

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.

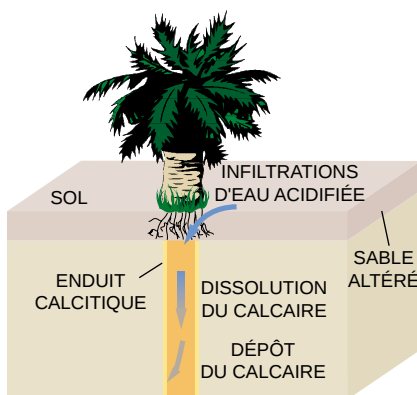
Quelle est l'origine de ces cheminées ? L'explication la plus courante y voit les empreintes « en creux » de troncs

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 inexplicquée 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).

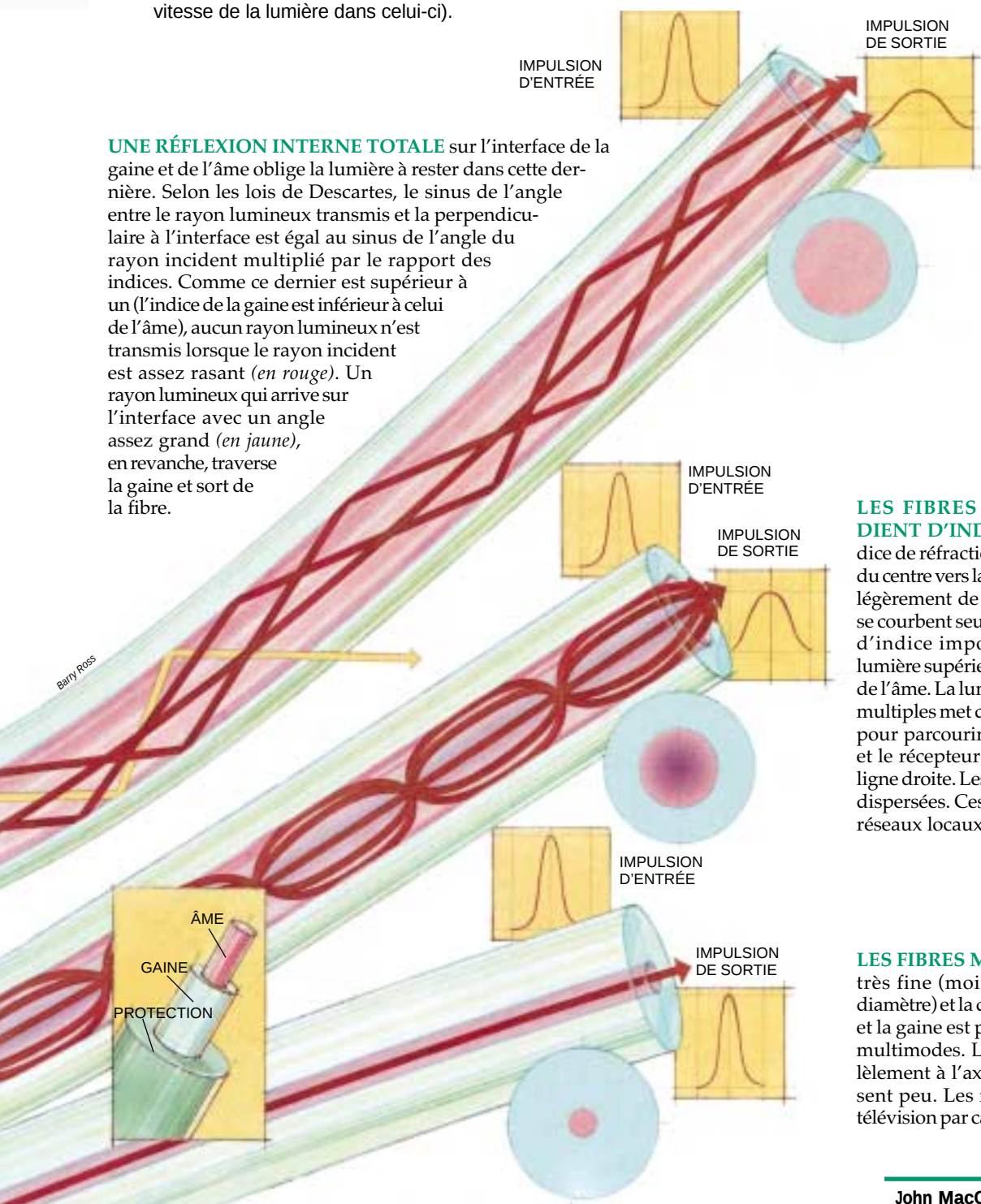
UNE RÉFLEXION INTERNE TOTALE sur l'interface de la gaine et de l'âme oblige la lumière à rester dans cette dernière. Selon les lois de Descartes, le sinus de l'angle entre le rayon lumineux transmis et la perpendiculaire à l'interface est égal au sinus de l'angle du rayon incident multiplié par le rapport 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.

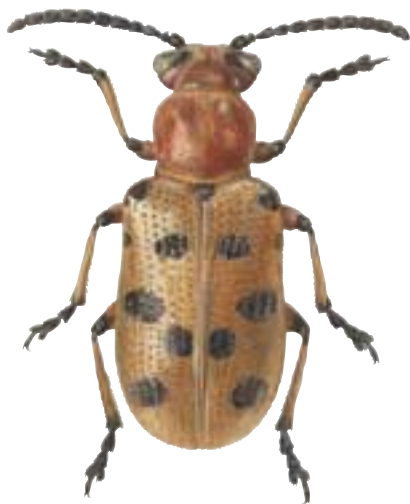
Si l'immense majorité des chrysomélides se nourrit de plantes, certaines espèces ont des régimes et des comportements étonnants. Au Brésil, *Aristobrotica angulicollis* est entomophage et attaque un autre coléoptère, *Epicauta aterrima*. Les cucurbitacées attirent les deux insectes, mais la promiscuité 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 «symphytes». 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-

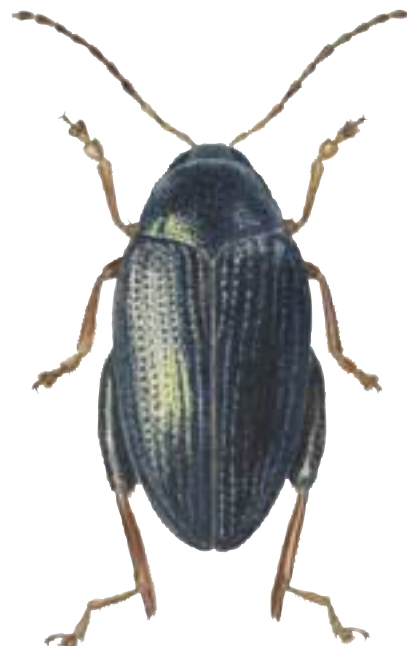


Crioceris 12-punctata, un chrysomélide nuisible.

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



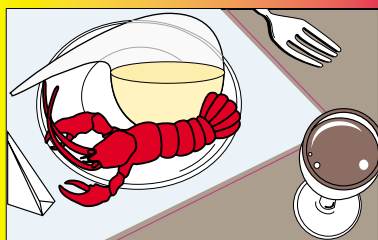
Maïao, une île de la Société.

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-

sol estime que le critère d'interstérilité devrait être réservé au niveau taxonomique du genre. Au niveau de ce que les biologistes nomment espèce, l'isolement reproductif est une affaire de degré. D'un point de vue vertical, l'anagenèse ou évolution phylétique est dûment établie par les paléontologues dans certains cas, et probable dans la majorité des cas. Par conséquent, que l'on regarde l'évolution de manière horizontale (point de vue comparatif du zoologiste) ou de manière verticale (perspective du paléontologue), la conclusion s'impose qu'«il n'y a pas d'espèces en soi» ; les réalités que les biologistes appellent de ce nom offrent le spectacle d'un changement lent, graduel et indéfiniment continué.

Interrogé, M. Delsol se reconnaît volontiers comme nominaliste sur la question de l'espèce, et il se réclame à juste titre de Darwin, dont on peut ici rappeler la célèbre formule : «En bref, nous devons traiter les espèces de la même manière que les naturalistes traitent les genres, lorsqu'ils admettent que ce sont simplement des combinaisons artificielles, inventées par commodité... Nous serons au moins libérés de la vaine recherche de l'essence inconnue et inconnaisable du terme espèce.» En outre, toujours comme Darwin, M. Delsol est «gradualiste» en un sens méthodologique plus radical que ne le veut le sens usuel de ce terme dans la littérature évolutionniste contemporaine. Partout dans l'évolution il voit à l'œuvre le principe de continuité, le principe de la variation en degré. À la suite de G.G. Simpson, il admet que tous les intermédiaires sont possibles entre des scénarios d'évolution lente et des scénarios d'évolution rapide et discontinue. Les ponctualistes peuvent donc bien avoir raison dans certains cas, mais M. Delsol estime que les preuves disponibles plaident en faveur de la plus grande généralité du second scénario.

Voici donc un livre provocateur, dans l'état actuel du débat évolutionniste. Réquisitoire intraitable contre la théorie des équilibres ponctués – au nom des faits –, critique ouverte de la représentation commune de l'espèce comme une «entité» (les espèces ne sont pas des entités, mais des processus), ce livre est aussi un plaidoyer en faveur des méthodes zoologiques en évolution. L'auteur est conscient qu'il ne met pas fin au débat qui oppose les ponctualistes aux gradualistes : pour cela, il faudrait procéder à une évaluation statistique que, faute de données directes suffisantes, nul naturaliste ne peut aujourd'hui proposer. Toutefois loin des débats à la mode, et au plus près des faits, ce praticien, philosophe à ses heures, développe un argument qui donne à réfléchir.

Jean GAYON

Biologie

L'évolution a-t-elle un sens ?

Michael Denton, Fayard, Paris, 1997, 540 p., 220 francs.

Michael Denton, biochimiste en Nouvelle-Zélande, est connu pour *L'évolution, une théorie en crise*, qui fit la joie des créationnistes et de l'extrême droite religieuse, et la consternation des biologistes. On ne savait si les erreurs qui servaient d'arguments relevaient de l'incompétence ou de la falsification. Une préface malencontreuse d'un regretté académicien de toute autre spécialité acheva la confusion.

Ici, les choses sont claires : dès la préface, M. Denton annonce un essai de théologie naturelle dans la tradition de Paley et des traités de Bridgewater – il ne s'agit donc pas de science ! On remarquera que l'ouvrage a été publié grâce à Jean Staune, journaliste au *Figaro Magazine* et animateur d'une association anti-évolutionniste masquée en «Université européenne».

Du niveau des galaxies à celui du cerveau humain, en passant par la terre, l'eau, la chimie, l'ADN, l'évolution «dirigée», l'auteur constate l'«évidence» que le monde est parfait, unique, biocentré, anthropocentré, qu'il n'aurait pu être autrement et que cela est incontournable, même s'il ne peut pas plus le prouver que ses prédécesseurs. La bibliographie historique est souvent intéressante : les citations se rencontrent peu dans les «bibles darwiniennes», et elles y sont parfois fautives.

Des interprétations de l'auteur sont divertissantes, comme la proposition selon laquelle les 95 pour cent non codants de l'ADN d'une espèce programmeraient le devenir de ses descendantes. Ou bien l'affirmation que «Pour qu'il y ait évolution dirigée, [comme l'auteur en est convaincu], il faut que le dogme central [de la biologie moléculaire selon lequel l'information va seulement des gènes vers l'organisme, et pas l'inverse] soit intangible- il faut que règne le déterminisme génétique !». M. Denton retrouve ainsi le «Tout génétique» de l'extrême-droite anglo-saxonne, en stockant la volonté divine dans l'ADN.

Biologistes avertis ou historiens des sciences s'amuseront peut-être du parfum dix-huitième de ce galimatias ennuyeux et anti-scientifique, mais on peut craindre qu'un public débutant s'y

égare. Les Éditions Fayard feraient mieux de traduire les nombreux textes pertinents sur l'évolution qui n'existent pas en français...

André LANGANEY

Chimie

Sir Christopher Ingold, a Major Prophet in Organic Chemistry

K.T. Leffek. Éditions Nova Lion Press, 1996.

Lorsqu'on a sous les yeux la formule d'un produit chimique, sa structure peut nous apparaître simple (la molécule d'hydrogène semble simple au vu de sa formule H_2), un peu compliquée (H_2O pour l'eau), plus compliquée (pour l'aspirine) ou extrêmement compliquée, comme pour le docitaxel, qui constitue, sous le nom de *Taxotère*, un des médicaments anticancéreux les plus prometteurs ; mais, dans tous les cas, ces molécules dont les formules sont des représentations nous apparaissent comme constituées

PUBLICATION JUDICIAIRE

Contrairement à ce qui est indiqué dans l'ouvrage de Félix KLEIN, *Leçon sur certaines questions de géométrie élémentaire* et de R. FEYNMAN *Le Mouvement des planètes autour du soleil* publiés par DIDEROT MULTIMEDIA - DIDEROT EDITEUR ARTS ET SCIENCES dans la collection Jardin des Sciences, Monsieur LEVY-LEBLOND n'est pas directeur de collection chez DIDEROT MULTIMEDIA - DIDEROT EDITEUR et ne porte aucune responsabilité dans leur publication.

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06

Tél : 01-46-34-21-42

<http://www.pourlascience.com>

POUR LA SCIENCE Directeur : Philippe Boulanger. Rédaction : Philippe Boulanger (Rédacteur en chef), Hervé This (Rédacteur en chef adjoint), Françoise Cinotti (Rédactrice - Secrétaire générale de la rédaction), Bénédicte Leclercq, Luc Allemand, Yann Esnault, Philippe Pajot. Secrétariat de Rédaction : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Céline Lapert. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Séverine Merviel et Christelle Dumas. Direction financière : Pierre Lecomte. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Delphine Savin. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : M. Debaine-Francfort, Bettina Debü, Évelyne Host-Platret, Marie-Thérèse Landousy, Anne Masé, Patrick Michel, Claude Olivier, Philippe Pallu de la Barrière, Guy Paulus, Pierre Pfeiffer, Myriam Sibuet, Jean-Paul Squifflet.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press, Timothy Beardsley, Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, John Horgan, Kristin Leutwyler, Madhusree Mukerjee, Sacha Nemecek, Corey Powell, Ricki Rusting, David Schneider, Gary Stix, Paul Wallich, Philip Yam, Glenn Zorpette. Publisher : Joachim Rosler. Chairman and Chief Executive Officer : John Hanley. Corporate Officers : Robert Biewen, Frances Newburg, John Moeling, Anthony Degutis.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06
Tél. : 01 46 34 09 12.
Téléc. : LIBELIN 202978F.
Télécopieur : 01 43 25 18 29

Étranger : John Moeling, 415 Madison Avenue, New York. N.Y. 10017 - Tél. (212) 754.02.62

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP
Henri Gibelin.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE POUR LA SCIENCE

Canada : Modulo - 233, avenue Dunbar Mont-Royal, Québec, H3P 2H2 Canada

Suisse : GM Diffusion - Rue d'Etraz, 2 - CH 1027 Lonay

Autres pays : Éditions Belin - B.P. 205, 75264 Paris Cedex 06.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue «Pour la Science», dans la revue «Scientific American», dans les livres édités par «Pour la Science» doivent être adressées par écrit à «Pour la Science S.A.R.L.», 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L.

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.»

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de Copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris).

Nos lecteurs trouveront des bulletins d'abonnement en pages 18A, 18B, 98A et 98B et en pages 28 à 31 un encart publicitaire CEP.

d'atomes liés. Avant même de connaître la nature exacte des liaisons chimiques, les chimistes avaient compris que la formation et la rupture de ces liaisons étaient responsables des transformations chimiques. Ils s'étaient préoccupés de comprendre ces mécanismes de réaction, afin de comprendre les transformations elles-mêmes, de les prévoir et de les maîtriser.

Ce qui est remarquable, en chimie organique, c'est que ce genre de préoccupations a commencé dans la dernière partie du siècle dernier, alors que les chimistes ignoraient tout de la nature des liaisons chimiques. Les choses sérieuses ont commencé en 1916, quand le chimiste américain Gilbert Newton Lewis a proposé la théorie électronique de la liaison (l'électron avait été mis en évidence en 1897). Cette théorie qui stipule que les liaisons chimiques sont assurées par des électrons reste fondamentalement opérationnelle : la liaison la plus fréquente, dans les composés du carbone, est la liaison covalente, qui résulte de la mise en commun de deux électrons associés en un doublet.

Partant de la théorie de Lewis et l'appliquant concrètement aux problèmes de la chimie organique, Robert Robinson (1886-1975), puis Christopher Kelk Ingold (1893-1970) élaborèrent ce qui allait devenir la théorie électronique des mécanismes réactionnels en chimie organique, théorie qui est, dans ses fondements, toujours opérationnelle et qui constitue l'une des plus belles aventures de la chimie de ce siècle.

C'est une biographie de l'un des deux, Ingold, que nous présente, au terme d'une carrière universitaire au Canada, un de ses anciens élèves : K.T. Leffek. Près de 40 ans après la mort d'Ingold, l'auteur reste visiblement sous le charme de son ancien patron. D'où un exposé attrayant et chaleureux de la vie quotidienne et familiale d'Ingold, et un exposé clair (le nombre de formules chimiques est limité) des résultats importants obtenus par Ingold et ses collaborateurs. Le fonctionnement de la communauté chimique britannique de l'époque est bien décrit, notamment grâce à de nombreux entretiens que l'auteur a eus avec d'anciens collaborateurs et collègues d'Ingold. Enfin, cette biographie, détaillée, est agréablement illustrée et pourvue d'un appareil critique excellent, sans être lourd.

Une rivalité scientifique entre Ingold et Robinson se transforma rapidement, chez Robinson, en animosité personnelle ; essayons de résumer la saga scientifique. Robinson s'est intéressé très tôt à la chimie des produits naturels, qui allait le conduire au prix Nobel de chimie, en 1947. Dès 1916, il s'intéresse aux mécanismes des réactions et propose, en 1922, ses

premières interprétations électroniques, fondées sur la théorie de Lewis, mais il continue de s'intéresser aux produits naturels. En 1925, Ingold publie le premier d'une longue série d'articles où il propose également une interprétation électronique des mécanismes de réaction, mais en remettant en cause les résultats et les interprétations de Robinson.

S'ensuit la polémique qui occupe la presse chimique anglaise jusqu'en 1926. Finalement, Robinson quitte le champ des mécanismes réactionnels, après avoir présenté ses conceptions au Conseil Solvay de chimie, à Bruxelles, en 1931, et dans deux articles qu'il publie, très curieusement, dans des périodiques chimiques à faible diffusion. Il se concentre alors sur la chimie des produits naturels, tandis qu'Ingold continue de plus belle ses travaux et devient bientôt le maître incontesté des mécanismes réactionnels électroniques.

Même si Robinson a pour lui l'antériorité des idées de base, Ingold a le grand mérite d'avoir formalisé les concepts et le vocabulaire, édifié un ensemble cohérent et fait accepter sa théorie, notamment grâce à de nombreux articles de revue et par des livres qui ont fait date. À la différence de Robinson, il s'est intéressé à l'utilisation de la mécanique quantique en chimie : on peut sans doute dater de 1933 le début de la chimie organique théorique, puisque, cette année-là, le concept de «mésomérie», qu'Ingold avait élaboré, fut interprété par Linus Pauling sous le nom de «résonance», par des calculs de physique quantique : les électrons de liaison étant répartis entre plusieurs atomes de carbone («délocalisés»), la structure d'une molécule telle que le benzène ne peut pas être représentée par une seule formule classique ; la structure exacte est intermédiaire entre les différentes formules classiques (les «formes limites») qu'il est possible d'écrire pour la molécule.

Jusqu'à la fin de sa vie, Robinson ne cessa d'affirmer sa priorité et accusa Ingold de lui avoir volé ses idées. Il publia même son ressentiment dans un chapitre de ses *Memoirs of a Minor Prophet*, en 1976, d'où le clin d'œil de K.T. Leffek dans le choix du titre de sa biographie de Ingold. Nombreux sont ceux qui pensèrent que Robinson ne permit pas à Ingold de recevoir le prix Nobel, mais, comme l'écrit K.T. Leffek, Robinson se contenta plus probablement de ne pas promouvoir la candidature de son adversaire, ce qui fut suffisant.

K.T. Leffek conclut le très bon chapitre consacré au duel de ces deux géants en rappelant que le mérite, en science, revient à celui qui a su convaincre, non à celui qui a eu l'idée en premier...

Georges BRAM