

modules qui auraient évolué indépendamment de lui.

Les difficultés du projet *Robokoneko* posent la question des limites de la robotique évolutionniste : à quel degré de complexité des problèmes peut-on s'attaquer avec succès ? Aujourd'hui, les comportements accessibles à cette discipline mettent en œuvre de simples réflexes qui permettent de marcher, nager, voler, éviter des obstacles, ou poursuivre un objet. En revanche, l'évolution de comportements plus élaborés, tels ceux qui nécessitent de la mémoire, des représentations de l'environnement ou une planification, pose des difficultés conceptuelles, méthodologiques et techniques dont on ignore encore si l'on saura toutes les résoudre.

Comprendre et exploiter les synergies que la nature met en œuvre lorsqu'elle associe l'évolution de l'espèce au développement et à l'apprentissage de l'individu est un autre défi de la robotique évolutionniste. À terme, grâce à des mécanismes équivalents, les robots seront non seulement adaptés aux caractéristiques de leur environnement qui changent lentement, mais aussi adaptables à des caractéristiques qui changent rapidement. De tels robots « survivront » et continueront leur mission, même en cas de panne de leurs récepteurs ou de leurs actionneurs, en cas de destruction d'une partie de leur système de commande ou en cas de transfert dans un environnement nouveau. L'évolution est en marche.

Jean-Arcady MEYER est Directeur de recherches au CNRS. Agnès GUILLOT est Maître de conférences à l'Université Paris X-Nanterre. Ils mènent leurs recherches à l'*AnimatLab* du Laboratoire d'informatique de Paris 6 (LIP6).

S. NOLFI et D. FLOREANO, *Evolutionary Robotics. The Biology, Intelligence, and Technology of self-Organizing Machines*, The MIT Press / Bradford Books, 2000.

T. GOMI, *Evolutionary Robotics. From Intelligent Robots to Artificial Life*, vol. I et II, AAI Books, 1998.

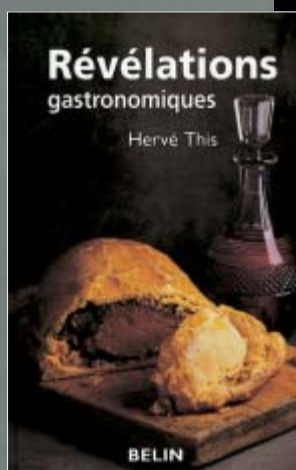
J.-A. MEYER, P. HUSBANDS et I. HARVEY, *Evolutionary Robotics : a Survey of Applications and Problems*, dans P. HUSBANDS et J.-A. MEYER, *Proceedings of The First European Workshop on Evolutionary Robotics -EvoRobot'98*, Springer Verlag, 1998.

## 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**

# Les besoins nutritifs des forêts

**JACQUES RANGER**

*Périodiquement, les forêts dépérissent. Toutefois, une connaissance plus précise de leurs besoins nutritifs devrait aider à réduire le nombre de ces épisodes et améliorer leur «état de santé», malgré la pollution et les variations du climat.*

**D**ans les années 1980, les forêts ont dépéri, surtout dans l'Est de la France, révélant la fragilité des écosystèmes forestiers. Les aiguilles des conifères jaunissaient, certaines tombaient et les cimes s'étiolaient. Ce dépérissement a été attribué à tort aux seules pluies acides. Aux facteurs qui fragilisent habituellement

l'écosystème forestier, c'est-à-dire la pauvreté des sols et une sylviculture inadaptée, se sont ajoutées les sécheresses de 1976 et du début des années 1980, ainsi qu'une pollution atmosphérique accrue. Le jaunissement des aiguilles est dû à une carence en magnésium, et la défoliation à un manque d'eau (voir la figure 2).

Les forêts malades ont marqué les esprits, probablement parce que leur dépérissement est survenu au moment où la conscience écologique de la société s'aiguissait. Pourtant, le phénomène est chronique. En 1792, on signalait déjà un dépérissement de l'orme vers Toulouse, à la suite d'une sécheresse et d'une attaque de scolytes, des insectes



qui creusent des galeries dans les arbres. Vers 1850, un dépérissement semblable s'est produit en région parisienne. En 1956, en Provence, le pin maritime des Maures a commencé à disparaître à cause de fortes gelées hivernales suivies d'une attaque de cochenille sur les arbres affaiblis. En 1985, dans les Landes de Gascogne, le pin maritime a dépéri à cause du froid et des attaques d'Armillaire (un champignon parasite). En 1976, dans la forêt de Tronçais, située dans l'Allier, le chêne a dépéri sous l'effet combiné de la sécheresse et d'une mauvaise adaptation de l'espèce : cette forêt avait été plantée sous Colbert au XVII<sup>e</sup> siècle pour fournir du bois aux chantiers navals.

L'épisode des années 1980 n'était donc pas le premier, mais c'est alors que l'on a réalisé combien l'équilibre écologique des forêts, notamment des forêts cultivées, est important : les quantités d'éléments nutritifs qui sortent de l'écosystème, avec le bois récolté ou dans les eaux d'infiltration, ne doivent pas excéder les quantités apportées par l'atmosphère et par l'altération des minéraux du sol. Pour comprendre les causes du dépérissement des forêts, et, plus généralement, pour prévenir les dysfonctionnements,

les pédologues ont étudié les flux d'éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers, flux qui jouent un rôle important dans l'équilibre écologique. Depuis quelques années, notre équipe a établi des bilans quantitatifs des principaux éléments nutritifs entant et sortant des écosystèmes forestiers. Ces éléments sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Nous cherchons ainsi à élaborer des modèles pour prévoir les aménagements, l'exploitation ou la pollution tolérables par les forêts, sans que les fonctions agronomiques, écologiques et environnementales du sol ne soient perturbées.

Avec quelle intensité peut-on exploiter une forêt ? Au-delà de quelles concentrations les polluants sont-ils dangereux pour les arbres ? Comment peut-on compenser les effets néfastes de sylvicultures inadaptées, d'une pollution chronique ou de phénomènes conjoncturels, telle la tempête de décembre 1999 ? Comment restaurer les sites endommagés ? Telles sont les questions auxquelles nous tentons de répondre. En outre, avec les risques de réchauffement climatique, la préservation des sols forestiers semble d'autant plus importante que les arbres qui absorbent le dioxyde de carbone

jouent un rôle notable dans la régulation de sa concentration atmosphérique et par conséquent de l'effet de serre.

## Le fonctionnement des sols forestiers

Comme tous les types de sols, les sols forestiers résultent de l'action de facteurs liés au climat, telles la pluie et la température, et de celle des organismes vivants micro- ou macroscopiques, sur un substrat nommé roche mère. Avec le temps, celle-ci se différencie en plusieurs « horizons », c'est-à-dire en plusieurs couches de sol qui se distinguent notamment par leur couleur. Les horizons superficiels s'enrichissent en matière organique provenant des litières (les feuilles mortes qui tombent sur le sol) ; cette couche de débris végétaux, plus ou moins décomposés par les micro-organismes, repose sur le sol minéral.

**1. LES RÉSERVES NATURELLES**, telle la réserve de la Tillaie, dans la forêt de Fontainebleau (a), sont très peu nombreuses en France. Les autres forêts françaises, issues de régénération naturelle, telle la hêtraie de la forêt de Haye en Lorraine (b) ou plantées, telle la forêt d'épicéa de Moncel, également en Lorraine (c), sont exploitées, parfois de façon intensive, telle la forêt de peuplier de Conteville, en Basse-Normandie (d).

