

(par exemple, la non-dénombrabilité des nombres réels ou l'impossibilité de la quadrature du cercle) ne doivent pas être pris plus au sérieux que les tentatives de réaliser un mouvement perpétuel qui obsède les inventeurs du dimanche. Oui, en mathématiques aujourd'hui, l'unanimité existe concernant la justesse, et aucune controverse véritable n'a plus cours.

PROGRÈS DANS LA FORMALISATION

Bien que peu de mathématiciens se soucient au quotidien de la formalisation complète de leurs preuves, les progrès faits sur ces questions ne sont pourtant pas négligeables.

Poincaré se moquait du fait que, pour écrire 1 dans le formalisme du système des *Principia* de Russell et Whitehead (le premier système formel complet permettant l'écriture d'un volume important de mathématiques), il fallait un grand nombre de symboles, ce qu'il trouvait absurde. Passionné par le traité de *Mathématiques* de N. Bourbaki, dont les premières pages sont constituées par la description détaillée du système formel sur lequel le traité s'appuie ensuite, un ami s'était amusé à écrire explicitement la suite des symboles représentant l'ensemble des parties d'un ensemble sans utiliser aucune abréviation. Le tout, une fois transcrit sur un rouleau de papier, avait une longueur de trois mètres.

Les systèmes formels d'aujourd'hui ne présentent pas tous ces défauts ridicules, car, dans le but de les manipuler, on a conçu avec des ordinateurs des notations plus efficaces. On a d'ailleurs, grâce à cela, pu écrire des preuves de résultats assez avancés de mathématiques. Les techniques mises au point à cette occasion servent aussi à prouver la validité de programmes informatiques, et c'est là tout un domaine de recherche actif où la logique vient en aide à l'informatique.

LES INFINIMENT PETITS FORMALISÉS

D'autres progrès logiques ont étonné les mathématiciens. On désespérait de justifier par un formalisme précis les méthodes de calcul qui fonctionnent pourtant bien et qui se fondent sur la manipulation des infiniment petits. L'analyse des XVIII^e et XIX^e siècles avait d'ailleurs débarrassé les mathématiques de ces troubles infinis qui paraissaient indomptables. Le système formel de l'Analyse non standard de A. Robinson, dans les années 1960, a réussi l'exploit de proposer un usage réglé des infiniment petits. Celui qui souhaite

profiter de son intuition de physicien pour calculer dispose maintenant d'un formalisme qui pourra valider ses calculs, jusque-là considérés comme non rigoureux. Les résultats logiques connus concernant l'Analyse non standard sont remarquables, et l'un d'eux indique que toute propriété ne mentionnant pas les infiniment petits démontrés dans le cadre formalisé de l'Analyse non standard peut aussi être démontrée sans utiliser les infiniment petits dans le formalisme ensembliste usuel. Ce résultat justifie *a posteriori* le choix fait historiquement par les mathématiciens de se passer des infiniment petits, mais, le connaissant, il permet aujourd'hui à celui qui trouve commode de les utiliser de laisser libre cours à son goût.

PREUVES HEURISTIQUES ET «PRESQUE PREUVES»

À côté de la notion de preuve formelle qui sert à mettre tout le monde d'accord pour savoir ce qui est vraiment démontré, il existe une multitude de preuves non formelles et résolument non formalisables (du moins avec les systèmes connus aujourd'hui) qui fournissent des presque-certitudes. Ces preuves heuristiques, c'est ainsi qu'on les appelle, sont étranges, car quand on les suit, elles persuadent de la vérité des propositions visées. Pourtant, comme pour les preuves démontrées autrefois par les infiniment petits, les mathématiciens les refusent. Bien qu'elles «fassent voir que c'est vrai», tant qu'on ne disposera pas de bons systèmes formels (analogues à celui de A. Robinson pour l'Analyse non standard), il sera impossible de les transformer en preuves formelles, ce qui signifie tout simplement qu'aux yeux des mathématiciens elles ne démontrent rien!

Un exemple de preuve heuristique difficile à transformer en preuve formelle est indiqué sur la figure 5.

PRESQUE, MAIS PAS VRAIMENT

Un autre exemple de résultat presque prouvé est celui qui concerne les nombres parfaits impairs, résultat qui résiste à une démonstration depuis 20 siècles. Un nombre parfait est un nombre qui est égal à la somme de ses diviseurs différents de lui-même. Le nombre 6 qui est divisible par 1, 2, 3 est un nombre parfait, car $6 = 1 + 2 + 3$. C'est le plus petit nombre parfait, et les trois suivants sont 28, 496, 8128. Existe-t-il des nombres parfaits impairs? La question est posée depuis plus de deux millénaires. Personne n'en a jamais trouvé, mais personne n'a

démontré qu'il n'en existait pas. Malgré cette absence de démonstration, tout le monde est persuadé aujourd'hui qu'il n'existe pas de nombre parfait impair, car on a démontré (rigoureusement) une grande quantité de propriétés que devrait posséder un tel nombre parfait impair N , s'il en existe.

– Un nombre parfait impair N , s'il en existe, possède au moins 8 facteurs premiers différents et, s'il est multiple de 3, il doit en posséder au moins 11 (P. Hagis, 1983).

– Un nombre parfait impair N , s'il en existe, est tel que la somme des inverses de ses facteurs premiers est située entre 0,596 et 0,694 (D. Suryanarayan, P. Hagis, 1970).

– La plus grande puissance d'un nombre premier qui divise un nombre parfait impair N , s'il en existe, est plus grande que 10^{20} (G. L. Cohen, 1988).

– Un nombre parfait impair N , s'il en existe, est plus grand que 10^{300} (R. Brent, G.L. Cohen, H. te Riele, 1989).

– Un des facteurs premiers d'un nombre parfait impair N , s'il en existe, dépasse 10^6 (P. Hagis, G.L. Cohen, 1998), un autre dépasse 10^4 , et un autre encore dépasse 10^3 (1999, D. Iannucci).

Remarquez que certains résultats ont été démontrés il y a seulement quelques mois. Il semble qu'aucun nombre ne puisse vérifier toutes ces conditions à la fois (mais ce n'est pas rigoureusement établi), et donc on croit plus fortement que jamais qu'il n'existe aucun nombre parfait impair. Ce sentiment et l'idée qu'on est arrivé à quelques millimètres du résultat final ne constituent pas une preuve mathématique formalisable, et donc, comme c'est toujours le cas, aucune controverse n'a cours sur ce point : aussi fort que soit notre sentiment qu'on a qu'il n'existe pas de nombres parfaits impairs, personne ne prétend que c'est prouvé.

Nicolas BOURBAKI, *Éléments de mathématique*, Paris.

Imre LAKATOS, *Preuves et réfutations*, Éditions Hermann, Paris 1984.

Roger NELSEN, *Proofs Without Words : Exercices in Visual Thinking*, The Mathematical Association of America, 1993, ISBN 0-88385-700-6.

J. DIEUDONNÉ, *Pour l'honneur de l'esprit humain*, Hachette, 1987.

Jean-Michel SALANSKIS, *Le constructivisme non standard*, Presse universitaires du Septentrion, ISBN 2-85939-604-7, 1999. (À propos de l'Analyse non standard).

Simon SINGH, *Le dernier théorème de Fermat*, Éditions J.-C. Lattès, 1998.

Astronomie

La vie sur Mars

Charles Frankel. Éditions du Seuil, 1999 (312 pages, 135 francs).

Dès l'Antiquité, l'homme hésite : la Terre est-elle immuable, au centre de l'Univers, entourée d'«ornements célestes», ou bien est-elle en orbite autour du Soleil, au même titre que les autres planètes ? L'Église catholique cautionne la première hypothèse, et tout dissident à la doctrine officielle de la création termine dans les flammes de l'Inquisition. Ainsi périt Giordano Bruno (1548-1600), prêtre italien, hérésiarque, qui s'est emparé des idées héliocentriques de Nicolas Copernic (1473-1543) et qui a proclamé que les différentes planètes pouvaient abriter la vie ; les étoiles sont autant de soleils, avec leurs planètes, leurs races, leurs cultures et leurs religions. Bernard de Fontenelle (1657-1757), dans ses *Entretiens sur la pluralité des mondes*, conçoit également des systèmes stellaires peuplés d'habitants, de plantes, d'animaux divers.

L'héliocentrisme l'emporte, alors que les lunettes astronomiques montrent les astres. En 1659, Christiaan Huygens (1629-1695) propose les premiers croquis de Mars, planète plus éloignée du Soleil que la Terre : il imagine un cli-

mat plus froid que le nôtre, et des habitants adaptés à cette rigueur.

Au XIX^e siècle, les spéculations sur la pluralité des mondes continuent, et Camille Flammarion (1842-1925) propose une exploration systématique des planètes, afin d'y rechercher la vie. Dans ce contexte, il n'est pas étonnant que Giovanni Schiaparelli (1835-1910), puis Percival Lowell (1855-1916) décrivent des chenaux ou des canaux sur Mars : une race extraterrestre serait-elle obligée de lutter contre la sécheresse pour conserver sa végétation et assurer son agriculture ?

Au XX^e siècle, les télescopes contredisent les intuitions de Lowell : les canaux n'étaient que des artefacts. En revanche, on observe des changements polaires saisonniers : une voile humide se déplacerait-il vers l'équateur, autorisant la reprise périodique de la végétation martienne ? La recherche d'une atmosphère devient prioritaire, mais les premiers résultats, décevants, font reculer l'hypothèse de la vie sur Mars.

Après beaucoup d'essais soviétiques et américains, c'est en 1965 que la sonde *Mariner 4* fournit enfin des renseignements partiels et peu encourageants sur la planète rouge : elle est deux fois plus petite que la Terre, et son atmosphère a une pression 100 fois inférieure à celle qui nous fait vivre. Les sondes suivantes donnent une couverture photographique plus complète, et la géologie martienne se révèle pleine de surprises. Tandis que les calottes glaciaires feuilletées recouvrent les pôles, l'hémisphère Sud se compose de vieux

terrains cratérisés, et l'hémisphère Nord de volcans géants, élevés ou plats qui reposent sur des plaines. Outre ces formations, on découvre un canyon long et profond, qui serait la preuve d'un effondrement du sol lors de la fonte de glaces souterraines. De plus, des formations typiques de bassins hydrographiques sont observables dans les deux hémisphères.

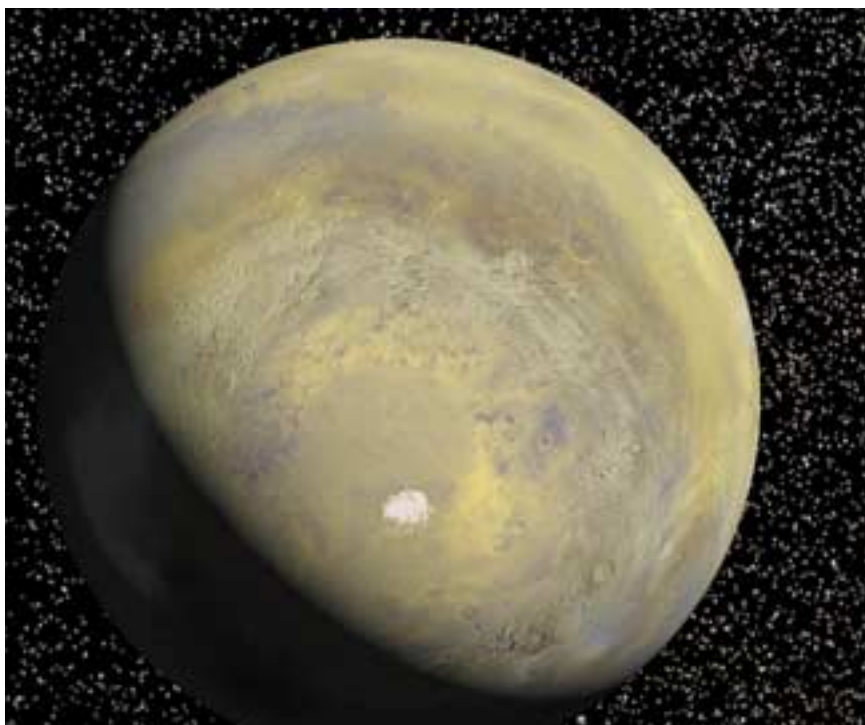
La température oscille entre -15 °C le jour et -80 °C la nuit, et l'atmosphère ténue comprend du dioxyde de carbone (95 pour cent), de l'azote (2,7 pour cent), de l'argon (1,6 pour cent), et des traces d'oxygène, de monoxyde de carbone et d'eau. Cependant, dans un passé lointain, des variations climatiques ont existé, et il est raisonnable d'envisager une atmosphère plus chaude et plus dense, favorable à la vie.

Ainsi la recherche de la vie sur Mars ne repose plus sur l'existence d'intelligences extraterrestres avec lesquelles on chercherait à communiquer, mais sur la compréhension d'un passé géologique, climatique et chimique qui pourrait avoir favorisé l'apparition de la vie. Les recherches sur les milieux extrêmes terrestres, telles les sources hydrothermales ou les glaces de l'Antarctique, nous autorisent à étudier, sur d'autres planètes que la Terre, des mécanismes prébiotiques, puis biotiques.

C'est une météorite martienne découverte le 27 décembre 1984 en Antarctique, ALH 84001, qui relance un débat passionné et justifie de nouveaux espoirs. On connaît bien l'histoire de cette pierre de deux kilogrammes : elle est née avec la planète dans le magma en fusion, il y a 4,5 milliards d'années, à plus de 100 mètres de profondeur, a subi des chocs qui l'ont zébrée il y a quatre milliards d'années, des fluides chauds ont circulé dans les stries, déposant des carbonates, il y a 3,6 milliards d'années. C'est à cette époque que la vie aurait pu apparaître. Puis la planète a perdu son atmosphère, la pierre est restée congelée durant trois milliards d'années, avant d'être éjectée dans l'espace ; après un séjour de quelque 15 millions d'années, elle serait arrivée sur la Terre il y a 13 000 ans. L'analyse de la roche a montré des particularités surprenantes : des globules de carbonates avec, en surface, des larmes de magnétite et des microformes qui font penser à de très petites bactéries.

Ces caractéristiques, sans constituer des preuves absolues, permettraient d'envisager une activité biologique. Les indices discutés depuis des années incitent partisans et adversaires de la vie sur Mars à considérer l'exploration de la planète comme essentielle.

En 1997, le remarquable petit robot *Sojourner* a roulé sur le sol martien et



La planète Mars.

exploré une plaine d'inondation. Sur le site, il a montré des rochers qui avaient été violemment charriés il y a un milliard d'années. Toujours pas de trace de vie à la surface de la planète... mais en profondeur ?

À la recherche d'un site approprié pour la recherche d'une vie profonde, on envisage des vols habités, qui déposeraient sur la planète rouge tout le matériel nécessaire à ces missions humaines de longue durée. Outre la recherche de la vie, les prospections concerneraient les ressources minérales : la planète est jugée colonisable, le sol fertile. On envisage d'enrichir l'atmosphère et de la réchauffer («terraformage»). Quand l'effet de serre sera enclenché, la température et la pression augmentées, les calottes polaires fourniront de l'eau, et du dioxyde de carbone s'échappera du sol. On parle d'un millénaire pour que l'homme vive sur Mars...

Ainsi, de la recherche de nos origines à l'exploration d'autres planètes, les questions essentielles demeurent, mais la science, faite de propositions audacieuses et d'expérimentations novatrices, nourrit le rêve. Le livre de Charles Frankel est une brillante réussite. Vulgarisation scientifique bien maîtrisée, documentation actualisée, objectivité : il ne bascule jamais dans le sensationnel. De cette histoire passionnante, le lecteur éprouve le besoin impérieux de connaître la suite.

Michèle FEBVRE

Biologie

La sculpture du vivant

Jean-Claude Ameisen. Éditions du Seuil, 1999 (340 pages, 145 francs).

La mort cellulaire programmée, aussi nommée apoptose, est aujourd'hui l'un des phénomènes les plus étudiés par la recherche biomédicale : plus de 10 000 articles concernant l'apoptose ont été publiés dans des revues scientifiques, en 1999 seulement.

La mort des cellules était connue, depuis le XIX^e siècle, comme un processus de sculpture du corps au cours du développement embryonnaire, mais la recherche biologique du XX^e siècle s'est concentrée, pendant plusieurs décennies, sur la multiplication et la différenciation des cellules, négligeant la mort de ces dernières comme phénomène structurant. C'est seulement en 1972 qu'a été redécouverte la mort cellulaire et que le mot

«apoptose» est apparu ; à partir de cette date, la biologie, la science du vivant, se penche sur les mécanismes moléculaires de la mort des cellules au cours des processus physiologiques (reproduction, développement, homéostasie de l'organisme adulte, vieillissement) et décrit les nombreuses situations où des cellules superflues, âgées, endommagées ou placées en dehors de leur contexte habituel, disparaissent par apoptose.

On doit évidemment vaincre une petite résistance intuitive pour concevoir que, dans notre organisme, des millions de cellules meurent chaque seconde, que cette mort massive sculpte inlassablement notre corps, que son bon déroulement, sans excès et sans oubli, est même indispensable à notre survie. Concept plus surprenant encore, les cellules ne sont pas assassinées par leurs voisines, mais contribuent activement à leur mort : elles s'autodétruisent ou, pour utiliser une expression anthropomorphe, «se suicident».

Dans cet ouvrage qui porte le sous-titre «Le suicide cellulaire ou la mort créatrice», Jean-Claude Ameisen conte avec un style parfois lyrique, adapté à la dimension philosophique de la question, l'importance du suicide cellulaire pour la physiologie et la physiopathologie des organismes supérieurs. Il donne une vision intégrée des étapes qui ont contribué à l'explosion de ces champs de recherche, tout en procurant suffisamment d'informations de base pour que le livre soit lisible par un assez large public, notamment les étudiants des facultés des sciences ou de médecine. Je regrette l'absence de schémas, de graphiques et de références bibliographiques qui, du texte, permettraient de remonter à la source des informations données, mais je dois admettre que ce texte, le premier dans son genre en langue française, a le mérite de rendre concevable l'idée de la mort (et du suicide) des cellules comme partie intégrante de la vie.

L'auteur n'hésite pas à soulever les très grandes questions philosophiques et pratiques liées à l'apoptose ; il les aborde d'une manière claire, souvent à l'aide de métaphores simples. Ainsi une grande partie du livre est consacrée aux mécanismes de régulation de la mort, de sa programmation intrinsèque et extrinsèque, de la destruction enzymatique de la cellule, du ramassage des dépouilles cellulaires au sein de l'organisme, et de l'implication de la mort cellulaire dans les pathologies et dans le vieillissement.

Le livre se demande également pourquoi, pendant l'évolution, des structures vivantes ont acquis les mécanismes fins et régulés d'autodestruction qui permettent la mort des cellules, indispensables au fonctionnement des organismes pluri-



Cellule en apoptose au microscope électronique : sa membrane bourgeonne et son cytoplasme se divise en petits ballonnements.

cellulaires, les «sociétés des cellules». C'est dans les organismes pluricellulaires que l'absence d'apoptose, pendant l'embryogenèse, peut engendrer des malformations majeures ou, plus tard, contribuer à la prolifération incontrôlée, à l'immortalisation des cellules qui, normalement, s'élimineraient (cas du cancer).

Comment le vivant a-t-il inventé la mort en son sein ? La réponse est complexe, puisqu'elle demande une réflexion inductive, non vérifiable au laboratoire (l'évolution ne se récapitule pas dans un tube à essai) : la démarche doit être plus philosophique que scientifique («scientifique» au sens de Karl Popper, qui revendique la possibilité d'invalidation expérimentale). Néanmoins, J.-C. Ameisen a le mérite d'ébaucher un scénario qui rend plausible l'invention de la mort. Il part d'un constat : même si, intuitivement, l'apoptose n'a qu'un sens dans les organismes pluricellulaires (où le sacrifice «altruiste» de certaines cellules s'effectue au profit de la collectivité) et n'a pas d'utilité dans les organismes unicellulaires (qui, *a priori*, n'ont pas besoin de comportements altruistes), il apparaît que certains êtres unicellulaires eucaryotes, lorsqu'ils meurent, par exemple dans des conditions de culture défavorables, présentent des altérations biochimiques et morphologiques qui ressemblent à l'apoptose des cellules humaines.

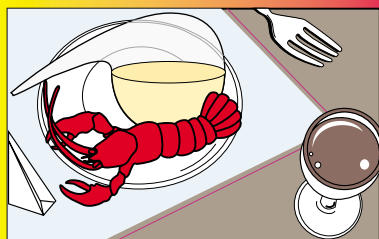
Le programme officiel de la mort pourrait donc avoir été développé par des bactéries (dont des colonies ont parfois un comportement social, y compris la mort «altruiste») ; l'incorporation symbiotique de celles-ci, sous la forme de mitochondries, dans les cellules eucaryotes primitives unicellulaires (les précurseurs des organismes pluricellulaires) constituerait l'élément fondateur de la mort programmée, d'abord dans les eucaryotes unicellulaires, puis dans leurs dérivés pluricellulaires. L'auteur propose également une autre solution, sans exclure la première : le suicide des cellules pourrait être l'expression extrême de réactions cataboliques qui résulteraient de l'inversion de

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 28 février 2000.



réactions biochimiques bâtisseuses, et la mort serait un simple sous-produit de la vie. L'énigme est servie.

Telles sont les grandes contradictions qui opposent vie et mort des cellules, individualisme et altruisme, santé et vieillissement, normal et pathologique, et qui sont habilement esquissées dans ce livre, dont la lecture profitera notamment aux non-spécialistes.

Guido KROEMER

Entomologie

Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du Nord (nouvelle édition)

J. d'Aguilar et J.-L. Dommangeat.
Éditions Delachaux et Niestlé, 1998.

La première édition du *Guide des libellules*, parue en 1985, avait obtenu un très vif succès auprès des naturalistes, car, depuis des années déjà, le très fameux livre de M. Robert, *Les libellules* (1958), était épuisé et celui de M. Aguesse, *Les odonates de l'Europe occidentale...*, de dix ans son cadet, s'adressait à un public beaucoup plus spécialisé. Une quinzaine d'années après, il était temps que ce livre soit réédité dans la collection des *Guides du naturaliste*, elle-même remise au «goût du jour».

L'ouvrage est découpé en deux grandes parties : le texte, réservé aux généralités et à la description des espèces, et l'illustration (planches en couleur et cartes de répartition). Les généralités, comprenant tout ce qu'il faut savoir de la biologie des libellules actuelles, ont fait l'objet d'additions et de modifications qui concernent essentiellement l'écologie (aspect de la vie des odonates, ou libellules, qui a fait le plus de progrès ces dernières années), la conservation des milieux et, surtout, les réglementations régionales ou nationales relatives au prélèvement de ces insectes, certains pays allant jusqu'à interdire toute collecte.

Les chapitres concernant la récolte et l'élevage ont également été modifiés. Si les clés d'identification ont subi peu de changements dans leur contenu, leur illustration a toutefois été augmentée pour les larves ; en revanche, elles paraissent moins lisibles que dans la précédente édition. Il reste un regret, que nous faisons déjà pour l'édition précédente : l'absence de clés d'identification pour les espèces, au moins pour les adultes.

La faune de l'Europe comprend actuellement 137 espèces et environ 37 sous-espèces. Le nombre des espèces a augmenté (sept ou huit espèces selon la lecture que l'on fait de l'édition précédente), suivant en cela les données nouvelles de la systématique et de la biogéographie. Les additions les plus conséquentes concernent les genres *Boyeria*, avec son espèce *cretensis* endémique de Crète, et *Cordulegaster*, dont les représentants sont de très grande taille ; ainsi deux espèces font leur entrée dans le *Guide*, soit qu'elles aient été confondues, soit que leur statut ait changé. Cinq autres espèces, en limite de leur répartition géographique ou dont nous connaissons mieux la répartition, sont maintenant considérées comme faisant partie de la faune européenne. Ce sont : *Ischnura hastata*, aux Açores ; *Macromia amphigena fraenata*, dans l'extrême Est de la région considérée ; *Acisoma panorpoides ascalaphoides*, également très localisée (Algérie orientale) ; *Orthetrum taeniolatum* (Moyen-Orient) ; *Rhyothemis semihyalina*, déjà signalée dans l'édition précédente, présente dans la péninsule Arabique et dont les populations d'Algérie et d'Israël auraient disparu ; *Trithemis festiva*, au Moyen-Orient.

La nomenclature a suivi les quelques changements proposés par les systématiciens. Chaque espèce donne lieu à une petite monographie où est résumé tout ce qu'il en est aujourd'hui connu : les synonymes, les noms vernaculaires, les caractères permettant de les identifier, les variations spécifiques, les formes infraspécifiques quand il en existe, les habitats, les mœurs et une nouvelle rubrique fort utile traitant des espèces ressemblantes. Les espèces présentes en France, au nombre de 85, sont repérées par un petit pictogramme, suivant leur nom, représentant notre pays. Les regrets concernant cette partie ont trait, comme pour l'édition précédente, à l'iconographie, qui est insuffisante ou inutilisable pour identifier les espèces (la plupart des figures étant de la taille du timbre-poste).

La partie centrale de l'ouvrage réservée aux planches en couleur a été augmentée par de très belles photographies. De nombreuses espèces protégées en Europe et en Île-de-France sont photographiées. Les magnifiques planches de René Préchac ont pour la plupart été conservées, sauf celle illustrant les *Cordulegaster*, qui a été remplacée par deux pages de belles photographies, trop petites néanmoins pour que les caractères propres à chaque espèce soient bien visibles. Les cartes de répartition, fort utiles pour avoir une vision synthétique de la répartition des espèces, sont

parfois difficiles à lire. L'utilisation de couleurs, au lieu de grisés, en aurait facilité la lecture malgré leur petite taille.

L'ouvrage est considérablement plus volumineux que la première édition (463 pages contre 341), mais ce ne sont pas environ 120 pages supplémentaires de la vie des odonates. Cet embonpoint est davantage dû à des artifices éditoriaux, changement de police de caractères, augmentation de l'interlignage, sauts de page, présentation..., qu'à des informations nouvelles liées à la biologie des odonates. Je ne trouve pas que ce restylage soit une réussite.

Malgré les regrets exprimés, il reste que ce *Guide des libellules d'Europe* est indispensable à tous ceux qui s'intéressent à ces insectes.

Jean LEGRAND

Physiologie

Éloge de l'odorat

André Holley, Éditions Odile Jacob, 1999.

Tout individu doté d'un appendice nasal devrait lire cet ouvrage. Il y trouvera les informations les plus récentes sur ce sens encore un peu énigmatique que l'on nomme l'odorat. La qualité de la présentation des données scientifiques de ce livre et son niveau de réflexion devraient en faire une référence.

Discourir sur l'odorat n'est pas aisé tant les perspectives possibles sont nombreuses. André Holley, scientifique mondialement reconnu pour ses travaux sur l'odorat, adopte essentiellement deux points de vue : celui du scientifique pour nous présenter l'histoire des idées et les connaissances les plus récentes permettant de comprendre les mécanismes de la perception des molécules odorantes ; celui d'un penseur qui s'interroge sur le statut de l'odorat dans nos sociétés modernes.

Une histoire évolutive de l'odorat montre tout d'abord à quel point les principes d'organisation du système olfactif sont conservés dans différentes espèces. L'olfaction n'est pas l'apanage des vertébrés aériens. Chez les poissons, les «rosettes olfactives» contiennent deux types de neurones récepteurs, dont l'un semble spécialisé dans la détection des phéromones, messagers chimiques qui régissent des comportements spécifiques. On retrouve chez les vertébrés amphibiens et aériens cette dualité d'analyse senso-

rielle, avec l'émergence, à côté de l'organe olfactif pour détecter les molécules volatiles, de l'organe voméronasal pour accéder aux phéromones non volatiles contenues dans les sécrétions des congénères. Le système voméronasal (voir *Pour la Science*, n° 263, septembre 1999), que l'on dit «olfactif accessoire», joue un grand rôle chez les rongeurs dans l'adaptation du comportement de reproduction.

Les chapitres suivants abordent les mécanismes intimes de la perception des molécules odorantes. Longtemps restés mystérieux, ces mécanismes commencent à être mieux connus grâce aux progrès récents de la biologie moléculaire et de la physiologie. Le système olfactif se caractérise par sa très haute sensibilité et par son pouvoir prodigieux de discrimination. Une pléthore de cellules détectrices connectées à un plus petit nombre d'unités de traitement de l'information, les glomérules du bulbe olfactif, assurent une sensibilité maximale. Toutes les cellules détectrices connectées à un glomérule expriment la même protéine réceptrice. Environ un pour cent du génome est consacré à ces protéines réceptrices !

On ne sait pas encore, en termes moléculaires, ce que ces protéines réceptrices «voient» dans les molécules odorantes. Ce sera certainement l'un des grands chantiers du futur, avec, à la clé, le décryptage du code olfactif. En revanche, on comprend, à la lecture de ces chapitres, que chaque molécule odorante peut activer un ensemble particulier de glomérules, en présentant ses diverses «facettes» à des protéines réceptrices différentes. La finesse du pouvoir de discrimination d'un tel système d'analyse défie tout simplement l'imagination.

Les chapitres suivants proposent une autre perspective, celle de la psychologie et de l'étude cognitive de la perception des odeurs. Des aspects majeurs de l'odorat humain sont abordés, comme les relations difficiles entre perception olfactive et sémantique, les obstacles à toute classification des odeurs, les relations privilégiées entre perception olfactive et sentiments ou mémoire. L'importance de l'odorat dans le comportement de prise alimentaire et dans l'hédonisme est bien connue chez l'homme, et les bases neurophysiologiques de ces processus sont explicitées. Enfin, peut-on imaginer l'existence de phéromones olfactives chez l'homme ? L'auteur montre à quel point il faut être prudent en s'avançant dans ce domaine.

D'une façon plus globale, A. Holley nous invite à réfléchir sur nos relations avec l'odorat. Sens du flou et du non-dit, mal intégré à nos sociétés très techniques et complexes, l'odorat doit trouver sa future place. Face à une civilisation de l'image,

du langage et de l'écriture, l'odorat semble peu nous aider à comprendre le monde qui nous attend. Pourtant, très étroitement lié à nos émotions, nos sentiments et notre vie affective, il pourrait très bien agir comme un antidote indispensable.

Didier TROTIER

Histoire des sciences

Évolutionnisme et fixisme en France. Histoire d'un combat. 1800-1882.

Cédric Grimoult. CNRS Éditions.

Pourquoi la théorie de l'évolution ne s'est-elle pas imposée en France dès les premières décennies du XIX^e siècle, alors que des thèses évolutionnistes y étaient proposées par des savants renommés, au premier rang desquels Jean-Baptiste Lamarck et Étienne Geoffroy Saint-Hilaire ? C'est à cette question que s'efforce de répondre Cédric Grimoult.

Pour lui, plus que d'un débat, c'est d'un combat assez manichéen qu'il s'agit, avec deux protagonistes : un bon, Geoffroy Saint-Hilaire, et un méchant, Georges Cuvier. Ces deux rôles sont distribués d'après nos connaissances actuelles : Geoffroy Saint-Hilaire, parce qu'ils étaient transformiste, est nécessairement du côté du progrès et des lumières, alors que le fixiste Cuvier symbolise nécessairement les forces de la réaction et de l'obscurantisme.

Une telle vision des choses est conforme à une vieille tradition de l'histoire des sciences française, qui a volontiers donné le mauvais rôle à Cuvier. Il est accusé d'avoir abusé de ses hautes responsabilités universitaires et politiques pour défendre une position fixiste et créationniste inspirée par ses convictions religieuses ; par là même, il aurait étouffé dans l'œuf l'évolutionnisme naissant de Lamarck et de Geoffroy Saint-Hilaire, notamment lors d'un célèbre débat sur l'unité du plan d'organisation du corps dans le règne animal, qui eut lieu à l'Académie des sciences, en 1830.

Certes, Cuvier était un parfait représentant du système mandarinal, qui nuit à la science française. Il est clair qu'il usa de son autorité pour combattre les idées opposées aux siennes, mais C. Grimoult ne va-t-il pas trop loin quand il accuse

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06

Tél : 01-55-42-84-00

<http://www.pourlascience.com>

POUR LA SCIENCE Directeur de la rédaction : Philippe Boulanger. Hervé This (Rédacteur en chef), Françoise Cinotti (Rédactrice en chef adjointe), Bénédicte Lederq (Rédactrice en chef adjointe), Yann Esnault, Philippe Pajot, Loïc Mangin, Claire Le Poullennec (Rédacteurs). Secrétaire de rédaction : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Céline Laperle. Site Internet : Cyril Lamotte. Marketing et Publicité : Stéphane Montouchet, assisté de Séverine Merviel et Christophe Vitiello. Direction financière : Anne Gusdorf. Direction du personnel : Jean-Benoît Boutry. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Géraldine Le Coz. Presse et communication : Sylvie Gillet, assistée de Lucie Romier. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Leïla Bellon, Michel Billiard, Daniel Collobert, Bettina Debü, Christine Errard, Olivier Forni, François Gramain, Marie-Thérèse Landousy, S. Lubin, Valérie Martin-Rolland, Maurice Mattauer, Claude Olivier, Kevin O'Regan, Guy Paulus, Christophe Pichon, Félix Rey, François Rigaut.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press, Mark Alpert, Timothy Beardsley, Carol Ezzell, Wayt Gibbs, Alden Hayashi, Kristin Leutwyler, Madhusree Mukerjee, George Musser, Sasha Nemecek, Ricki Rusting, Sarah Simpson, Gary Stix, Philip Yam, Glenn Zorpette. Chairman Emeritus : John Hanley. Chairman : Rolf Grisebach. President and Chief Executive Officer : Joachim Rossler. Vice-President : Frances Newburg.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Jean-François Guillotin, jf.guillotin@pourlascience.fr

8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06

Tél. : 01 55 42 84 28

Télécopieur : 01 43 25 18 29

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

SERVICE ABONNEMENTS

Anne-Claire Ternois : 01 55 42 84 04

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP

Christophe Vitiello : 01 55 42 84 81.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE

POUR LA SCIENCE

Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal, Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303, rue du Pré-aux-oyes - 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8, rue Férou - 75278 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 de l'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).

Nos lecteurs trouveront des bulletins d'abonnement en pages 18A, 18B, 90A et 90B.

Cuvier de mauvaise foi et d'aveuglement, quand il lui reproche diverses erreurs d'identification, alors que les idées et interprétations de Geoffroy Saint-Hilaire, même fausses, sont présentées sous un jour favorable, simplement parce que leur auteur croyait à l'évolution des espèces ?

Qu'on le veuille ou non, même si Geoffroy Saint-Hilaire fut le premier à supposer que certains vertébrés fossiles étaient les ancêtres de formes actuelles, il fit totalement erreur en considérant que les crocodiles jurassiques de Normandie étaient à l'origine des crocodiles actuels et des mammifères. Et quand Cuvier qualifie de «gavials» les crocodiliens fossiles trouvés à Honfleur et à Caen, il sait qu'il ne s'agit pas du gavial actuel, et il ne commet donc pas la grossière erreur de détermination que lui reproche l'auteur.

Ce qui nuit à la crédibilité de la thèse ainsi proposée, c'est l'appréciation très discutable que l'auteur porte sur les travaux de Cuvier. Il est confondant de lire que «Cuvier ignore les découvertes géologiques de son siècle», alors qu'il est l'auteur, avec Alexandre Brongniart, d'une des plus importantes d'entre elles : l'utilisation stratigraphique des fossiles (découverte indépendamment en Angleterre par William Smith). Martin Rudwick a montré, dans ses remarquables travaux d'histoire des sciences, que la géologie de Cuvier n'était nullement rétrograde à son époque, bien au contraire. Une des autres contributions essentielles de Cuvier est largement ignorée dans l'ouvrage de C. Grimoult : la démonstration définitive du phénomène d'extinction des espèces. Si l'on veut bien comprendre le climat scientifique de l'époque, on doit savoir combien il était révolutionnaire d'affirmer que les espèces pouvaient disparaître autrement que par l'action de l'homme. Lamarck lui-même niait encore la réalité des extinctions. Si les découvertes paléontologiques du XIX^e siècle ont puissamment contribué à faire accepter la théorie de l'évolution, c'est bien parce qu'une paléontologie scientifique s'était développée, sur des bases posées en grande partie par Cuvier. On imagine difficilement comment l'idée d'évolution aurait triomphé si le concept d'extinction ne s'était pas d'abord imposé.

Reste le problème des prétendues motivations religieuses du fixisme et du catastrophisme de Cuvier. C. Grimoult adhère à la thèse souvent exposée selon laquelle ce protestant convaincu aurait eu pour préoccupation principale de faire concorder ses découvertes scientifiques avec la Bible. Une lecture attentive des œuvres de Cuvier, notamment du *Discours sur les révolutions du Globe*, peut conduire à une autre interprétation. Cuvier y mentionne que le Déluge biblique correspond à la dernière des révolutions ayant tou-

ché notre planète, mais il le cite parmi d'autres récits antiques et en relativise ainsi la signification. Ce faisant, il banalise le Déluge, en l'insérant dans la suite des événements naturels qui ont ponctué l'histoire de la Terre (nulle part Cuvier ne présente ses catastrophes comme des événements surnaturels). On est donc loin du géologue bibliste que se sont plus à dépeindre nombre d'historiens, y compris l'auteur de ce livre. Cuvier était-il, d'autre part, le dévot que l'on a très souvent décrit ? Dans une excellente biographie publiée en 1984 (Manchester University Press), Dorinda Outram a montré, documents à l'appui, que Cuvier ne faisait guère preuve de piété et que ses convictions religieuses se résument sans doute à un «déisme minimal». La vieille idée selon laquelle les idées scientifiques de Cuvier auraient été fortement influencées par la religion paraît difficile à défendre. On pourrait aussi remarquer que, dès le XIX^e siècle, il n'y avait pas nécessairement contradiction entre la foi chrétienne et l'acceptation de l'évolution. Albert Gaudry, ce paléontologue français qui fut un des plus ardents défenseurs de l'évolutionnisme dans la seconde moitié du siècle, n'était certainement pas darwiniste, contrairement à ce qu'écrit C. Grimoult, puisqu'il manifestait clairement sa répugnance à l'égard de la sélection naturelle, qu'il ne pouvait concilier avec sa croyance en un Dieu bienveillant.

Le livre de C. Grimoult contient néanmoins nombre de passages intéressants, notamment quand il examine la conversion de la majorité des scientifiques français à l'évolutionnisme, dans le dernier tiers du XIX^e siècle. Cette conversion eut pour cause principale les œuvres de Darwin, mais elle engendra une génération de lamarckistes, et non de darwinistes.

Revenons au point central : le débat entre fixistes et transformistes. Pour bien faire comprendre, il ne faut pas caricaturer. Ce n'est pas en faisant à Georges Cuvier un mauvais procès *a posteriori* que l'on éclaircira le débat complexe qui agita les géologues et les biologistes français du début du XIX^e siècle. D'ailleurs, si l'on veut juger les idées scientifiques de cette époque à l'aune de nos connaissances actuelles, on réhabilite facilement Cuvier : avec le retour en force du catastrophisme, depuis une vingtaine d'années, Cuvier apparaît même comme un précurseur plutôt que comme un rétrograde.

Eric BUFFETAUT

La liste de tous les livres reçus en service de presse par la rédaction de *Pour la Science* est donnée sur notre site Internet, à l'adresse : <http://www.pourlascience.com>