ces niveaux de charbons : fruit d'incendies ou d'activités humaines anciennes.

### **Niveau géomorphologique**

Dans le sud-ouest de l'Amazonie (Santa-Cruz-de-la-Sierra, Bolivie), des niveaux charbonneux ont été observés dans des dépôts détritiques (Servant *et al.*, 1981), marquant des phases de dégradations forestières par le

feu. Les datations situent les incendies entre 7 000 et 5 000 BP, puis entre 3 400 et 1 400 BP. De la même façon, dans la Mata atlantica (Bassin du Rio Doce, Brésil), des études géomorphologiques ont révélé des lits de charbons de bois associés à des débris végétaux intercalés dans des accumulations sableuses provenant de phases d'érosion intense (Servant *et al.*, 1989), attribuées à un épisode climatique sec ayant culminé autour de 8 000 BP.

### **Niveau sédimentologique**

Des microcharbons de bois ont été identifiés lors d'études sédimentologiques dans des carottes provenant de la région de Carajas en Amazonie orientale (Siffedine *et al.*, 1994, Turcq *et al.*) ; ils sont attribués à des incendies holocènes successifs. Événements qui se corrélaient parfaitement avec les enregistrements d'ouverture forestière révélés par les données palynologiques entre 7 000 et 4 000 BP (Absy *et al.*, 1991).

### **Niveau pédologique**

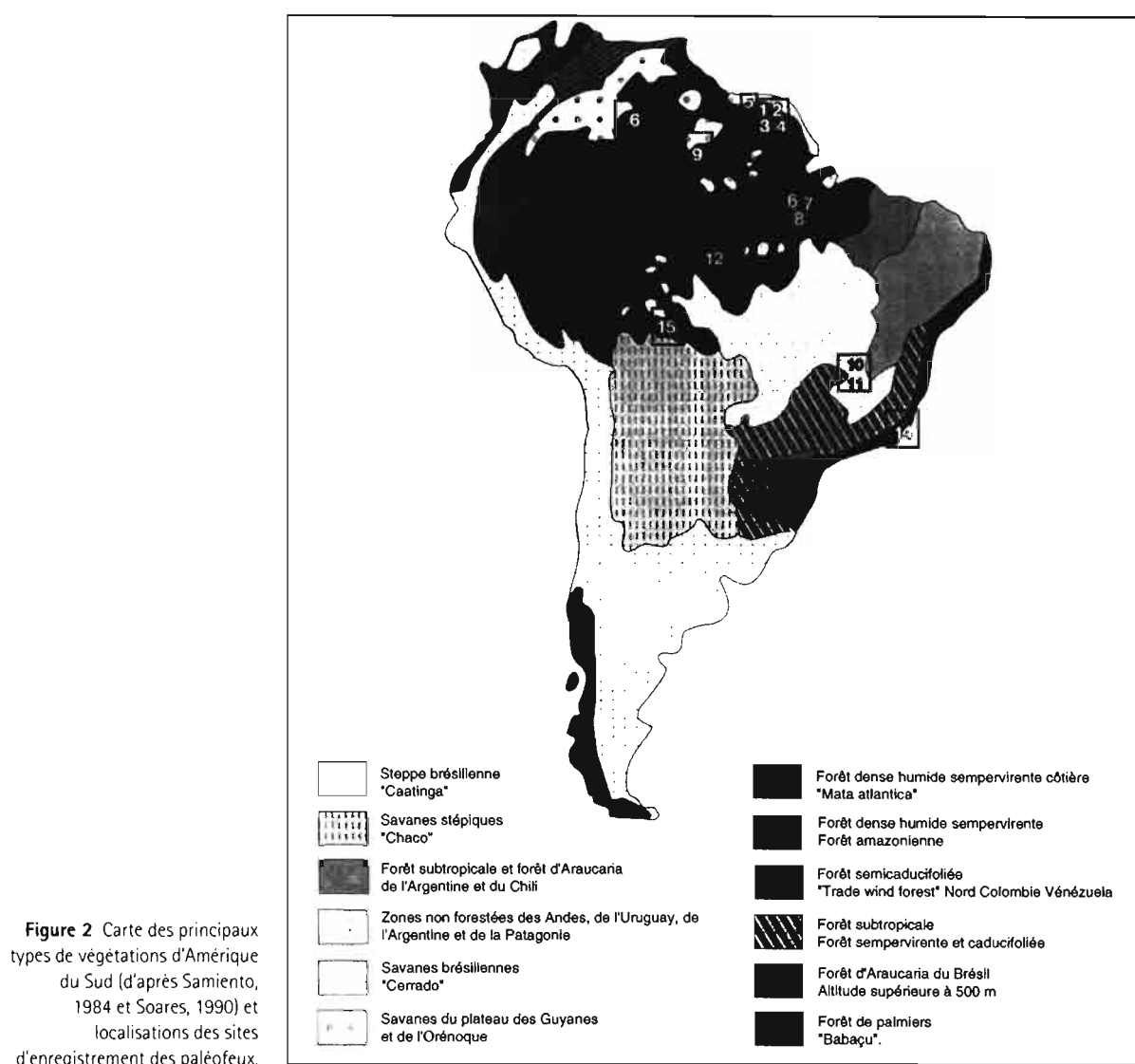
Les charbons de bois des sols ont été prélevés sur de nombreux sites. Dans la région de Carajas (Turcq *et al.*, 1996), les données se corrélaient bien avec les résultats des charbons des carottes sédimentologique et les études isotopiques de Carbone 13 du Roraima (Desjardins *et al.*, 1996) et de Salitre (Vernet *et al.*, 1995; Pessenda *et al.*, 1996). Les résultats issus des échantillonnages de charbons effectués à Salitre au Brésil (Vernet *et al.*, 1995) ont permis de mettre en corrélation les données avec les diagrammes polliniques (Ledru, 1993). Pour l'Holocène moyen, des incendies interviennent au début d'une importante période sèche à 6 000 BP au Brésil et en Guyane française (Tardy *et al.*, 1996).

### **Niveau anthracologique**

Dans le cadre du Programme ECOFIT, un programme anthracologique, basé sur l'étude anatomique des charbons de bois dans le but de reconstituer les paléovégétations ligneuses, a été lancé en Guyane française (Tardy, 1992) et au Brésil (Vernet et Solari) au sein du Laboratoire de paléobotanique, environnement et archéologie (ESA 5059) de Montpellier.

## **Les paléoincendies : influence climatique/influence anthropique**

L'argumentation paléoclimatique concernant l'origine des paléoincendies est de deux ordres. À l'échelle des dernières décennies, on observe que des perturbations de la circulation atmosphérique entraînent localement des sécheresses intenses plus ou moins longues — comme il est observé par exemple avec le phénomène El Niño (Martin *et al.*, 1992) —, périodes durant lesquelles se produisent parfois des incendies très importants comme à Bornéo en 1982-1983 (Bertault, 1991). À l'échelle plurimillénaire, ce sont toutes les corrélations entre les dates des événements de paléoincendies et l'ensemble des données paléoclimatiques apportées par les études palynologiques, sédimentologiques et géomorphologiques qui permettent d'affirmer le lien entre le facteur climat et le phénomène feu (Figure 2).



Cependant l'argument archéologique a été pendant longtemps et est encore parfois systématiquement la raison invoquée pour expliquer la signification des charbons de bois dans les sols tropicaux, et c'est par la même occasion l'hypothèse principale retenue contre l'existence des paléoincendies d'origine climatique. Il importait donc d'adjoindre à la problématique paléoenvironnementale sur les charbons fossiles une problématique anthropique. Cette recherche a pu être menée en Guyane (Tardy, 1993-1995) en collaboration étroite avec une équipe archéologique AFAN (Association pour les fouilles archéologiques nationales), dans le bassin du Sinnamary. Cette recherche a permis une étude pluridisciplinaire concernant la représentation des charbons dans les sols, l'étude stratigraphique fine des niveaux, la caractérisation quantitative et qualitative des dépôts charbonneux en contexte archéologique, la datation précise des différents événements liés aux feux enregistrés dans les sols. Ceci a conduit finalement à l'identification de périodes d'incendies (entre 10 000 et 8 000 BP et entre 6 000 et 4 000 BP) non liées à l'activité anthropique et donc d'origine climatique certaine. Une autre période de feux, quant à elle, située entre 2 000 et 1 500 BP, est attribuée à l'intervention possible des deux actions conjuguées.

## Cadre chronologique des phases de paléoincendies

Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau récapitulatif de tous les enregistrements connus de charbons fossiles datés (Figure 3).

### Impacts des paléofeux et perspectives pour les recherches écologiques actuelles

Différentes hypothèses et problématiques sont à associer à l'occurrence des feux au sein des paléoécosystèmes tropicaux et quant à leur empreinte sur les écosystèmes actuels. L'action du feu dans le passé sur la végétation peut se traduire dans l'actuel de différentes manières, par exemple par le maintien d'une végétation adaptée, voire favorisée par le passage des feux, comme pour certaines forêts tempérées à conifères, certaines formations méditerranéennes, les forêts australiennes, les cerrados brésiliens, etc., où le feu semble avoir parfois plus un rôle régulateur que destructeur. Les forêts tropicales denses humides quant à elles ne semblent pas présenter d'adaptations particulières au feu, bien au contraire. Les incendies, dans leur cas, semblent se répéter beaucoup plus rarement au cours du temps, ont donc un effet que nous traduisons comme traumatique et ont sans aucun

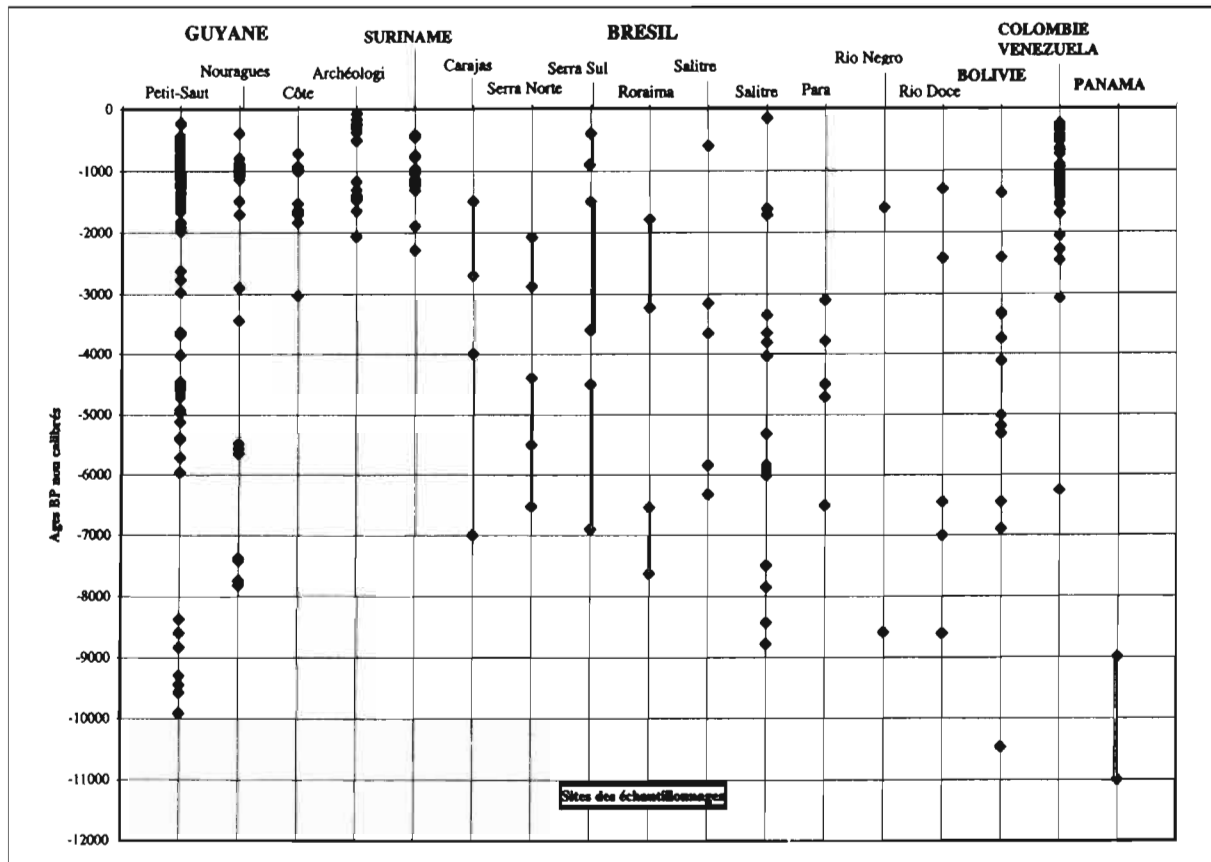


Figure 3 Localisation et datation des charbons de bois fossiles en Amérique du Sud.

doute leur part de responsabilité dans la mosaïque actuelle de la végétation qui est sensible à différentes échelles spatiales, voire jusqu'à très localement dans le cas des forêts intertropicales. Ainsi, il semble que durant les phases climatiques les plus drastiques, certaines espèces ont pu se trouver retranchées dans des refuges ou ont pu même disparaître de zones où elles étaient initialement présentes avant le passage des feux ; d'autres ont pu mieux s'adapter, voire même résister et se maintenir ; d'autres enfin ont pu recoloniser les milieux laissés vacants. Tous ces phénomènes, associés aux processus de régression et de progression plus ou moins rapides des espèces forestières strictes au retour des conditions favorables à leur réinstallation, sont sans doute une des clefs de la compréhension de la répartition des taxons et de la biodiversité actuelle.

La prise en compte des charbons de bois fossiles des sols en tant que vestiges des anciennes couvertures végétales qui ont brûlé permet de révéler les perturbations récentes holocènes qu'ont subit les écosystèmes et d'envisager une meilleure compréhension de la mise en place du paysage actuel.

## Références

- Absy, M. L. ; Cleef, A. M. ; Fournier, M. ; Martin, L. ; Servant, M. ; Sifeddine, A. ; Ferreira Da Silva, M. F. ; Soubiès, F. ; Suguio, K. ; Turcq, B. ; Van Der Hammen, T. 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Premières comparaisons avec d'autres régions tropicales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **312** II, 673-678.
- Bertault, J. G. 1991. Quand la forêt tropicale s'enflamme. *Bois et Forêts des Tropiques*, **230**, 5-14.
- Briand, J. ; Jeremie, S. ; Vaccher, S. (à paraître). *Amérindiens du Sinnamary, étude des occupations anciennes en forêt équatoriale*. Document de l'Archéologie Française, Paris.
- Desjardins, T. ; Caneiro -Filho, A. ; Chauvel, A. ; Mariotti, A. ; Girardin, C. 1996. Dynamique de la limite forêt-savane dans le nord de l'Amazonie brésilienne au cours de l'Holocène. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, 125-128.
- Komarek, E. V. 1971. Lightning and fire ecology in Africa. *Annual Tall Timbers Fire Ecology 5-Conference. (Florida)*. *Fire in Africa*, **11**, 473-511.
- Ledru, M. P. 1993. Late quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil, *Quaternary Research*, **39**, 80-98.
- Leprun, J. C. ; Perreira dos Santos, J. C. 1993. Première tentative de localisation des profils pédologiques à charbons du Brésil. *Programme ECOFIT, Rapport d'étape*, p. 129-134.

- Martin, L. ; Fournier, M. ; Mourguiart, P. ; Sifeddine, A. ; Turcq, B. ; Absy, M. L. ; Flexor, J. M. 1993, Southern oscillation signal in South American Paleoclimatic data of the last 7 000 years, *Quaternary Research*, **39**, 338-346.
- Muller-Dombois, D. ; Goldammer, J. G. 1990. Fire in tropical ecosystems and global environmental change. *Fire in Tropical Biota*, Éd. Goldammer, 1-9.
- Piperno, D. ; Bush, M. B. ; Colinvaux, P. A. 1990. Paléoenvironments and human occupation in late glacial Panama. *Quaternary Research* **33**, 108-116.
- Rostain, S. 1994. Archéologie du littoral de Guyane. *Journal de la Société des Américanistes*, Paris, SMH, **80**, 10-46.
- Servant, M. ; Fontes, J. C. ; Rieu, M. ; Saliege, F. 1981. Phases climatiques arides dans le sud-ouest de l'Amazonie (Bolivie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **292** II, 1295- 1297.
- Servant, M. ; Fournier, M. ; Soubies, F. ; Suguio, K. ; Turcq, B. 1989. Sécheresse holocène au Brésil. Implications paléométéorologiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **309** II, 153-156.
- Soares, R. V. 1990. Fire in some tropical and subtropical South American vegetation types : an overview. *Fire in Tropical Biota*. Éd. Goldammer, 63-80.
- Soubies, F. 1980. Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6 000-3 000 ans BP). *Cahiers ORSTOM, série Géol.* XI, I, 133-148.
- Sanford, R. L. ; Saldarriaga, J. ; Clark, K. E. ; Uhl, C. ; Herrera, R. 1985. Amazon rain forest fires, *Science*, **227**, 53-55.
- Sifeddine, A. ; Frohlich, F. ; Fournier, F. ; Martin, L. ; Servant, M. ; Soubies, F. ; Turcq, B. ; Suguio, K. ; Volkmer, R, C. 1994. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*. **318** II, 1645-1652.
- Tardy, C. ; Jeremie, S. ; Vacher, S. 1996. Identification de périodes de paléoincendies en Guyane française liés à des péjorations climatiques durant l'Holocène 10 000-8 000 BP, 6 000-4 000 BP et 2 000-1 500 BP. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, 269-270.
- Turcq, B. ; Cordeiro, R. C. ; Absy, M. L. ; Desjardin T. ; Ferreira da Silva, M. ; Ruivo, Sales, M. ; Martin, L. ; Sifeddine A. ; M. ; Suguio, K. 1996. Dynamique à long terme de la forêt tropicale dans la région de Carajás, Amazonie Orientale. *Symposium Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*, Bondy, mars 1996, 275-276.
- Trabaud, L. 1989. *Les feux de forêt*. Éditions France Sélection, 278 p.
- Vernet, J. L. ; Wengler, L. ; Solari, M. E. ; Ceccantini, G. ; Fournier, M. ; Ledru, M. P. ; Soubies, F. 1994. Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène. *C. R. Acad. Sci.*, II, 1391-1397.
- Versteeg, A. H. ; Bubberman, F. C. 1992. *Surinam before Columbus*. Stichting Surinaams Museum, Paramaribo.



# Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux

MICHEL SERVANT, SIMONE SERVANT-VILDARY,  
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES



IRD

UNESCO

MAB

CRS



Les responsables d'édition adressent leurs sincères remerciements à  
Christian Levêque, Samy Mankoto, Bernard Riéra et Léo Rona-Beaulieu.

Ouvrage publié avec le soutien de :

Centre national de la recherche scientifique, Programme Environnement,  
vie et sociétés, 3, rue Michel-Ange, F-75016 Paris

UNESCO, 7 place de Fontenoy, F-75007 Paris  
Programme sur l'Homme et la Biosphère (MAB)  
Projet PNUD ZAI/97/001-ERAIFT

Ministère des affaires étrangères  
Comité MAB France

IRD (Institut de recherche pour le développement),  
313, rue Lafayette, F-75010 Paris

ISBN 92-3-203753-X  
Mise en page : Valérie Herman  
Impression : Imprimerie Jouve  
Photo de couverture : Lac Tabéré, Adamaoua, Cameroun

© UNESCO 2000