

tal pour les sociétés qui produisent des microprocesseurs ou dans le domaine de la fiabilité des programmes. Aujourd'hui, les industriels utilisent des logiciens dérivés de ces programmes de démonstration automatique. Le Centre national d'études spatiales, le Centre national d'études des télécommunications et l'Aérospatiale, en relation avec des universitaires et des chercheurs du CERT-ONERA de Toulouse, par exemple, mettent en œuvre de tels développements.

En intelligence artificielle, les logiciens systèmes experts qui tentent d'égaliser les experts de domaines particuliers (médecine, détection et identification de pannes, conseil en placements boursiers, etc.) comportent des mécanismes de raisonnement appelés *moteurs d'inférences* qui proviennent en grande partie des recherches en démonstration automatique. De même, les langages d'interrogation des *bases de données* exploitent, pour répondre aux requêtes des utilisateurs, des mécanismes de calcul issus de la démonstration automatique.

Le langage de programmation *Prolog*, inventé à Marseille par Alain Colmerauer et Philippe Roussel en 1972, est très prisé pour le développement d'applications en intelligence artificielle. Il est conçu autour d'un mécanisme tiré d'un démonstrateur de théorèmes. La puissance de ce langage provient de cette origine et en explique la caractéristique principale : écrire un programme *Prolog* ne consiste pas à donner des ordres à l'ordinateur (principe de la programmation classique, dite *impérative*), mais à décrire un problème que le langage se chargera de résoudre (principe de la programmation *déclarative*).

De plus, en mathématiques, les démonstrateurs de théorèmes sont souvent les composants de base des vérificateurs de preuves.

VÉRIFIER SANS RÉPIT

Les erreurs en mathématiques sont fréquentes et, parfois, passent inaperçues de longues années. Dans le cas du théorème des quatre couleurs, par exemple, des mathématiciens ont publié à deux reprises des preuves incorrectes, et deux fois l'erreur est restée ignorée durant plusieurs années. Les exemples de démonstrations fausses sont innombrables en mathématiques. On peut penser que les parties centrales des mathématiques sont exemptes de telles erreurs, car leurs résultats ont été contrôlés par de nombreux mathématiciens, et ont été recoupés. En revanche, dans les domaines avan-

cés de recherche où peu de mathématiciens travaillent, une erreur peut rester ignorée longtemps, voire indéfiniment si le résultat faux, trop en marge, n'est jamais utilisé. Les démonstrations fausses ou incomplètes de résultats justes, quoique moins ennuyeuses, sont aussi légion, et leur détection est encore plus délicate.

Il est naturel de vouloir être certain que les preuves mathématiques proposées par les mathématiciens sont bonnes. Cela pourrait être accompli en les soumettant au verdict impartial des machines. Cette idée a déjà conduit à la vérification de théorèmes mathématiques classiques.

Le projet AUTOMATH de N.G. de Bruijn, dès les années 1970, validait une partie du célèbre livre sur les fondements de l'analyse du mathématicien allemand Edmund Landau.

D'autres projets ont permis la vérification de preuves non triviales dont voici une liste très partielle :

- le théorème de Cantor sur le cardinal de l'ensemble des parties d'un ensemble (et qui indique qu'il y a plusieurs types d'infinis) ;
- le théorème des valeurs intermédiaires en analyse (qui dit qu'une fonction d'une variable continue qui prend les valeurs a et b prend aussi toutes les valeurs entre a et b) ;
- le théorème du point fixe de Banach (qui indique que, lorsque vous froissez une feuille de papier et la remettez dans le périmètre qu'elle occupait avant, alors, au moins un point est exactement au dessus de l'endroit qu'il occupait auparavant) ;
- le théorème de Wilson en arithmétique (qui stipule que p est un nombre premier, si et seulement si $(p-1)!+1$ est divisible par p) ;
- l'indécidabilité de l'arrêt d'un programme, démontrée en 1936 par Turing.

En France, le projet COQ propose ainsi un système puissant pour la formalisation et la vérification de démonstrations dans des domaines variés des mathématiques. Malgré ces succès obtenus et les incontestables progrès de ces dernières années, reconnaissons que peu de mathématiciens utilisent les programmes mis à leur disposition pour vérifier leurs démonstrations.

C'est que ceux-ci ne sont pas assez commodes, pour ce que le mathématicien ordinaire produit quotidiennement : les étapes de codage et de formalisation pour obtenir la vérification par l'ordinateur des résultats mathématiques nécessitent une patience et une familiarité qui, finalement, les réservent à quelques spécialistes. L'utilité

de ces systèmes d'aide aux mathématiciens ne fait pourtant aucun doute, car ils permettraient de valider plus rapidement les preuves produites, d'en dériver des versions testables sur d'autres systèmes (vérifier une preuve plusieurs fois ne consisterait plus à la lire, mais à la faire passer dans des vérificateurs automatiques différents), et libérerait le mathématicien de certaines parties pénibles de son travail.

C'est pourquoi un projet international appelé QED (des trois mots *quod erat demonstrandum*, qui signifient «ce qu'il fallait démontrer») tente de se mettre en place depuis 1994. Son but est très ambitieux, et ses promoteurs le comparent à la rédaction du traité général de mathématiques de Bourbaki entreprise il y a quarante ans en France. Il s'agit de faire coopérer tous les spécialistes du domaine, de façon à accélérer les progrès.

La capacité à découvrir de nouvelles démonstrations non triviales et à vérifier celles produites par les mathématiciens a atteint un niveau intéressant ; d'après les tenants du projet, tous les mathématiciens l'utiliseront d'ici peu.

Avec le succès récent de *Deeper Blue* sur Gary Kasparov, le 11 mai 1997, dans une compétition en bonne et due forme, et malgré les commentaires sceptiques qu'il a provoqués (voir *Pour la Science*, juin 1997), nous assistons à la naissance d'une intelligence artificielle aux capacités spécialisées, mais dont on ne peut plus dire qu'elle échoue dans tout ce qu'elle entreprend.

Jean-Paul DELAHAYE est directeur adjoint du Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille du CNRS.
e-mail : delahaye@lil.fr

W. McCUNE et R. PADMANABHAN, *Automated Deduction in Equational Logic and Cubic Curves*, Lecture Notes in Computer Science n° 1095, Springer-Verlag, ISBN 3-540-61398-6, 1996.

C.W.H. LAM, *How Reliable Is a Computer-Based Proof? in The Mathematical Intelligencer*, vol. n° 12, pp.8-12, 1990.

M. RUSINOWITZ, *Démonstration automatique. Techniques de Réécriture*, InterEditions, Paris, 1989

T. L. SAATY et P. C. KAITEN, *The Four-Color Problem, Assaults and Conquests*, Dover Publications, Inc. New York, 1977, 1986.

L. WOS, *The Automation of Reasoning : An Experimenter's Notebook with Otter Tutorial*, Academic Press, New York, 1996.

Cheminées de sable

Aux environs de Tabarka, au Nord-Ouest de la Tunisie, la mer est bordée de falaises qu'elle taille dans d'anciennes dunes littorales. Formées il y a 30 000 ans, ces dunes apportées par le vent ont ensuite été consolidées par un ciment calcaire. Elles sont trouées par un grand nombre de cheminées, cylindres remarquablement réguliers et verticaux. Le diamètre moyen de ces perforations est d'une trentaine de centimètres, et leur profondeur est souvent supérieure à un mètre (le marteau qui figure sur les photographies a une longueur d'environ 30 centimètres). Leurs parois sont tapissées d'un enduit calcitique de quelques centimètres d'épaisseur (flèches sur la photographie ci-dessous), et elles sont bourrées de sables rouges.

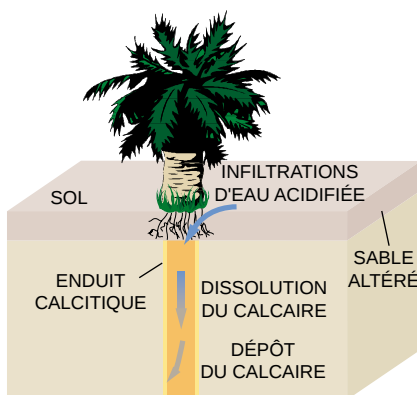
Quelle est l'origine de ces cheminées ? L'explication la plus courante y voit les empreintes « en creux » de troncs

d'arbres, tels des palmiers, enfouis sous les sables dunaires : la consolidation ultérieure des sables aurait conservé ces empreintes après la décomposition des végétaux. Toutefois, la présence d'arbres progressivement enfouis par les sables aurait perturbé la stratigraphie, ce qui

n'est pas le cas. En outre, la couleur du sable qui remplit les cheminées reste inexplicable et le fait que, souvent, les arbres ne poussent pas rigoureusement verticaux, mais légèrement penchés, est négligé.

Des arbres sont bien à l'origine de ces cheminées, mais ils étaient situés à la surface des anciennes dunes après leur consolidation, pas à l'intérieur. L'altération climatique de la surface des dunes a en effet créé un sol où des arbres ont poussé. L'eau de pluie, acidifiée par la présence d'arbres à longue durée de vie et à troncs épais, a dissous préférentiellement le ciment calcaire en dessous (voir le schéma). Les cheminées ainsi formées ont ensuite été comblées par les produits d'érosion du sol, rougis par l'oxydation des minéraux ferrugineux présents en surface.

Roland PASKOFF





Roland Paskoff

Les fibres optiques

Chacune des fibres optiques d'un réseau de télécommunication peut transporter environ dix milliards de bits par seconde, l'équivalent de dizaines de milliers de conversations téléphoniques. Ces fibres, aussi fines qu'un cheveu, sont formées de deux couches de verre concentriques, l'âme et la gaine, entourées d'une couche protectrice. Les impulsions lumineuses, émises par un laser ou par une photodiode, se propagent dans l'âme, sans pénétrer la gaine, dont l'indice de réfraction est inférieur (l'indice de réfraction d'un matériau caractérise la vitesse de la lumière dans celui-ci).

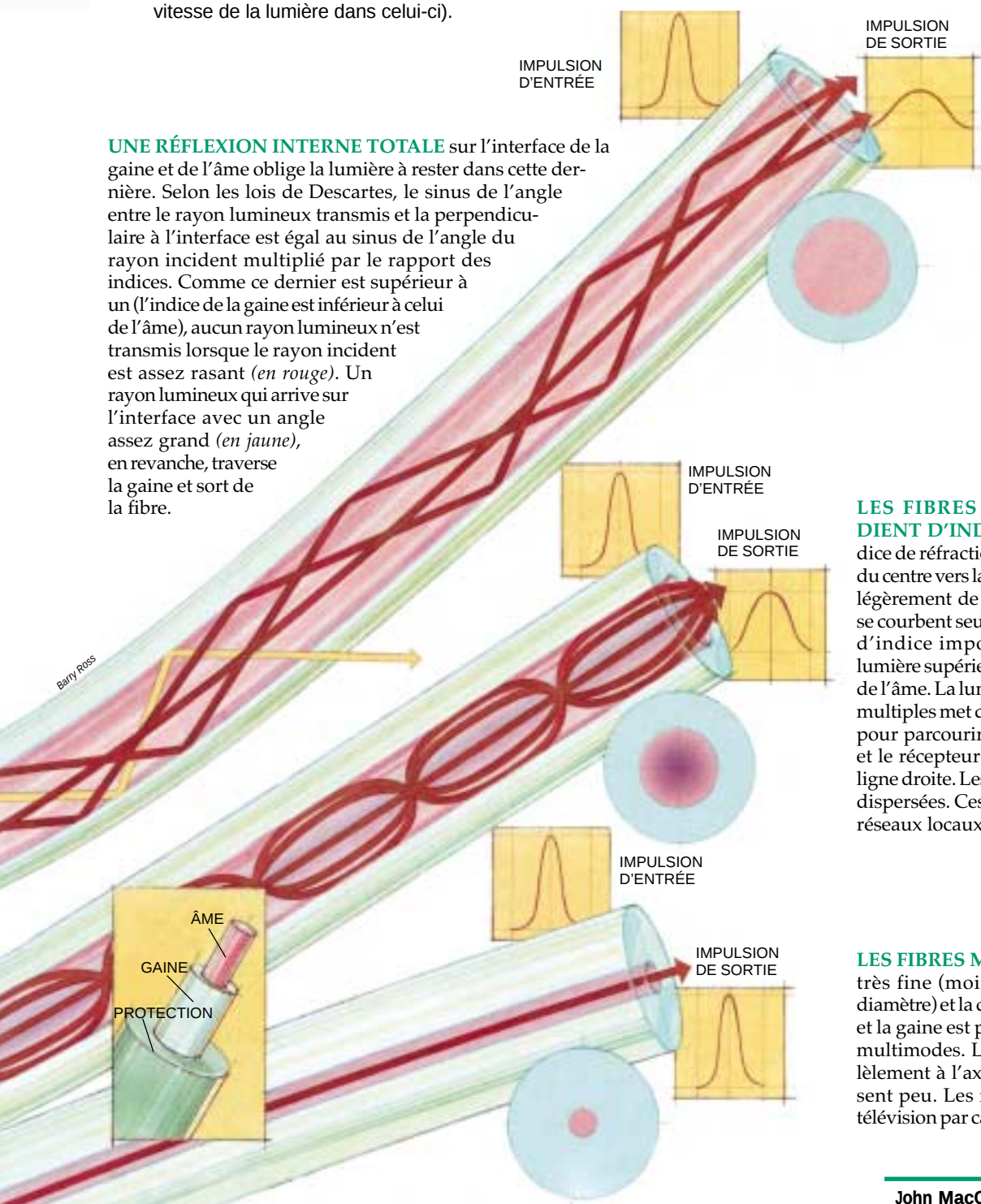
UNE RÉFLEXION INTERNE TOTALE sur l'interface de la gaine et de l'âme oblige la lumière à rester dans cette dernière. Selon les lois de Descartes, le sinus de l'angle entre le rayon lumineux transmis et la perpendiculaire à l'interface est égal au sinus de l'angle du rayon incident multiplié par le rapport des indices. Comme ce dernier est supérieur à un (l'indice de la gaine est inférieur à celui de l'âme), aucun rayon lumineux n'est transmis lorsque le rayon incident est assez rasant (*en rouge*). Un rayon lumineux qui arrive sur l'interface avec un angle assez grand (*en jaune*), en revanche, traverse la gaine et sort de la fibre.

LES FIBRES MULTIMODES À SAUT D'INDICE ont une âme de grand diamètre (jusqu'à 100 micromètres). La lumière qui circule en zigzag, par réflexions multiples, parcourt une plus grande distance que celle qui va tout droit.

Toute la lumière d'une impulsion n'arrive donc pas au même moment au point de réception : l'impulsion est étalée dans le temps. Pour éviter les recouvrements, on espace les impulsions, ce qui limite la quantité d'information transmise. Ces fibres sont réservées à des transmissions à courte distance, dans des endoscopes par exemple.

LES FIBRES MULTIMODES À GRADIENT D'INDICE ont une âme dont l'indice de réfraction diminue progressivement du centre vers la gaine. Les rayons qui dévient légèrement de l'axe ne zigzaguent pas : ils se courbent seulement. En outre, ce gradient d'indice impose aussi une vitesse de la lumière supérieure vers la gaine qu'au centre de l'âme. La lumière propagée par réflexions multiples met donc presque autant de temps pour parcourir la distance entre l'émetteur et le récepteur que celle qui se propage en ligne droite. Les impulsions sont ainsi moins dispersées. Ces fibres sont utilisées pour les réseaux locaux.

LES FIBRES MONOMODES ont une âme très fine (moins de huit micromètres de diamètre) et la différence d'indice entre l'âme et la gaine est plus faible que dans les fibres multimodes. La lumière se propage parallèlement à l'axe : les impulsions se dispersent peu. Les réseaux téléphoniques et la télévision par câble utilisent ce type de fibres.



John MacChesney, Laboratoires Bell.

Entomologie

Biologie des coléoptères chrysomélides

Pierre Jolivet. Éditions Boubée, 1997.

Les coléoptères chrysomélides ? Vous connaissez ces insectes dont le type le plus connu est le doryphore de la pomme de terre. Celui-ci n'est pas un rare représentant d'une petite famille, puisque, en France, il partage son caractère destructeur des cultures avec les criocères sur les asperges, les altises sur de nombreuses plantes potagères ou industrielles, les cassides sur les betteraves ou les artichauts, etc. Au total, la famille compte plus de 40 000 espèces dans le monde.

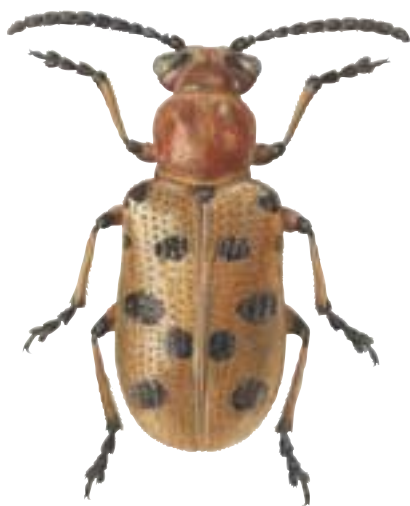
Si l'immense majorité des chrysomélides se nourrit de plantes, certaines espèces ont des régimes et des comportements étonnants. Au Brésil, *Aristobrotica angulicollis* est entomophage et attaque un autre coléoptère, *Epicauta aterrima*. Les cucurbitacées attirent les deux insectes, mais la promiscuité du chrysomélide provoque chez *Epicauta* une réaction d'immobilisation réflexe, qui le fait tomber au sol, où il est rejoint et dévoré. D'autres espèces sont étroitement associées aux fourmis : ce sont des « symphyles ». Ainsi, en Afrique de l'Ouest, *Hockingia curiosa* et *Isnus petasus* vivent dans les épines à base dilatée des acacias que fréquentent les fourmis *Crematogaster*.



Un criocère de l'asperge : *Crioceris asparagi*.

L'éthologie des chrysomélides réserve également des surprises. Beaucoup d'entre eux utilisent leurs excréments pour protéger leurs œufs ou leurs larves : c'est le cas des clytrines, dont les coques fécales ressemblent à des graines végétales, ou bien des cassides Sud-américains, qui utilisent leurs déjections pour construire des oothèques compartimentées, avec un œuf par case. La protection des œufs prend parfois une forme plus active : la ponte est alors conservée sous les élytres, et des soins maternels peuvent s'exercer jusqu'aux larves, engendrant ainsi une subsocialité.

À rapprocher de ce comportement, la cycloaxie est une forme évoluée de grégarisme : il s'agit d'une protection en cercle, qui rappelle le réflexe de défense des bœufs musqués ; ici les larves se groupent de sorte qu'une partie se réunit, au centre, les autres indi-

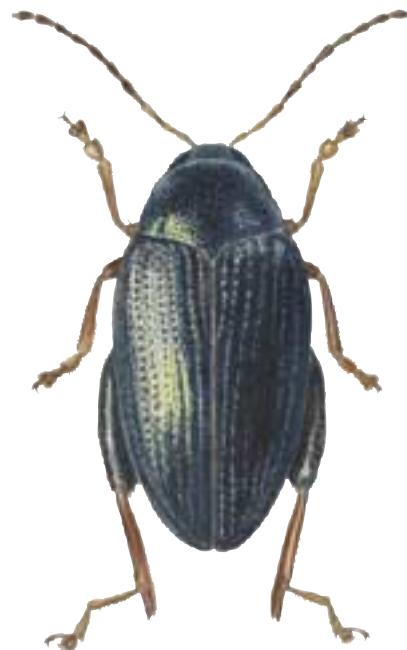


Crioceris 12-punctata, un chrysomélide nuisible.

vidus formant un anneau où têtes ou extrémités abdominales sont juxtaposées, à la périphérie. L'ensemble présente des mouvements coordonnés de défense, avec attitude menaçante, émission de sang, régurgitation, morsure...

Une autre faculté connue chez ces insectes est l'auto-hémorrhée, ou saignée réflexe. C'est la réaction caractéristique du crache-sang, *Timarcha*, qui rejette de l'hémolymphe par les articulations des pattes et la bouche. Ce phénomène est largement répandu, surtout chez les adultes. Enfin quelques espèces produisent des substances toxiques ou répugnatoires, de sorte que certaines altises d'Afrique du Sud sont utilisées comme poison de flèches par les Boshimans du Kalahari.

Si la reproduction est classique chez un grand nombre de chrysomélides, on a observé quelques cas de viviparité, comme chez les *Platyphora* des environs



La grosse altise du colza.

de São Paulo : les femelles fécondées donnent directement naissance à des larves, qu'elles laissent tomber une à une sur les feuilles.

L'habitat enfin : les chrysomélides se sont adaptés à tous les milieux, même extrêmes. Tout un groupe, celui des Donaciinés, est aquatique, passant sa vie dans l'eau jusqu'à l'état larvaire, et, parfois même, jusqu'à l'état adulte. Les larves trouvent souvent l'air nécessaire à leur respiration dans les tissus aériques des plantes.

Certains genres, comme *Timarcha*, semblent préadaptés à la vie subdésertique : ils n'ont pas d'ailes, portent des élytres soudés ainsi qu'une vaste cavité sous-élytrale qui, par son hermétisme, réduit la transpiration et permet à l'abdomen de se gonfler et de stocker eau, nourriture ou œufs.

Les hautes montagnes ne rebutent pas ces insectes étonnants : en Équateur, *Elytrophraera nivalis* s'élève jusqu'à 4 200 mètres ; en Chine, *Oreomela* atteint 4 850 mètres, et *Chrysolina zanayana* 5 020 mètres ! L'Arctique recèle quelques représentants acclimatés aux conditions thermiques extrêmes. La viviparité ou l'évolution rapide des œufs et des larves sont des adaptations à ces conditions qui imposent des arrêts de développement ; elle est accrue par une résistance au froid stupéfiante : des larves de *Chrysolina subsulcata* sont encore actives à -3 °C, et l'accouplement s'effectue dès 0 °C.

La riche biologie des chrysomélides est loin d'être suffisamment explorée, et ce livre, (où manque, en bibliographie,

la mention du *Traité d'entomologie appliquée à l'agriculture*, par A.S. Balachowsky, auquel le tome 2 consacre plus de 300 pages aux chrysomélides, dont 100 pages sur le doryphore par P. Grieson!) est une bonne mise au point pour tous ceux qui seront tentés de multiplier les observations sur ce groupe.

Jacques d'AGUILAR

Environnement

Îles, vivre entre ciel et mer

Sous la direction de Jean-Denis Vigne. Éditions du Muséum national d'histoire naturelle/Nathan, 1997.

Les jours d'intense pollution urbaine ou de stress professionnel, on se prend à rêver de l'île, sanctuaire d'une nature belle et généreuse. Partir, découvrir, renaître. C'est un fantasme exotique et l'utopie d'une société différente, d'un monde à inventer. Les écrivains et les naturalistes voyageurs ont forgé une culture de l'îlénité et la conscience écologique de mondes curieux et fragiles.

Si la naissance des îles est presque toujours liée à la tectonique des plaques, qu'elles soient détachées d'un continent ou surgies des eaux, les moyens de peuplement sont variés et nombreux : passifs (vents, courants, radeaux de fortune) ou actifs (vol, nage). Les aventures migratoires des espèces végétales ou animales ne sont pas sans péril, et il est vraisemblable que les échecs ont été plus nombreux que les réussites.

Force est de constater combien les communautés insulaires sont particulières et étranges. Les espèces endémiques, qui peuvent en donner d'autres par « radiation adaptative », résultent de bien surprenantes modifications par rapport aux espèces pionnières. Avec l'aide de l'ornithologue John Gould, Charles Darwin a compris que les pinsons des Galápagos étaient, non les variétés d'une seule espèce, mais 13 espèces différentes, issues d'un ancêtre commun. La face du monde en a été changée, puisque la mutabilité des espèces et le concept évolutionniste sont devenus des paradigmes. Avec leurs becs de longueurs, épaisseurs et formes différentes, les pinsons ont diversifié leur régime alimentaire, évitant ainsi une concurrence meurtrière sur un territoire restreint.

L'homme, lui, n'arrive pas par hasard sur une île : son histoire maritime commence avec le cabotage, à la recherche de ressources halieutiques, et se poursuit par la conquête de nouveaux territoires, avec des embarcations perfectionnées et des cartes marines. Comme pour les peuplements végétaux et animaux, les sociétés humaines n'échappent pas aux particularismes insulaires. Vivre sur une île, c'est accepter des relations sociales qui se croisent et se heurtent : « On est tous cousins sur une île » ; c'est à la fois de l'entraide et de l'étouffement, des rivalités, des haines et un fort sentiment d'appartenance au lieu.

Enfin l'anthropisation est à l'origine d'effets dévastateurs sur les écosystèmes insulaires. Après une nécessaire prise de conscience de la diminution de la biodiversité, les îles ne sont plus, uniquement, des réserves, mais elles deviennent des lieux d'innovation et des modèles de développement durable, idée clef de la Conférence de Rio de Janeiro, en 1992.

Superbement mis en page, ce livre collectif, dont les chapitres sont rédigés par les meilleurs spécialistes, propose un texte riche d'enseignements et des illustrations de qualité. Bien que l'ouvrage ne soit pas un catalogue, il faut le relier à la remarquable exposition qui se tient à la Galerie de l'évolution du Jardin des plantes jusqu'au 5 janvier 1998.

Michèle FEBVRE

Biologie

L'origine des espèces aujourd'hui. L'espèce existe-t-elle? L'impasse ponctualiste.

M. Delsol, J.-P. Parent, R. Mouterde, C. Ruget, J.-M. Exbrayat, P. Sentis, avec la collaboration de L. Boudchiche et J.-P. Nicollin. Éditions Bouée et Association A.A.A., 1995.

Huit noms figurent en page de titre et en couverture de l'ouvrage, qui n'est cependant ni un recueil d'articles ni à proprement parler un livre collectif. Michel Delsol a réalisé un livre d'auteur, adossé à un travail collectif ou, plus exactement, une concertation collective. Il développe un argument qui lui est propre, appuyé sur une masse considérable de données, dont beaucoup sont empruntées à la littérature disponible et dont certaines ont résulté de demandes adressées aux cosignataires de l'ouvrage ; dans certains cas (données paléontologiques inédites), l'ouvrage incorpore des notes transmises par certains des cosignataires (J.-P. Parent, R. Mouterde, C. Ruget). Le travail rappelle celui de Darwin, qui savait, dans sa correspondance, mettre au travail les collègues sur un matériel empirique pertinent et mobiliser ainsi une recherche qu'un seul ne pouvait mener à bien.

Le triple titre de l'ouvrage doit être pris au sérieux. *L'origine des espèces aujourd'hui*, titre principal, ne peut manquer d'évoquer Darwin. Le livre est un plaidoyer radical en faveur de la conception darwinienne originelle de l'espèce, mais avec des arguments et des faits d'aujourd'hui. Les deux sous-titres explicitent les deux cibles de l'ouvrage. *L'impasse ponctualiste* fait référence à la « théorie des équilibres ponctués » de N. Eldredge et S.-J. Gould (1972) : l'ouvrage entier peut être lu comme une critique systématique de cette théorie. L'autre sous-titre, *L'espèce existe-t-elle?*, vise la théorie synthétique de l'Évolution ou, plus exactement, le concept flou de l'espèce que les synthétistes ont trop souvent entretenu, en raison de leurs dissensions internes. Ce qui fait l'intérêt de ce livre, c'est justement qu'il soit écrit par le plus ardent des défenseurs de la théorie synthétique de l'évolution, au moins en langue française.

M. Delsol est un gradualiste intégral. C'est cette position forte qui lui permet de mener l'offensive à la fois contre la



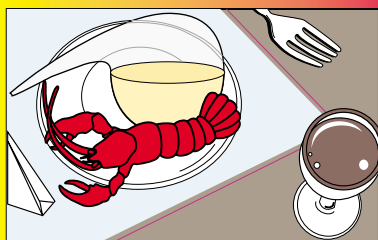
Maïao, une île de la Société.

FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

vous invitent
à écouter la chronique
de Marie-Odile Monchicourt :

Info Sciences

Tous les jours
sur **France Info**
à 15 heures 41,
17 heures 10,
20 heures 12,
22 heures 12,
et 23 heures 42



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 23 septembre 1997.

FRANCE

info



Andreas Spreinat, avec l'autorisation d'Axel Meyer

Les cichlidés ont connu récemment une explosion de spéciation : plus de 500 espèces vivent dans plusieurs grands lacs africains. Cette évolution reste d'interprétation difficile.

théorie des équilibres ponctués et contre les conceptions de l'espèce de certains synthétistes (en particulier T. Dobzhansky).

La théorie des équilibres ponctués affirme qu'une fois formées, les espèces changent peu : le changement se produit essentiellement lors d'événements de spéciation, rapides à l'échelle géologique. Ou, pour dire les choses de manière plus technique : l'anagenèse, c'est-à-dire l'évolution à l'intérieur des lignées («évolution phylétique») est de faible ampleur, l'essentiel du changement évolutif se produit lors des épisodes de cladogenèse (divergence de lignées). Pour le ponctualiste, l'évolution des espèces fait donc alterner des «stases» (longues périodes d'équilibre) et des «crises» (épisodes de spéciation par cladogenèse et d'extinction).

Contre le ponctualisme, M. Delsol invoque trois grandes classes d'arguments. Premièrement la documentation paléontologique est dramatiquement dépourvue de moyens pour établir les discontinuités postulées par la théorie ponctualiste. Cette difficulté est bien connue : S'il se produit effectivement des changements rapides lors d'un événement de spéciation, les traces du changement seront extrêmement difficiles à trouver dans l'archive fossile. L'auteur estime que les cas proposés par les ponctualistes ne sont pas convaincants, ne reposent que sur des preuves indirectes et ne sont guère que des reconstructions spéculatives.

Deuxièmement, il existe des cas bien documentés d'anagenèse dans les séries fossiles. Outre les travaux de P.-D. Gingerich sur les mammifères, d'importantes données peuvent être trouvées dans des travaux stratigraphiques récents, par exemple sur les ammonites (J.-L. Dommegues) et sur les foraminifères (C. Ruget). De tels travaux fournissent des preuves directes en faveur du gradualisme. Toutefois l'auteur reconnaît que de tels faits ne suffisent pas à établir de

manière statistique que l'évolution biologique a été principalement graduelle.

Enfin la dernière grande classe d'arguments a trait à la cladogenèse et s'appuie sur des données qui n'appartiennent pas à la paléontologie (domaine d'élection de la théorie des équilibres ponctués), mais à la zoologie. M. Delsol s'efforce de montrer que rien ne corrobore la vision de la cladogenèse (divergence de lignées) comme événement rapide. Cet argument est dirigé à la fois contre la théorie des équilibres ponctués et contre les synthétistes qui, comme T. Dobzhansky, déclarent que «la spéciation au sens strict (c'est-à-dire le développement de l'isolement reproductif) est une crise qui se déroule avec une relative rapidité». En s'appuyant sur une documentation et des schémas impressionnants, M. Delsol montre à quel point les représentations classiques de la divergence dans la théorie synthétique (du genre : une large avenue qui se sépare en deux autres) sont simplificateurs.

En particulier, il fait valoir l'ampleur des phénomènes d'hybridation entre espèces. Même si les données sont souvent obtenues en laboratoire, ces phénomènes lui paraissent suffisants pour mettre en doute la représentation de la divergence des espèces comme une «crise relativement rapide» à l'échelle des temps géologiques. Il faut donc être gradualiste aussi à l'échelle de la cladogenèse, et l'être sans doute beaucoup plus que les synthétistes ne l'ont jamais été. La divergence des lignages est un phénomène lent et souvent réversible.

L'ensemble de ces arguments, plus quelques autres dans le détail desquels nous n'entrerons pas (en particulier, une critique de la notion de «stase évolutive»), conduit les cosignataires de l'ouvrage à contester la représentation commune de l'espèce dans la biologie évolutive contemporaine. D'un point de vue horizontal (ou synchronique), M. Del-