

visuel inconscient, constitué de neurones rapides imprécis ; ce dernier met en jeu le tubercule quadrijumeau antérieur, le pulvinar, les noyaux thalamiques et le noyau amygdalien latéral. Ces données expliquent en partie la capture automatique de l'attention par les stimulus effrayants, et l'activation inconsciente des circuits de la peur.

Nos résultats ont inversé l'ordre des opérations lors du traitement de l'information émotionnelle. On admettait que l'activation des réactions corporelles précède et contrôle l'expérience consciente des émotions ; nous avons montré que l'attention et l'activation corporelle résultent d'un traitement incomplet des stimulus effrayants. Quand un tel stimulus devient conscient, diverses activations corporelles qui donnent sa connotation émotionnelle à l'expérience se sont déjà produites : le traitement conscient intervient peu dans l'activation de la peur, il ne fait que donner une interprétation et un sens à l'épisode qui l'a déclenchée.

Diverses données indiquent que des facteurs génétiques de vulnérabilité interviennent dans les phobies. Lors d'un épisode de conditionnement suffisamment intense et traumatisant, un stimulus peut acquérir la propriété de suractiver le circuit de la peur. Ce circuit est inaccessible à la conscience, de sorte que les personnes qui ont des phobies ne peuvent les vaincre par le raisonnement. La compréhension des mécanismes des phobies devrait en améliorer le traitement.

Arne ÖHMAN est professeur de psychologie dans le département des neurosciences cliniques de l'Institut Karolinska de Stockholm.

J.S. MORRIS, A. ÖHMAN et R.J. DOLAN, *Conscious and Unconscious Emotional Learning in the Human Amygdala*, in *Nature*, vol. 393, pp. 467-470, 1998.

J.S. MORRIS, A. ÖHMAN et R.J. DOLAN, *A Subcortical Pathway to the Right Amygdala Mediating «Unseen» Fear*, in *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 96, pp. 1680-1685, 1999.

A. ÖHMAN, A. FLYKT et L. LUNDQVIST, *Unconscious Emotion : Evolutionary Perspectives, Psychophysiological Data, and Neuropsychological Mechanisms*, in *The Cognitive Neuroscience of Emotion*, sous la direction de R. Lane et L. Nadel, pp. 296-327, Oxford University Press, 2000.

Une nouvelle rencontre de la science et de l'art.



LES SECRETS DE LA CASSEROLE

Comment préparer plus de 20 litres de mayonnaise à partir d'un seul jaune d'œuf ? En explorant la physique des émulsions. Comment obtenir un bon rôti ? En empruntant à la chimie ses études des sucres et des acides aminés. Comment obtenir de bonnes gelées ? En reprenant les résultats récents de la physico-chimie des gels. Code 1585-130 F 224 pages



RÉVÉLATIONS GASTRONOMIQUES

Encore un livre de recettes ! Oui, mais des recettes garanties par des expérimentations rigoureuses, par des analyses physico-chimiques des aliments et des tours de main culinaires. Chaque geste culinaire est ici disséqué, commenté du triple point de vue culinaire, physico-chimique et gastronomique. Code 1756-130 F 320 pages

Ces deux ouvrages ont obtenu le Prix de l'Académie nationale de Cuisine 1997.

LA CASSEROLE DES ENFANTS

Laissés seuls pour la soirée, deux enfants doivent cuisiner leur dîner. Mais leur sens aigu de l'observation et de l'expérimentation leur fait découvrir les bases de la chimie et de la physique. Ce livre pourrait être un manuel, s'il n'évoquait les molécules et leurs transformations de façon si simple et si amusante.

Code 2309-80 F-128 pages



BELIN

Voir bon de commande page 98

Expansion et recul des forêts équatoriales

DOMINIQUE SCHWARTZ

L'homme est-il un prédateur des forêts ? Une reconstitution de la progression et du recul des forêts et des savanes équatoriales a nuancé cette accusation simpliste : les variations climatiques sont prépondérantes.

Dans l'imaginaire collectif, les forêts équatoriales seraient immuables, car des températures et une humidité élevées y régneraient en permanence. On entend parfois dire, en contradiction, que l'homme détruit les forêts. Ces deux points de vue sont erronés. En analysant les sols et les sédiments d'Afrique centrale et d'Amazonie, nous avons reconstitué l'histoire des formations végétales et déterminé l'effet des facteurs climatiques et humains.

Au début de l'Holocène (vers 10 000 ans avant notre ère), le climat était plus humide que pendant la période glaciaire précédente. Aussi la forêt équatoriale avait-elle recouvert presque toute

l'Afrique centrale et l'Amazonie. Depuis, des savanes sont apparues dans des zones sèches, soit en périphérie des forêts, soit à l'intérieur, puis certaines ont disparu. Ces alternances résultent de variations climatiques globales (longueur de la saison sèche, ensoleillement, pluviométrie...) et des fluctuations locales d'humidité (quantité d'eau arrivant au sol, évaporation et prélèvement par les plantes, écoulements d'eau infiltrée ou ruisselant en surface, nappes phréatiques...). Il existe ainsi un seuil de pluviométrie au-dessous duquel la savane remplace la forêt.

Au Congo, où la saison sèche, fraîche et nuageuse, dure quatre à cinq mois, ce seuil de pluviométrie est environ de

1 100 millimètres par an ; au Cameroun, où la saison sèche est chaude et ensoleillée, cette limite annuelle se situe vers 1 400 millimètres par an.

L'ampleur et la rapidité du remplacement de l'un des deux écosystèmes par l'autre dépend de l'écart entre la pluviométrie locale et le seuil de transition. Dans une région dont la pluviométrie est de 3 000 millimètres par an, une diminution des pluies de 1 000 millimètres ne fera pas basculer l'écosystème vers la savane. En revanche, si la pluviométrie de départ est de 1 400 millimètres par an, une baisse de 400 millimètres sera suffisante. Les zones les plus sèches sont perturbées en premier, et plus fortement.

1. CETTE FORÊT ÉQUATORIALE du Congo n'est pas immuable. Depuis 12 000 ans, elle a progressé ou reculé par rapport à la savane.

Nous avons reconstitué la progression et le recul des forêts et des savanes équatoriales dans le cadre du programme ECOFIT (Écosystèmes et paléocosystèmes des forêts intertropicales), lequel doit préciser l'impact des facteurs climatiques et humains sur la diversité de la flore et de la faune, afin de prévoir le comportement futur de ces écosystèmes et d'optimiser leur gestion.

L'équipe internationale d'ECOFIT, dont nous faisons partie, analyse les sols et les sédiments (voir l'encadré des pages 64 et 65) de différents sites représentatifs des mécanismes du climat équatorial en Afrique centrale (Sud du Congo, Gabon et Cameroun, voir la figure 2) et en Amazonie (Guyane, Brésil et Bolivie). Les chercheurs ont aussi mesuré la quantité de feuilles et le nombre d'arbres par classe de diamètre à partir de photos prises par satellite. En outre, ils ont modélisé l'écosystème forestier équatorial.

La reconstitution des anciennes végétations

Aujourd'hui, en Afrique centrale, la forêt et la savane coexistent jusque sous l'équateur. Les savanes se trouvent dans des zones sèches, telles les vallées du Niari, au Congo, de la Nyanga et de la Lopé, au Gabon, ou dans des zones où le sol est sableux et sec, tels le littoral et le pays Batéké, au Congo. Pour déterminer quand et comment elles sont apparues, les chercheurs analysent et datent les restes des végétations passées.

Annie Vincens et Hilaire Elenga (CEREGE) ont travaillé sur les pollens anciens (voir l'encadré de la page 64), conservés dans les sédiments et caractéristiques des espèces ou des familles de plantes. À l'Holocène inférieur et moyen (de - 8000 à - 2000), à la place de la savane actuelle, une forêt marécageuse existait à Songolo et Coraf, et une forêt à caractère semi-

décidu (dont la majorité des arbres perdent leurs feuilles de façon saisonnière) poussait à Sinnda, Bilanko et Ngamakala. En revanche, à Kitina, Barombi Mbo et Ossa, le cœur de la forêt, verte toute l'année, était entouré d'une ceinture de forêt marécageuse, comme c'est encore le cas aujourd'hui. La forêt recouvrait alors toute l'Afrique centrale. Les mesures des rapports isotopiques de carbone 12 et 13 (voir l'encadré de la page 65) ont confirmé cette découverte.

Puis, à l'Holocène supérieur (vers - 2000), la végétation a changé, des savanes remplaçant localement la forêt. Dans les régions qui sont restées forestières, la proportion de plantes héliophiles (qui ont besoin de beaucoup de soleil) a augmenté, ce qui indique que la forêt s'est clairsemée. Dans les régions initialement très humides, ces changements ont été limités et plus tardifs. Dans les régions où les conditions climatiques étaient proches du seuil de transition entre forêt et savane, les changements ont été précoces et drastiques.

Autour des lacs Sinnda et Kitina, au Sud du Congo, les flux sédimentaires (quantités de sédiments déposés par unité de temps), mesurés par Jacques Bertaux et ses collègues (IRD, Bondy), ont commencé à diminuer simultanément, vers - 3500. Dans les zones forestières comme celles où se trouvent ces lacs, ces flux ne sont créés par l'érosion que lors des fortes pluies. La région a ainsi connu une période de sécheresse et, autour du lac Sinnda, la proportion de plantes à feuilles caduques a augmenté dès - 3400. Vers - 1900, la savane a complètement remplacé la forêt, et le lac s'est asséché. Autour du lac Kitina, à moins de 100 kilomètres du précédent, la végétation n'a réagi que vers - 800 au changement climatique qui avait commencé vers - 3500 : seules quelques savanes sont apparues à l'intérieur de la forêt.

Le retour à des conditions climatiques plus humides a commencé entre 500 et 700, avec un court intermède sec vers 1400. Depuis 1500, la forêt gagne du terrain sur la savane. De nouvelles forêts se forment par agrégation de bosquets d'arbres fruitiers abandonnés, et avec des arbres pionniers poussant notamment sur les termitières, où le sol meuble favorise la germination des plantes.

Après cette reconstitution du paysage africain, examinons l'Amazonie,



2. LORS DE LA PÉRIODE DE SÉCHERESSE, dont le début date de 3500 avant notre ère, les savanes ont gagné du terrain sur les forêts, qui recouvraient auparavant toute l'Afrique centrale. Aujourd'hui, les savanes alternent avec les forêts.

où plusieurs périodes de sécheresse intense se sont succédé durant l'Holocène. Les dunes de sable fossile en Bolivie, au bord du Roraima et peut-être du Rio Negro, au Brésil, en témoignent : elles ne se forment que dans des zones dépourvues de végétation, par l'érosion éolienne.

Pendant ces périodes de sécheresse, la forêt a localement disparu : les rapports isotopiques en carbone 12 et 13 indiquent que les régions forestières les plus sèches d'Amazonie étaient recouvertes de graminées, plantes typiques des savanes.

Les charbons de bois (*voir l'encadré des pages 64 et 65*), reliques des feux passés, témoignent aussi de périodes sèches. En Amazonie, ils abondent dans des zones actuellement

humides où aucun feu ne pourrait aujourd'hui se déclencher. Au Brésil, les charbons de bois sont présents dans des sédiments datant de l'Holocène moyen (autour de -3000) ; en Guyane, ils appartiennent à trois périodes : de - 8000 à - 6000, de - 4000 à - 2000 et de 0 à 600. Les incendies des deux premières périodes sont probablement naturels, car ils précèdent le peuplement de la région de plusieurs millénaires et, *a fortiori*, les débuts de l'agriculture : des 275 sites préhistoriques d'habitats humains repérés dans la région de Petit-Saut, aucun n'est plus ancien que - 100.

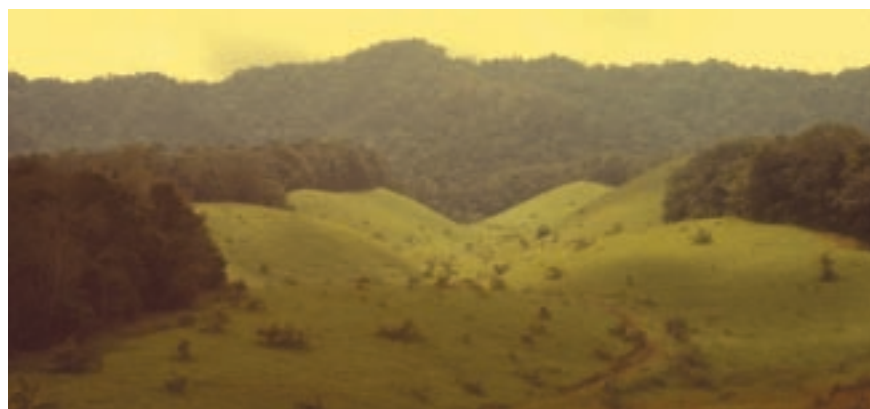
En Guyane, l'analyse des pollens montre que la forêt était diversifiée et humide entre - 1000 et 0. Ensuite, deux périodes sèches se sont succédé entre

300 et 800 et entre 1100 et 1400. Pendant ces périodes, la fréquence des sécheresses courtes a probablement augmenté : elles seraient apparues tous les 10 à 30 ans et auraient augmenté la proportion de plantes héliophiles sans créer de nouvelles savanes. Ces intermèdes de sécheresse fréquents empêchaient la régénération des forêts en favorisant la propagation des feux (notons que les feux sont un élément normal du fonctionnement des écosystèmes forestiers).

Les terrasses alluviales retracent l'alternance des périodes sèches et humides : pendant les premières, les faibles débits font que les alluvions se déposent dans le lit des rivières ; avec le retour de l'humidité, les rivières creusent un lit dans les anciens alluvions,



3. CE PALMIER (*Astrocaryum sciophilum*) pousse dans la forêt guyanaise (en haut à gauche). Pendant les périodes de sécheresse, il a disparu, sauf dans le fond humide des vallées ; ensuite, il a lentement remonté le long des versants. Sa répartition est un marqueur des variations climatiques passées, car ses lourdes graines ne sont pas transportées, ni par le vent, ni par les animaux. En haut à droite, cette savane herbacée de l'Est du Cameroun est lentement reconquise par la forêt, comme l'indiquent les petits arbustes héliophiles qui y poussent. En bas, cette savane, incluse dans la forêt, témoigne d'un assèchement climatique passé qui a fait reculer la forêt. Elle s'est maintenue, à cause des feux pratiqués par les chasseurs.





4. LES FEUX DE BROUSSE (a), régulièrement allumés par les chasseurs pour rabattre le gibier, ne détruisent pas la forêt. Ils assèchent seulement le feuillage sur quelques mètres, au voisinage des lisières,

mais brûlent les arbustes des savanes, les premiers éléments d'une forêt potentielle. Les habitants de la forêt la défrichent pour cultiver la terre (b). Cependant, la forêt remplace rapidement les friches lais-

constituant ainsi des «terrasses» surélevées de chaque côté.

Les alizés, causes des variations de climat

Quelle est la cause des variations climatiques induisant des changements de végétation? Vers - 4000, la superficie de la forêt était encore maximale en Afrique centrale, alors qu'elle avait déjà diminué en Amazonie. La situation s'est inversée entre - 1000 et 0. Les variations d'intensité des alizés seraient responsables de ces changements climatiques en opposition de phase : l'alizé boréal (venant du pôle Nord) s'assèche en traversant le Sahara. Lorsqu'il est puissant, il bloque la remontée de l'air humide venant du golfe de Guinée, ce qui provoque des sécheresses en Afrique de l'Ouest, puis il renforce les alizés qui se chargent de vapeur d'eau au-dessus de l'océan Atlantique, avant d'arroser l'Amazonie. Lorsque l'alizé boréal est faible, la mousson remonte sur le Congo, le Gabon et le Cameroun, mais les alizés qui arrivent alors en Amérique du Sud sont moins puissants et n'arrosent pas beaucoup l'Amazonie, où sévit la sécheresse. Les simulations climatiques, qui montrent que l'alizé boréal était faible vers - 4000, semblent confirmer ce mécanisme. De plus, la présence de diatomées (voir l'encadré des pages 64 et 65) d'origine saharienne dans des lacs du Sud du Cameroun indique que l'alizé boréal qui les a transportées était fort vers - 800.

La végétation a réagi selon les conditions initiales de climat et d'humidité. En Afrique centrale, elle a mis

plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires, à se transformer après l'assèchement qui a commencé vers - 3500 : ce retard est dû à la baisse relativement lente des précipitations dans des régions où il pleuvait auparavant beaucoup.

En Amazonie guyanaise, la végétation semble avoir changé très vite après des successions de sécheresses, d'abord déclenchées par l'alizé. Ensuite, la fréquence des épisodes secs de type El Niño (dû à un courant chaud le long des côtes du Pérou, qui influence le climat global) ou dus à la remontée d'air froid venant du pôle Sud a probablement augmenté (de tels événements, fréquents aujourd'hui, font parfois descendre la température jusqu'à 10 °C sous l'équateur, pendant la journée). La lente tendance à l'assèchement en Afrique centrale et les sécheresses passagères en Amazonie ont eu des répercussions différentes sur la végétation.

Les espèces à petites graines sont facilement dispersées par le vent et la faune. La période juvénile de ces espèces pionnières étant courte, elles envahissent rapidement l'espace, alors que les espèces à graines lourdes, qui tombent au pied des arbres, ont une période juvénile longue, et leur vitesse de progression est plus lente.

En Guyane, la forêt se ressent encore du dernier épisode sec, qui date de 1400 : elle est riche en essences à dispersion rapide, qui ont succédé aux plantes héliophiles pionnières, lesquelles ont poussé au début de la reconquête de la forêt. Les plantes à dispersion lente apparaissent lors de l'étape finale de reconquête. Dans

la forêt guyanaise ces plantes sont encore jeunes, comme le montrent leurs diamètres, mesurés sur les images satellites.

En Afrique centrale, la forêt gabonaise clairsemée de marantacées, des plantes de sous-bois, et les forêts congolaises presque exclusivement constituées d'okoumés, une sorte d'acajou, procèdent de cette dernière étape de reconquête.

En Amazonie, l'espèce *Eperua falcata*, un grand arbre de forêt marécageuse, reconquiert lentement les versants à partir des talwegs (le fond des vallées). Les analyses de charbons de bois de Christophe Tardy et Pierre Charles-Dominique (MNHN, Brunoy) montrent que cet arbre occupait ces versants il y a quelques milliers d'années : il a donc localement disparu pendant les phases de sécheresse. La progression du palmier *Astrocaryum sciophilum* (voir la figure 3) est encore plus lente (quelques centaines de mètres en 600 ans). L'analyse de ces reculs et de ces lentes progressions permet de reconstituer l'histoire du climat local.

Lors des épisodes de sécheresse, certaines espèces disparaissent localement. En Malaisie, la biodiversité de la forêt est plus grande qu'en Guyane : le relief montagneux malais attire des précipitations abondantes, favorables à la végétation, alors que les sécheresses en Guyane à l'Holocène ont fait disparaître de nombreuses espèces. La forêt malaise est 15 fois plus riche en espèces à dispersion lente que la forêt guyanaise.

En Afrique, les bégonias, des plantes de sous-bois qui poussent sur des



sées par l'agriculture traditionnelle. L'homme contribue aussi à la progression de la forêt : les arbres fruitiers qui entourent les villages et pâturages (c) s'agrégent parfois avec d'autres bosquets de la savane



et donnent naissance à de nouvelles forêts. La réaction de la végétation dépend de la proximité des agglomérations. Autour de ce village africain (d), les activités humaines ont causé l'apparition de savanes.

rochers humides et moussus dans les talwegs, essaient difficilement. Certaines régions du Gabon ou du Congo sont très riches en espèces de bégonias différentes, alors que d'autres, dont les conditions semblent identiques, en sont totalement dépourvues. Les premières correspondraient aux zones où la forêt s'est maintenue tout au long de l'Holocène, et les secondes aux zones où elle a temporairement disparu.

La reconquête de la savane par la forêt

Quelles sont les zones où la forêt a subsisté, aux périodes froides et sèches, pendant toute la durée de l'Holocène? Comment la forêt a-t-elle reconquis son territoire à partir de refuges forestiers?

La biodiversité des forêts est un indicateur de sa pérennité. Les refuges forestiers, où la biodiversité est importante, sont distants de plusieurs centaines de kilomètres. Youta Happi (Université de Yaoundé) et Aline Fabing (CEREG, Strasbourg) ont évalué les vitesses de progression des forêts en mesurant d'abord les cernes concentriques des sections de troncs d'arbre (l'épaisseur des cernes indique la vitesse à laquelle l'arbre a poussé et les conditions climatiques du moment, car on a établi des échelles chronologiques applicables aux arbres d'une même espèce). Cette vitesse de progression a aussi été déterminée en mesurant les rapports isotopiques dans le carbone du sol, en évaluant le temps moyen de résidence des matières organiques dans le sol (datation au carbone 14) et en photographiant les limites forêt-

savane par avion et satellite : cette limite se déplace d'environ 20 à 200 mètres par siècle.

Ces vitesses ne sont pas suffisantes pour expliquer la reconquête actuelle de la forêt à partir des seuls refuges forestiers, car ceux-ci sont trop distants. On a supposé l'existence de micro-refuges, tels des bosquets et des galeries forestières le long des cours d'eau, à partir desquels la forêt aurait progressé. La modélisation de cette hypothèse, par Marc Dubois et ses collègues (CEA, Saclay) est compatible avec les vitesses précédentes et la morphologie des limites forêts-savanes.

Depuis l'Holocène inférieur, l'homme occupe la forêt équatoriale. Ses activités ont un effet sur la végétation, qui s'ajoute aux facteurs naturels.

Par le passé, l'homme a plus accompagné que causé les changements de végétation. En Afrique centrale, la savane a occupé une superficie maximale entre - 500 et 0. Plus facile à franchir que la forêt, elle a probablement favorisé la diffusion de la métallurgie du fer, qui s'est propagée du Cameroun au Congo, entre - 450 et - 100, ainsi que les migrations des peuples qui l'employaient.

Sur le plateau Batéké, la forêt occupe aujourd'hui dix pour cent de l'espace. Elle aurait suffi à alimenter les fourneaux des fondeurs en charbon de bois, par simple collecte du bois mort. Dans d'autres régions, par exemple en milieu sahélien, la métallurgie a probablement nui davantage à la végétation.

L'assèchement du lac Sinnda, entre - 1900 et 700, correspond à un vide archéologique : on a pas retrouvé de

traces d'occupation humaine entre - 1500 et 800. Les hommes semblent avoir temporairement fui cette région devenue inhospitalière.

En Amazonie, l'influence humaine ancienne se traduit par la présence d'espèces particulières de plantes. Au Brésil, les bambous envahissent souvent les anciennes plantations d'hévéas et y bloquent la régénération forestière : leurs feuilles, en tombant et en se décomposant, rendraient le sol toxique pour les autres plantes. Dans les zones où poussent les cambouses, une sorte de bambou, on ne rencontre presque aucune autre espèce. En Guyane, ces cambouses bloquent toujours la régénération de la forêt, bien que les Indiens, qui les ont apportées avec eux, aient déserté la région depuis trois siècles.

Aujourd'hui, en Afrique centrale, malgré la sécheresse relative des zones de savane, le climat est de nouveau favorable à la forêt : la persistance des savanes semble anormale. Elle résulte de la pratique des feux allumés par les chasseurs pour se déplacer plus facilement ou rabattre le gibier (voir la figure 4). Les chaumes brûlés, dans les sédiments des plateaux Batéké, montrent que cette technique de chasse est au moins pratiquée depuis - 100. Les feux ont favorisé la prolifération des plantes herbacées, au détriment des arbres, dont ils ont détruit les plantules.

La présence actuelle des savanes en Afrique centrale résulte de plusieurs facteurs. L'assèchement de l'Holocène supérieur, facteur paléoclimatique, fut le moteur premier de l'apparition des savanes, entre - 1500 et 500. Les

conditions locales d'humidité furent également déterminantes : les sols sableux sont secs et favorables à la savane, tandis que les sols argileux sont humides et favorables à la forêt. Les feux de brousse naturels ont bloqué la progression forestière, quand le climat était plus sec qu'aujourd'hui, puis les feux allumés par la population l'ont ralenti, lorsque le climat est redevenu humide. En l'absence de brûlis, toutes les zones de savane auraient déjà été reconquises par la forêt, comme le montre la rapidité de la progression forestière dans les zones où l'on n'allume plus de feu.

Bien que la progression de la forêt équatoriale soit freinée par les feux, ceux-ci ne la détruisent pas. Au pire, le feuillage des arbres de la lisière se dessèche sur quelques mètres, ce qui n'a pas de conséquence durable. En revanche, les feux détruisent les plantules pionnières qui ont germé en savane. Dans les conditions actuelles, la forêt ne reconquerra son ancien territoire que dans 500 à 1 000 ans.

L'effet global des activités humaines sur la végétation dépend de la densité de population, de la proximité des centres urbains et du type d'exploitation de la forêt. Les brûlis entravent la progression de la forêt, les défrichements agricoles (voir la figure 4) et une exploitation forestière mal gérés la dégradent et les cultures intensives pérennes la détruisent.

Cependant, l'homme contribue aussi à la reconquête de la forêt sur la savane, car les arbres le long des villages et des pâturages forment parfois des bosquets dont l'agrégation peut donner naissance à une nouvelle forêt (voir la figure 4). La *Chromolaena odorata*, une sorte de buisson originaire d'Amazonie, introduite involontairement par l'homme en Afrique centrale il y a 30 ans, arrête les feux en s'interposant entre la lisière et la forêt. Elle favorise la progression de cette dernière, car les plantes ombrophiles poussent sous ses buissons.

Au Cameroun, au Gabon et au Congo, le bilan des surfaces gagnées par la forêt lors de la progression naturelle et de celles perdues par défrichement semble globalement favorable à la forêt. Cependant, ce constat ne préjuge pas du degré de dégradation des forêts denses par des exploitations mal conduites.

Les rapports entre l'homme et son environnement en milieu équatorial

Des indicateurs pour reconstituer l'histoire de la végétation

Les pollens

Le pollen, vecteur mâle de fécondation des plantes à fleurs, est constitué de grains microscopiques à paroi très résistante. Il se conserve parfaitement dans les lacs et dans les tourbières. Il est caractéristique de l'espèce ou de la famille de la plante dont il est issu. Les carottages permettent d'identifier les associations de plantes dans les différentes couches sédimentaires et de reconstruire ainsi l'histoire de la végétation.



Exemple de pollen des milieux équatoriaux.

Les diatomées

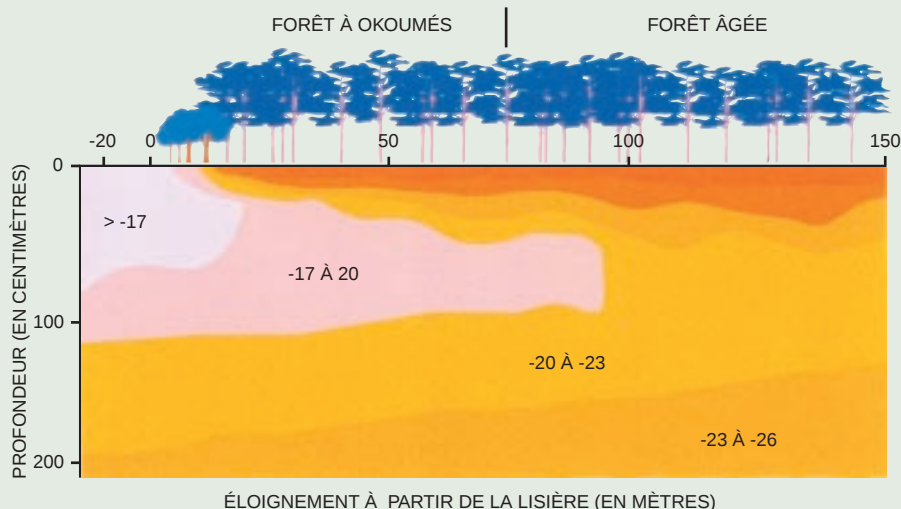
Les diatomées sont des algues microscopiques. Elles vivent dans une enveloppe à base de silice, caractéristique de chaque espèce, qui se conserve très bien dans les sédiments. Les proportions des différentes espèces de diatomées varient avec les modifications des milieux aquatiques dans lesquels elles vivent. Elles sont ainsi utilisées comme indicateurs de la température et de la profondeur des eaux.



Diatomée du lac Ossa, au Cameroun.

Le carbone 13

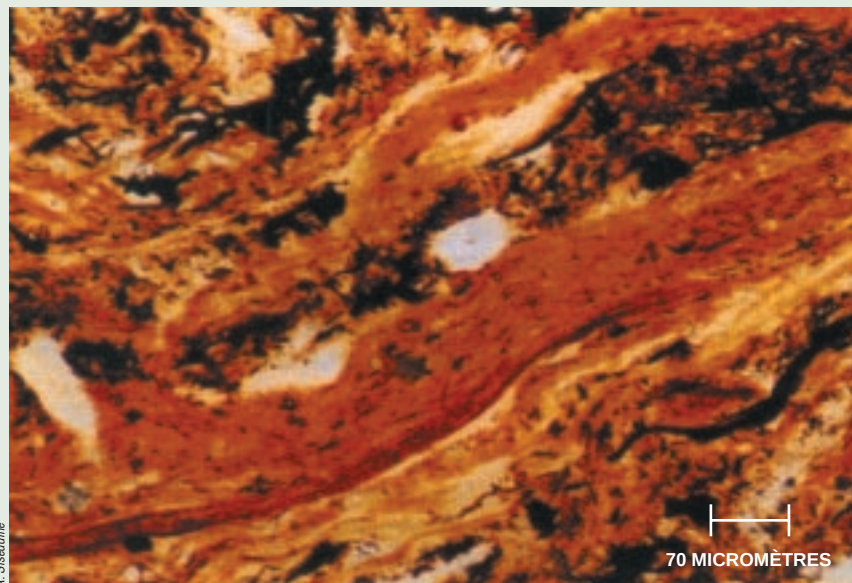
Le carbone 12 et le carbone 13 sont des isotopes dont le noyau atomique contient six protons et respectivement six et sept neutrons. Le carbone 13 constitue 1,1 pour cent du carbone total. Les graminées de savane et les plantes forestières n'ont pas le même mécanisme de photosynthèse : à partir du dioxyde de carbone de l'atmosphère, elles assimilent plus ou moins le carbone 13, en fonction des paramètres physiques et chimiques mis en jeu. Elles présentent des rapports isotopiques différents : de l'ordre de -27 pour mille sous forêt et de -15 pour mille sous savane (les valeurs intermédiaires indiquent que la forêt a succédé à la savane ou la savane à la forêt). On dispose ainsi d'un marqueur naturel permettant, par l'analyse des matières organiques des sols, de connaître les alternances entre forêt et savane depuis plusieurs millénaires.



Ces courbes d'isovaleurs des rapports entre carbone 12 et 13 (indiqués sur la figure, à la frontière entre forêt et savane, sur le littoral du Congo, montrent que la savane (en rose) a remplacé la forêt (en orange) de -1900 à -500, puis que la forêt a de nouveau gagné du terrain.

Les charbons de bois

Les fragments de charbon, importants ou microscopiques, dans les sédiments témoignent des incendies passés. Dans les écosystèmes équatoriaux, ils correspondent aux périodes de sécheresse sans lesquelles les feux ne se seraient pas déclenchés. Souvent, on peut identifier les espèces de plantes qui ont brûlé et reconstituer ainsi partiellement la flore.



Microcharbons dans des lits sédimentaires au Brésil.

sont complexes et le schéma largement répandu de l'homme prédateur de la forêt est trop simpliste. En se juxtaposant aux variations climatiques, son action a contribué à façonner les paysages que nous connaissons. Aujourd'hui, ces paysages continuent à évoluer, sous l'effet des facteurs naturels actuels et passés, auxquels la végétation réagit à retardement, et des facteurs humains, de plus en plus importants. Sous nos yeux, des savanes se referment. En même temps, des forêts disparaissent, transformées en pâturages ou en cultures plus ou moins pérennes. La gestion rationnelle de ces milieux, et la volonté, autant politique que scientifique, de créer des aires protégées ne seront effectives que si l'on comprend les interactions écologiques et anthropiques. Seule une approche spatio-temporelle des mécanismes, couplée à la confrontation du terrain et de la modélisation, fournira des éléments de compréhension, puis de décision.

Dominique SCHWARTZ est pédologue à l'IRD et professeur de géographie physique à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.

T. VAN DER HAMMEN, *The Palaeoecology and Palaeogeography of Savannas*, in *Tropical Savannas*, sous la direction de F. Bourlière, 1983.

R. LANFRANCHI et D. SCHWARTZ, *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*, ORSTOM, collection Didactiques, Paris, 1990.

C.M. HLADIK, H. PAGEZY, O.F. LINARES, G.J.A. KOPPERT et A. FROMENT, *L'alimentation en forêt tropicale. Interactions bioculturelles et perspectives de développement. I. Les ressources alimentaires : production et consommation*, UNESCO, Paris, 1996.

P. COLINVAUX, *Quaternary Environmental History and Forest Diversity in the Neotropics*, in *Evolution and Environment in Tropical America*, sous la direction de J.B.C. Jackson, A.F. Budd et A.G. Coates, 1996.

H. HOOGHIEMSTRA et T. VAN DER HAMMEN, *Neogene and Quaternary Development of the Neotropical Rain Forest : The Forest Refugia Hypothesis and a Literature Overview*, in *Earth-Sci. Rev.*, pp. 147-183, 1998.

Actes du Symposium International «Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux», UNESCO, Paris, à paraître.

