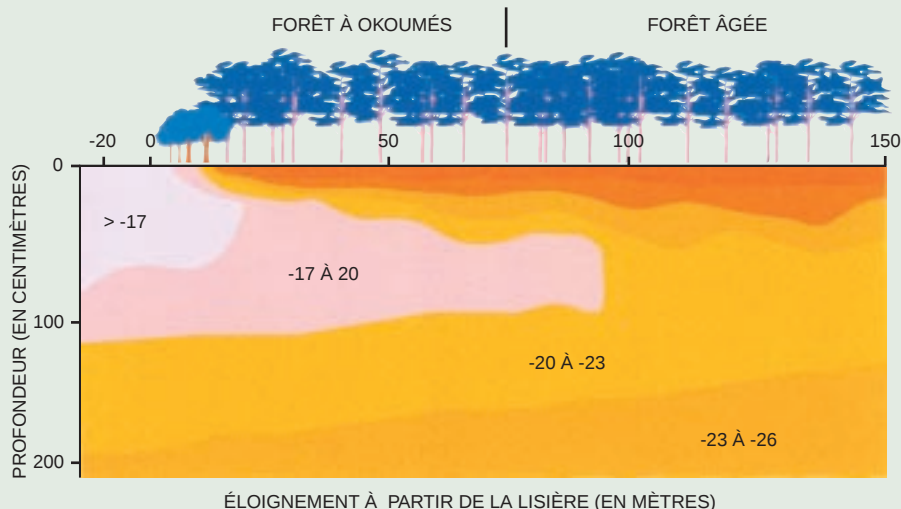


Le carbone 13

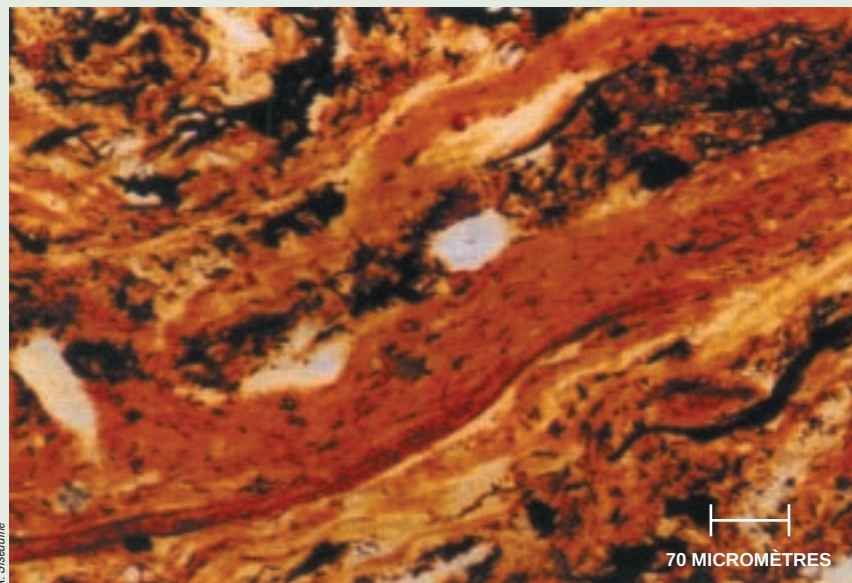
Le carbone 12 et le carbone 13 sont des isotopes dont le noyau atomique contient six protons et respectivement six et sept neutrons. Le carbone 13 constitue 1,1 pour cent du carbone total. Les graminées de savane et les plantes forestières n'ont pas le même mécanisme de photosynthèse : à partir du dioxyde 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.

L'intelligence en essaim

ÉRIC BONABEAU • GUY THÉRAULAZ

S'inspirant des fourmis et des insectes sociaux, des informaticiens ont créé des «agents» qui coopèrent pour résoudre des problèmes complexes. Ils automatisent notamment la gestion des données dans les réseaux de télécommunications.

Dans son livre *La vie des termites*, le poète belge Maurice Maeterlinck (1862-1949) écrit à propos de ces insectes : «Qui est-ce qui donne des ordres, prévoit l'avenir, trace des plans, équilibre, administre, condamne à mort? Tout cela n'est-il que jeux de chaos?» Ces questions préoccupent également les biologistes : dans une colonie d'insectes sociaux, tels les fourmis, les abeilles, les termites, etc., pourquoi le groupe est-il cohérent alors que chaque individu semble autonome? Comment les activités de tous les individus sont-elles coordonnées sans supervision? Les éthologistes qui étudient le comportement des insectes sociaux observent que la coopération au sein des colo-

nies est auto-organisée : souvent, elle résulte d'interactions entre les individus. Bien que ces interactions puissent être simples (par exemple, une fourmi se contente de suivre la trace laissée par une autre), elles permettent à la collectivité de résoudre des problèmes difficiles, telle la recherche du chemin le plus court entre le nid et une source de nourriture, parmi d'innombrables voies possibles. Chez les insectes sociaux, le comportement collectif qui émerge des comportements simples des individus est nommé intelligence en essaim.

Ces phénomènes d'intelligence en essaim sont de plus en plus étudiés en informatique et en robotique, où des systèmes de contrôle centralisés

gagnent à être remplacés par d'autres, plus autonomes et plus flexibles, fondés sur les interactions d'éléments simples. Dans cet article, nous détaillerons plusieurs applications qui montrent les avantages et la pertinence de ce type de système : une nouvelle méthode de modification du trafic d'un réseau de télécommunications saturé, calquée sur le comportement des fourmis à la recherche de nourriture ; des algorithmes de commande pour des robots plus efficaces, inspirés de la coopération des fourmis qui transportent une grosse proie ; une nouvelle analyse des données bancaires copiée sur la manière dont les insectes agrègent les cadavres d'ouvrières de la colonie et trient leurs larves.



Guy Théraulaz, CNRS Toulouse