



4. LES TEMPÊTES DE SABLE dans le Sahara dispersent des particules de poussière sur tout le Globe : on retrouve parfois des poussières sahariennes jusque en Amazonie, à des distances supérieures à 5 000 kilomètres.

pour montrer que la brusque raréfaction des cations basiques est une cause importante de la dégénérescence des forêts : Ernst-Detlef Schulze et ses collègues de l'Université de Bayreuth pensent que l'appauvrissement des sols en magnésium contribue au dépérissement des forêts de résineux d'Allemagne, et, dans les Appalaches, les troubles de croissance des séquoias semblent également correspondre à une décalcification du sol. Par ailleurs, des expériences de fertilisation de sols forestiers par des apports de cations basiques ont amélioré l'état de forêts d'érables, au Québec, et de sapins, en France, en Norvège et en Allemagne. Ces expériences confirment que certains sols souffrent non seulement des pluies acides, mais aussi de la pénurie de cations basiques dans l'atmosphère.

Les chimistes savent aujourd'hui déterminer l'origine des cations basiques et suivre leurs déplacements dans les écosystèmes forestiers en mesurant l'abondance des isotopes naturels du strontium (ces isotopes se distinguent par des nombres de neutrons différents). Cet élément est un bon marqueur du calcium, car il se comporte chimiquement comme lui. Or la composition isotopique du strontium est différente, selon que le strontium provient de l'atmosphère ou du sous-sol. Par des dosages des isotopes du strontium, on a établi le rôle prépondérant de la poussière atmosphérique comme source importante d'ions pour les écosystèmes forestiers. En outre, ces dosages ont montré que, dans les régions où les sols ont été dégradés par

les pluies acides ou dans les sols naturellement pauvres en ions basiques, la majeure partie du calcium semble provenir de l'atmosphère plutôt que des roches. Ainsi le hêtre qui domine les forêts non polluées du Chili se nourrit presque exclusivement de calcium atmosphérique.

Ces observations montrent comment l'atmosphère contribue à l'alimentation des forêts et comment l'appauvrissement de l'atmosphère en cations basiques a ralenti la régénération des sols. Bien sûr, les concentrations naturelles en poussières n'ont jamais été constantes, dans l'atmosphère, mais, dans le passé, les variations s'étaient étalées sur des siècles ou sur des millénaires. Analysant des carottes de glace du Groenland, Paul Mayewski et ses collègues de l'Université du New Hampshire ont montré que le contenu en poussières de l'atmosphère a été fortement modifié par les variations climatiques au cours des 20 000 dernières années : lors des périodes arides et froides, les concentrations en ions calcium et en poussières étaient élevées ; lors des périodes humides et chaudes, elles étaient faibles. En outre, les concentrations actuelles sont inférieures à celles des 1 200 dernières années (il y eut toutefois une raréfaction considérable de la concentration en poussières au cours des années 1930, dans la région de l'Ouest des États-Unis).

Encore moins de soufre

En découvrant le rôle fondamental des composés basiques de l'atmosphère et, plus récemment, le lien étroit entre les émissions de poussières atmosphériques et les éléments nutritifs des sols, les agronomes ont mieux compris les réactions des forêts à la pollution. L'ensemble des études montre que les mécanismes d'action des pluies acides sont plus complexes que prévu et que les ravages causés par la pollution sont plus graves qu'on ne l'imaginait. Le gouvernement américain fondait ses récents programmes de lutte contre les pluies acides sur un audit de 1990, qui concluait que ces pluies n'avaient pas d'action prouvée sur les forêts ; cette conclusion n'est aujourd'hui plus tenable.

Le phénomène des pluies acides, ajouté à la raréfaction des éléments basiques, semble placer la plupart des espèces végétales, notamment dans les écosystèmes sensibles, dans des condi-

tions écologiques qu'elles n'ont jamais connues ; aussi la prévision de leur résistance et de leurs comportements au cours des prochaines décennies semble difficile. De surcroît, les effets de la pollution pourraient ne pas se limiter aux plantes : Jaap Graveland et ses collègues de l'Université de Groningue ont observé que, dans les forêts les plus gravement touchées par les pluies acides, où les concentrations en éléments basiques du sol sont les plus faibles, certains oiseaux, telles les mésanges de Hollande, produisent des œufs dont les coquilles sont plus minces et plus fragiles.

Comment résoudre ce problème des pluies acides et des poussières atmosphériques ? Les solutions les plus étonnantes ont été imaginées : après la publication d'un de nos récents articles, par exemple, un lecteur proposa des campagnes de lâchers de ballons qui, une fois en altitude, relargueraient des particules riches en calcium. C'est une solution poétique, mais coûteuse. Nous proposons plutôt de continuer à réduire les émissions de polluants acides à un niveau tel que ces derniers puissent être compensés par les constituants basiques naturels de l'atmosphère : autrement dit, il faudrait réduire les émissions de dioxyde de soufre et de dioxyde d'azote plus encore qu'on ne le fait aujourd'hui.

Lars HEDIN et Gene LIKENS sont respectivement professeurs d'écologie à l'Université Cornell et à l'Université de Millbrook.

Ecology and Decline of Red Spruce in the Eastern United States, sous la direction de C. Eagar et M.B. Adams, Springer-Verlag, 1992.

J. GRAVELAND, R. van der WAL, J.H. van BALEN et A.J. van NOORDWIJK, *Poor Reproduction in Forest Passerines from Decline in Snail Abundance of Acidified Soils*, in *Nature*, vol. 368, pp. 446-448, 31 mars 1994.

Lars O. HEDIN, Lennart GRANAT, Gene E. LIKENS, T. Adri BUIHAND, James N. GALLOWAY, Thomas J. BUTLER et Henning RHODE, *Steep Declines in Atmospheric Base Cations in Regions of Europe and North America*, in *Nature*, vol. 367, pp. 351-354, 27 janvier 1994.

Gene E. LIKENS, Charles T. DRISCOLL et Donald C. BUSO, *Long-Term Effects of Acid Rain : Response and Recovery of a Forest Ecosystem*, in *Science*, vol. 272, pp. 244-246, 12, avril 1996.

Un grillon robot

BARBARA WEBB

Un système électromécanique simple imite le comportement d'une créature vivante.

Le chant du grillon mâle attire puissamment les femelles : lorsqu'il se fait entendre, ces dernières peuvent marcher pendant plusieurs heures en direction de la source sonore, même si elles sont placées sur un tapis roulant qui les maintient éloignées. Quoi de plus simple que ce comportement automatique ?

Pourtant cette simplicité n'est qu'apparente : un robot équipé de deux roues motrices indépendantes, par

exemple, rejoindra difficilement en ligne droite une source sonore située en face de lui. En effet, nous ne pourrions nous contenter de fournir la même puissance électrique aux deux moteurs, car leurs imperfections mécaniques, et celles de la transmission et des roues imposent un courant d'alimentation légèrement différent pour que les deux roues tournent à la même vitesse ; en outre, la puissance doit être constamment ajustée pour compenser

les forces de friction et d'inertie qui varient au cours du temps. Enfin, même si nous parvenions à faire tourner les roues à la même vitesse, nous devrions équiper le robot d'un dispositif qui compenserait les changements de direction provoqués par les inégalités du sol ou par des dérapages.

Au total, même les algorithmes de contrôle d'un trajet aussi simple qu'une ligne droite semblent complexes. Paradoxalement, un comportement qui semble complexe peut être commandé par un algorithme plus simple : plutôt que de forcer le robot à marcher en ligne droite, on peut le programmer pour atteindre son objectif en contournant les obstacles plutôt qu'en les franchissant.

C'est en suivant ce principe que nous avons construit, avec un matériel et des algorithmes simples, un robot qui imite le comportement complexe de l'insecte réel dans son environnement habituel : ce robot est un modèle réaliste des mécanismes neurobiologiques responsables de ce comportement. Pour simplifier, nous avons restreint les tâches du robot à celle décrite au début de cet

