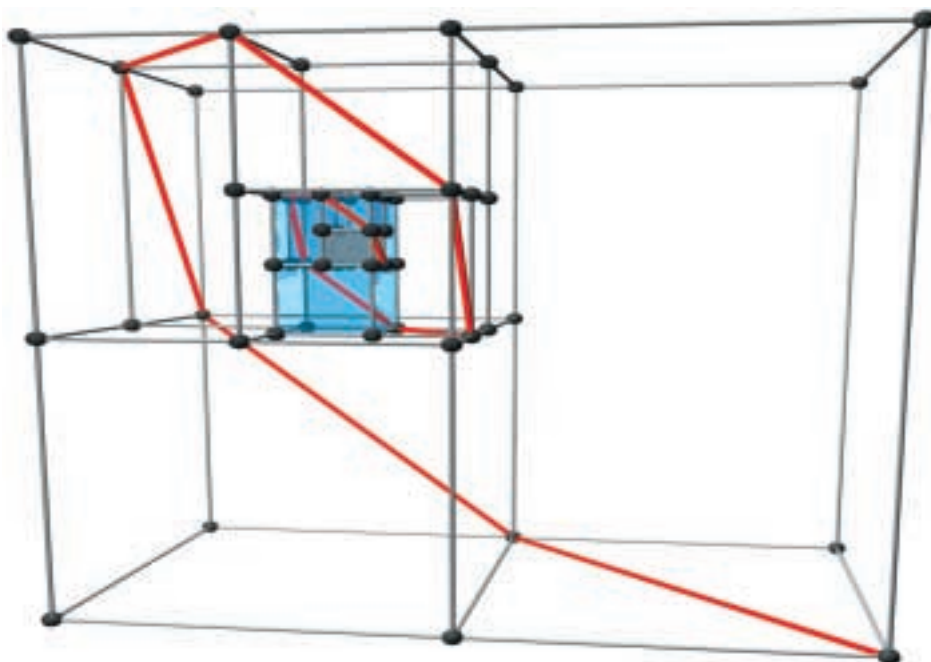


2×2 , afin de former au total un parallélépipède $2 \times 2 \times 3$. Contre une face 2×3 , plaçons un parallélépipède $2 \times 2 \times 3$, afin d'obtenir un parallélépipède $2 \times 3 \times 4$, et ainsi de suite en ajoutant successivement des parallélépipèdes à l'Est, au Sud, en bas, à l'Ouest, au Nord, et en haut. À chaque étape, le nouveau parallélépipède a pour longueur des côtés trois nombres de Padovan consécutifs. En outre, si l'on relie les faces carrées successives des parallélépipèdes par des segments de droite, on obtient une spirale. Cette spirale reste dans un plan. A. Saint George a fondé ses sculptures sur cette propriété, en utilisant des tiges rigides terminées par des boules de liaison (quel diagramme forme l'intersection de ce système de parallélépipèdes avec ce plan?).

LA SUITE DE PERRIN

Une suite analogue à celle de Padovan, avec les mêmes règles de construction mais des valeurs initiales différentes, a été étudiée en 1876 par le mathématicien français Édouard Lucas. Comme les idées de ce dernier ont été développées par R. Perrin en 1899, la suite est aujourd'hui nommée suite de Perrin. Les nombres de Perrin $A(n)$ diffèrent des nombres de Padovan, parce que $A(0) = 3$, $A(1) = 0$ et $A(2) = 2$. Le rapport de deux nombres de Perrin consécutifs est encore égal à p , mais Lucas observa une propriété plus intéressante : pour tous les nombres n premiers, n divise exactement $A(n)$. Par exemple, 19 est premier, $A(19) = 209$, et $209/19 = 11$.

Ce théorème donne un test de non-primauté. Par exemple, pour $n = 18$, on a $A(18) = 158$, et $158/18 = 8,777$, qui n'est



2. Les nombres de Padovan s'obtiennent également à l'aide de spirales formées par juxtaposition de parallélépipèdes.

pas entier ; aussi conclut-on que 18 est un nombre composé, c'est-à-dire non premier. Plus généralement, on utilise les nombres de Perrin pour déterminer la non-primauté : tout nombre n qui ne divise pas $A(n)$ est composé.

Si n divise $A(n)$, n est-il premier ? Voilà une fascinante question ouverte. Personne n'a trouvé de nombre composé n qui divise $A(n)$, mais personne n'a démontré qu'un tel nombre, nommé nombre pseudo premier de Perrin, n'existe pas. En 1991, Steven Arno, du Centre de recherche informatique de Bowie, a démontré que les nombres pseudo premiers de Perrin doivent avoir

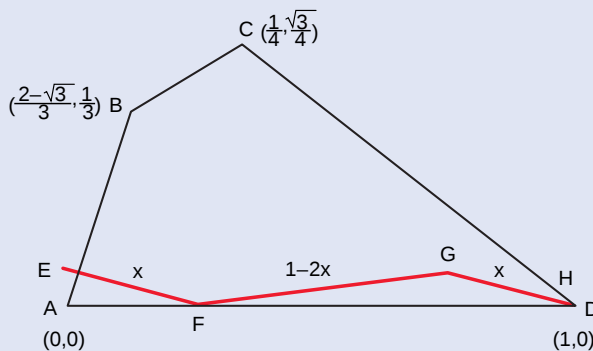
plus de 14 chiffres. Si vous avez entendu parler de progrès dans l'étude de ce problème, n'hésitez pas à m'écrire.

La conjecture de l'existence des nombres pseudo premiers de Perrin est importante, car le reste de la division de $A(n)$ par n se calcule rapidement. Si la conjecture était démontrée, on obtiendrait un test de primalité (en 1982, à l'Université du Maryland, William Adams et Daniel Shanks ont trouvé un moyen de calculer ce reste en $\log(n)$ étapes). Ainsi, la conjecture aurait des applications utiles en cryptographie, laquelle est aujourd'hui souvent fondée sur les nombres premiers.

Réaction

Richard Delaware, de l'Université de Kansas City, m'a signalé que, en 1992, Rick Norwood, George Poole et Michael Laidacker ont trouvé une couverture de maman ver (voir *La couverture*, *Pour la Science*, mars 1996) d'aire égale à 0,27523. Cette couverture est plus petite que celle qui avait été trouvée en 1973 par Gerriets et Poole.

Ce résultat détient sans doute encore le record, parce que la couverture $ABCD$ (à droite) que je présentais est moins bonne que prévue. Richard Kendon, de Nottingham, a trouvé un ver que la couverture ne recouvre



pas. Il a observé que les angles DAB et ADC sont respectivement égaux à 75 et 30 degrés. Son ver $EFGH$ est composé de trois segments. Le point G est à une distance x sur une droite qui fait un angle GDA de 15 degrés, et le point F est à la distance $1 - 2x$ de G sur la droite AD . Le point E est à la distance x de F , de sorte que l'angle EFA est égal à 15 degrés. R. Kendon a calculé que, pour $x = 0,01$, par exemple, l'angle EAD est égal à 75,177 degrés, c'est-à-dire supérieur à 75 degrés : le point E n'est pas dans la couverture.

Chargeurs d'eau

Tel le titan Atlas, cet insecte semble porter le Monde sur son dos. Son fardeau est en fait une minuscule goutte d'eau, l'insecte lui-même ne mesurant que quelques millimètres. Tel Sysiphe, sitôt la goutte perdue, il se chargera d'un nouveau fardeau. Pour observer ce curieux portefaix, nul besoin de partir sous les tropiques : ce staphylin est commun dans les forêts et les jardins d'Europe. C'est pourtant chez une espèce de Nouvelle-Guinée, *Megarthus auricola* (en haut, à droite), que j'ai découvert le comportement «chargeur d'eau».

Cette découverte dut beaucoup au hasard. Désirant photographier un individu de cette espèce, je le plaçais quelques instants au réfrigérateur afin de ralentir son activité. Je m'aperçus alors qu'il accumulait l'eau condensée, formant

une goutte sur l'avant de son corps. Par l'action combinée du labre et des maxilles, il propulsait l'eau, via la face extérieure de ses mandibules, jusqu'à des «gouttières» situées de part et d'autre de la tête, entre l'oeil et l'insertion de l'antenne. Bordés de soies, ces sillons permettent le transfert de l'eau de la base des mandibules jusqu'au sommet de la tête. Une gouttelette se forma, qui recouvrit bientôt l'avant-corps, les élytres et une partie de l'abdomen. En quelques minutes, la gouttelette atteignit le double du volume de l'insecte. L'eau fut ensuite rejetée dans le milieu, ce qui nécessite parfois l'action des pattes postérieures. Le tout dure rarement plus de dix minutes.

J'ai retrouvé le même comportement chez huit autres espèces de staphylin, dont plusieurs sont communes en Europe (ci-dessous et page de droite). De taille modeste (deux à quatre millimètres), les chargeurs d'eau vivent sur les vieux champignons, dans la litière forestière, les composts, les excréments et les cadavres d'animaux.

Le comportement «chargeur d'eau» fait intervenir des structures morphologiques complexes et remplit

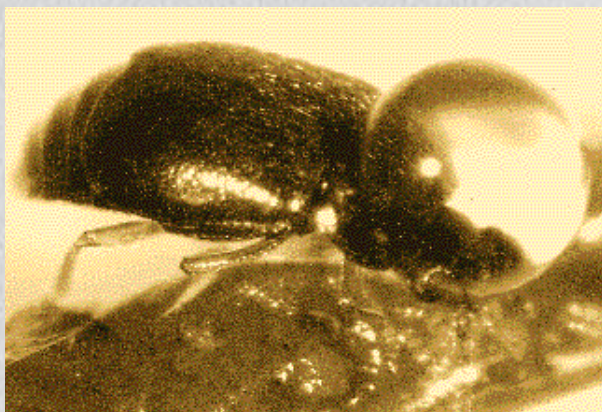
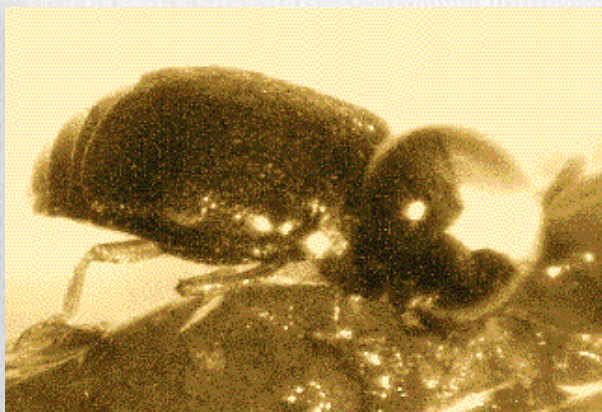


Les individus de l'espèce néo-guinéenne *Megarthus auricola* Cuccodoro forment des gouttelettes hémisphériques (taille de l'individu : trois millimètres).

probablement une fonction importante. Le pompage et le stockage de l'eau pourraient faciliter l'hydratation ou la régulation thermique du corps de l'insecte, ou encore améliorer la dispersion des sécrétions glandulaires qui le protègent contre les prédateurs, les bactéries et les champignons. Il pourrait aussi s'agir d'un mode de nutrition élaboré, l'insecte filtrant ainsi un grand volume d'eau sans avoir à se déplacer. Le stockage de la gouttelette lui éviterait alors de filtrer deux fois la même eau. Des recherches menées au Muséum d'histoire naturelle de Genève et au Natural History Museum de Londres permettront de trancher entre ces hypothèses.

Qu'il ait fallu se rendre dans l'une des régions les plus reculées du Globe pour découvrir un phénomène observable dans nos jardins souligne la marginalisation actuelle de la recherche en biologie des organismes.

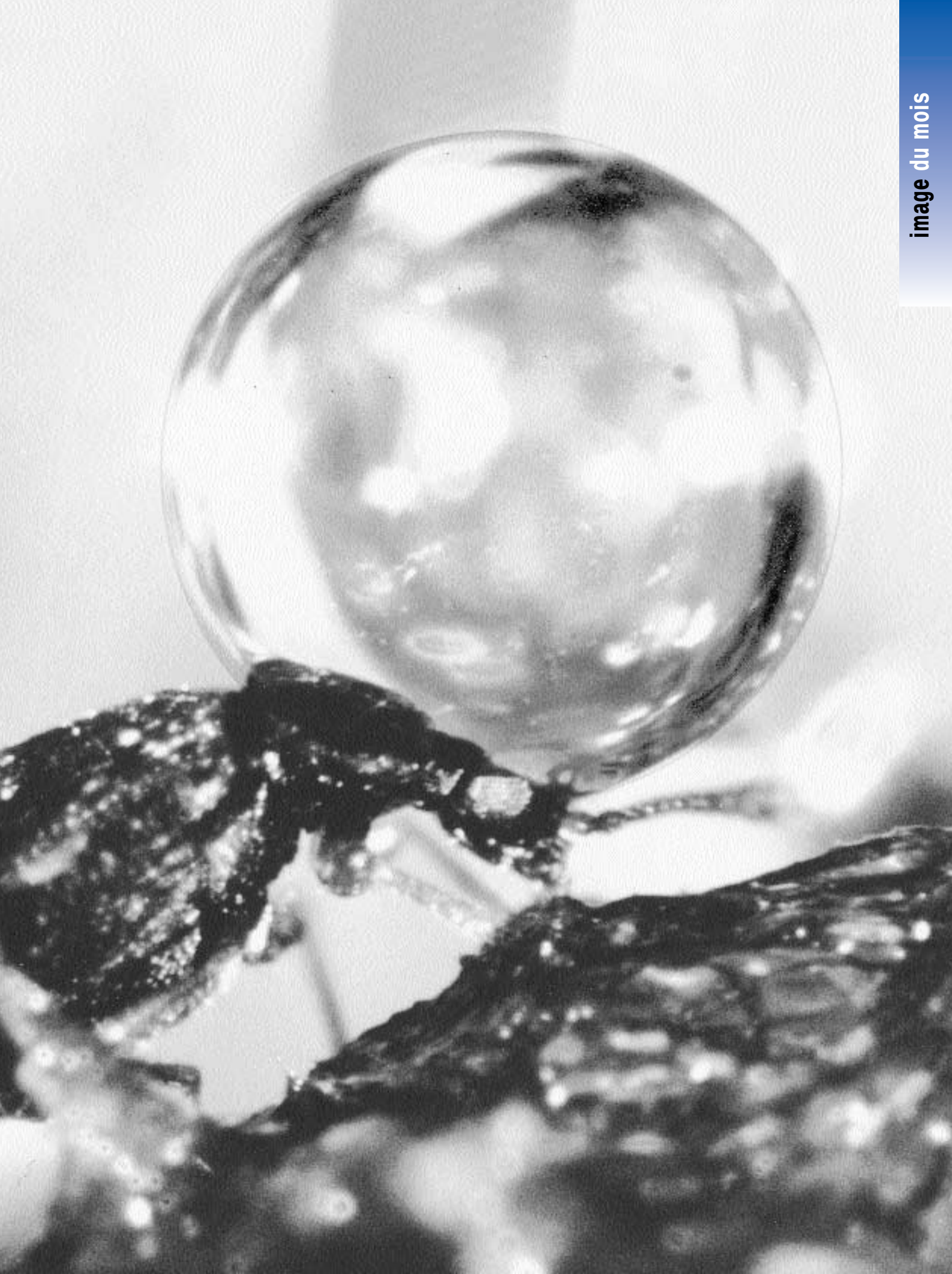
Giulio CUCCODORO
Muséum d'histoire
naturelle de Genève



Ces deux photographies de *Proteinus brachypterus* (Fabricius), prises à une minute d'intervalle, montrent l'acroissement du volume de la gouttelette.

Fréquent en Europe sur les vieux champignons (ici sur de la mousse), *Proteinus brachypterus* forme des gouttelettes sphériques.





Botanique

Inventaire des plantes protégées en France

Philippe Danton et Michel Baffray.
Éditions Nathan, AFSEV, 1996.

Ce superbe ouvrage est un panorama complet de la flore légalement protégée (elle reste cependant menacée) en France métropolitaine. Il apporte, de façon particulièrement agréable et claire, des informations permettant même au non-botaniste d'identifier et de respecter les 429 espèces concernées par les dispositions légales visant «à prévenir la disparition d'espèces végétales menacées et à permettre la conservation des biotopes correspondants». Il s'agit de l'arrêté ministériel du 20 janvier 1982 interdisant toutes les formes de destruction, de transport et de commerce de ces plantes. L'arrêté modificatif du 31 août 1995 se borne à quelques ajouts, à diverses précisions systématiques, et à de rares suppressions résultant d'une meilleure estimation de la fréquence de certaines espèces et des menaces pesant sur elles.

G. Aymonin nous rappelle par quel processus de réflexion et de luttes permanentes ces textes réglementaires ont vu le jour. Les menaces pesant sur telle ou telle espèce végétale sont dénoncées dès le milieu du XIX^e siècle par quelques précurseurs au sein de la communauté scientifique, mais il faut attendre 1890 pour que de courageuses décisions administratives soient prises à l'initiative des quelques trop rares préfets soucieux de la sauvegarde du patrimoine vivant. Cependant, à cette époque comme aujourd'hui, l'efficacité de ces mesures dépend de la volonté politique d'appliquer la loi, mais aussi de la faire connaître...

En effet, si nul n'est censé ignorer la loi, il faut constater que, dans le domaine de la flore spontanée, le citoyen, quel que soit son niveau d'études, est largement démuné : le contenu des programmes scolaires et universitaires actuels ne peut qu'aggraver les choses. Bien entendu, il convient ici de souligner l'effort méritoire des associations de naturalistes amateurs, mais cette action est, par la force des choses, limitée à un public restreint. Or, l'ignorance est l'une des raisons premières de la banalisation du patrimoine naturel ; elle est souvent la cause, par manque d'information, de saccages imprévisibles et irréversibles, parfois accomplis en bonne conscience : l'ouvrage de Michel Baffray et Philippe Danton s'imposait donc.



La linaire à feuilles de Thym (*Linaria thymifolia*), endémique strictement localisée dans le monde aux dunes littorales du golfe de Gascogne.

Son efficacité repose sur un texte précis, simple et clair, associé à une riche et souvent très belle iconographie : un dessin au trait et une photographie réalisée dans le milieu naturel décrivent chaque espèce (à de rares exceptions près, pour des plantes non revues depuis plusieurs décennies, mais dont la survie est espérée). En outre sont précisées la répartition de chacune en France métropolitaine et dans le monde, son écologie (base d'une éventuelle gestion conservatoire), les menaces pesant sur sa survie, enfin les plantes pouvant être confondues avec elle.

Si cet ouvrage est diffusé et utilisé comme il le mérite, nul ne devrait pouvoir invoquer sa méconnaissance de la flore pour justifier telle ou telle action destructrice ; il lève ainsi l'une des critiques formulées à l'égard de ces listes, dont l'efficacité a pu être contestée, parfois même par des naturalistes favorables à la préservation du patrimoine vivant. Il convient à cet égard de souligner que l'aspect répressif ne constitue pas, et de loin, l'objectif essentiel de ces dispositions légales. Les promeneurs ne sont pas principalement visés, bien que le piétinement, les bouquets, parfois l'arrachage de plantes ornementales en vue de l'introduction dans les jardins («vandalisme horticole») soient autour des grandes villes une cause non négligeable d'appauvrissement de la flore. La mise en garde peut concerner aussi les effets pervers des modes dites «écologiques» fondées sur l'utilisation alimentaire, non dépourvue de risques, de végétaux sauvages, ou sur l'usage de

ceux-ci à des fins para- ou pseudomédicales. L'objectif majeur des dispositions légales n'est pas d'interdire, mais d'informer, et de placer ainsi devant leurs responsabilités les utilisateurs, gestionnaires ou «aménageurs» de l'espace naturel, en leur faisant connaître ces espèces, leur localisation et leurs exigences écologiques. Il devrait permettre ainsi d'éviter la destruction fortuite de leurs stations, ou la mise en œuvre de mesures erronées, allant à l'encontre de la protection souhaitée (par exemple, la réalisation de plantations forestières dans une station de végétaux rares exigeant la pleine lumière).

Soulignons enfin l'intérêt de ces dispositions légales pour l'estimation de la valeur patrimoniale de chaque milieu, en fonction du nombre d'espèces protégées qui y vivent. Sur le plan administratif, ces données objectives permettent de justifier la création d'espaces également protégés (réserves naturelles, arrêtés de biotopes à la diligence des préfets, «sites Natura-2000» soumis au droit communautaire européen...). Les responsables administratifs ou politiques, garants de la préservation de notre patrimoine naturel, trouveront ainsi dans cet ouvrage matière à réflexion et à actions.

En dehors de la partie monographique constituant l'essentiel du livre, on lira avec intérêt les pages sur les enjeux de la conservation de la biodiversité, ainsi que celles qui précisent le droit de l'environnement, les objectifs des Conservatoires botaniques nationaux, les types de milieux où vivent les espèces protégées, le contenu des arrêtés ministériels concernant cette protection, sur le plan régional comme sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Rassembler autant de données sous une forme aussi remarquable représente un travail considérable et tient de l'exploit ; on a donc quelques scrupules à faire grief aux auteurs de menues erreurs matérielles, par exemple dans les cartes de répartition par département de certaines espèces (notamment pour les plaines du Nord et de l'Ouest de la France). De même, quelques illustrations sont discutables dans leur choix, parfois leur identité : ainsi le dessin censé représenter le très rare *Carex reichenbachii* se rapporte incontestablement au *Carex arenaria*, lequel ne mérite nullement cet honneur sur le plan national. Ces critiques de détail n'enlèvent rien aux très grandes qualités scientifiques et esthétiques de l'ouvrage de M. Baffray et Ph. Danton ; méritant le plus grand succès, il devrait constituer l'instrument essentiel de la préservation de notre flore menacée et de ses derniers refuges.

Marcel BOURNÉRIAS

Fantaisie mathématique

Flatland

Edwin Abbott (traduit de l'anglais par Philippe Blanchard). Anatolia Éditions, 1996.

Comment s'appelait-il, ce pasteur anglican, né dans les années 1830, qui avait un rapport étrange aux femmes et qui a écrit une fantaisie à la fois onirique et logico-mathématique, grâce à laquelle il est encore bien connu aujourd'hui ? À cette question, répondre Lewis Carroll (1832-1898) serait trop facile. Des collègues me soufflent un autre nom : Edwin Abbott (1838-1926), dont l'œuvre avait pour titre *Flatland*.

Je ne connaissais pas ce texte bien connu, et je regrette donc que l'éditeur français impose une lourde préface de Giorgio Manganelli au lieu de donner un minimum d'informations sur Abbott et sur son œuvre, ainsi que sur la réception de *Flatland*.

Au moment de présenter ce livre à mon tour, cependant, je m'aperçois qu'il est difficile d'en parler sans lourdeur. Car il s'agit d'un texte merveilleux – au sens propre du terme : il crée un monde imaginaire, enchanté, à l'intérieur duquel tout ce qui se produit a les meilleures raisons de se produire, mais dont on ne peut guère parler de l'extérieur.

Prenons le passage suivant, par exemple, situé vers le milieu : «Toute une armée de Polygones venus combattre comme simples soldats fut anéantie jusqu'au dernier homme par une armée de Triangles Isocèles supérieure en nombre – tandis que les Carrés et les Pentagones demeuraient neutres. Pire que tout, certains des Cercles les plus éminents furent victimes de la fureur conjugale. On ne compte pas moins de vingt-trois Cercles qui périrent au cours de disputes domestiques, pendant les trois années que dura le soulèvement.» Texte absurde si on plonge dedans comme ça, sans préparation, mais parfaitement «naturel» si on le lit dans la continuité de l'œuvre.

Tel est l'exploit réalisé par Abbott. S'étant placé dans un monde à deux dimensions, *Flatland*, dont les habitants sont des figures géométriques, il réussit à y vivre réellement, et à nous y faire vivre. Avec le plus grand sens pratique. Toutes les questions que vous pouvez vous poser sur la vie quotidienne (comment se dire bonjour ? comment reconnaître la classe sociale d'un interlocuteur ?) obtiennent des réponses sensées – logiques, pour tout dire.

Pays imaginaire, *Flatland* ? Oui... c'est-à-dire, bien sûr, trop réel ! Le passage précédent ne laisse pas d'illusions : les mœurs, l'histoire, de *Flatland* ressemblent à ceux des hommes, et ne sont pas moins sanglants. Parfois pires : la misogynie de *Flatland* est impitoyable, définitive. Jusqu'à la question de l'euthanasie des êtres mal formés (en l'occurrence, les Polygones irréguliers), nos débats les plus dramatiques sont également ceux de *Flatland*. Mais bien malin

celui qui pourrait dire si les transpositions opérées par Abbott révèlent de sa part des positions conformistes (dans une certaine mesure, oui : sa misogynie semble réelle) ou anticonformistes (dans une certaine mesure, oui également). Doit-on lire *Flatland* comme une critique sociale, une attaque contre la lâcheté et la cruauté propres aux hommes de pouvoir, ou comme la constatation que ce qui est ne pourrait guère être autrement ? Doit-on lire *Flatland* comme une aimable tentative de vulgariser la notion géométrique de dimension ou, plus profondément, comme une critique de la logique, qui peut pousser jusqu'au bout des constructions parfaitement cohérentes, mais pourtant devenues insensées à force de s'éloigner du réel ?

À chaque lecteur sa lecture : Abbott a les ambiguïtés propres à la richesse. Car ce texte merveilleux au sens propre du terme l'est aussi au sens banal.

Didier NORDON

Physique

La physique quantique

Étienne Klein. Éditions Flammarion, 1996.

L'«honnête homme» d'antan s'intéressait au microscopique, emblémisé par le ciron de Pascal ; aujourd'hui nous nous intéressons à l'infiniment petit, à la structure intime de la matière. Livres et articles de vulgarisation, rééditions commentées de textes des «pères fondateurs», articles, émissions de radio ou de télévision sont largement proposés aux non-spécialistes qui veulent comprendre. Peut-on encore faire œuvre originale de vulgarisation dans ce domaine ? Et peut-on le faire en 124 pages d'un livre de poche ? Étienne Klein répond brillamment à cette question.

Pourtant il fait d'abord craindre le pire : d'emblée il nous rappelle que la physique quantique (terme qu'il préfère à celui, plus habituel, de mécanique quantique) est, avec la relativité, une «théorie cadre» de notre époque, sur laquelle reposent presque toutes les branches de la physique. Elle s'appuie sur un formalisme mathématique aussi puissant qu'aride, impossible à transposer dans la langue commune ; délaissant le visuel et le sensible au profit du formel, cette théorie impose une rupture nette avec le «sens commun» au point qu'«en physique quantique, toutes les métaphores mènent à



«Fi, fi, je vous parle carrément !»

Dans la seconde partie de l'ouvrage («matières à débats»), c'est le problème du réel, puis certains aspects des rapports entre science et philosophie qui sont discutés. Le monde quantique, inséparable de son formalisme fortement mathématisé, échappe à l'intuition sensible, et «la physique quantique vient rappeler avec insistance que toute compréhension du monde suppose des stratégies de détournement». Une très belle analogie nous est proposée entre le monde quantique et l'univers complexe, mais si prenant et en fin de compte si «réel» qu'a créé dans son œuvre José Luis Borges : ne peut-on rapprocher une nouvelle comme *Le jardin aux sentiers qui bifurquent* du concept du temps relativiste et du problème de la mesure en physique quantique ? Un grand problème reste celui de la réalité non observée : E. Klein décrit les positions des physiciens vis-à-vis de ce problème : réalisme ou positivisme, agnosticisme philosophique («indifférence polie»), ou volonté de modifier la théorie quantique ou d'en proposer une autre lecture ; particulièrement intéressantes apparaissent les «théories de la désérence» qui semblent offrir une solution au problème de la mesure et permettraient d'expliquer pourquoi les objets macroscopiques

ont presque tous un comportement classique. En attendant, écrit l'auteur, «vive le pluralisme!»

Les dix dernières pages, «physique et philosophie» sont d'une grande richesse ; nous nous bornerons à esquisser rapidement les problématiques présentées. Tout en montrant les difficultés du projet, l'auteur appelle de ses vœux fervents une «hybridation» des cultures scientifique et philosophique. La difficulté est la rareté des «esprits capables de boire aux deux cultures». D'où la nécessité des rencontres ; et, heureusement, «on se parle. Après l'indifférence ou l'affrontement, vient l'heure du dialogue.» Après être revenu sur les difficultés de la vulgarisation de la physique quantique, E. Klein s'élève contre les trop fréquentes tentatives de récupération qui invoquent la physique quantique pour couvrir une marchandise douteuse, un avatar récent étant le *New Age* où l'on aperçoit «la cybernétique planétaire s'entrelaçant avec la physique des particules, la non-séparabilité quantique, la cosmologie, le chaos, les neurosciences, toutes ces disciplines étant baptisées au passage "nouvelles sciences"».

Fuyez le *New Age* et plongez-vous vite dans *La physique quantique*.

George BRAM

RÉFÉRENCES DES ILLUSTRATIONS

Couverture : American Museum of Natural History. P. 7 : Bruno Vacaro. Pp. 10 et 11 : doc. PLS. P. 12 : Christian Fréty. P. 13 : George Giusti. P. 14 (haut) : Service d'aéronomie du CNRS (Verrières). P. 14 (bas) : doc. PLS. P. 15 : J.-P. Brun. P. 16 : V. Maurice et P. Marcus, CNRS-ENSEP. P. 17 : Yves Bérard. P. 20 : RICLAFÉ/Sipa Press. Pp. 21 et 22 : doc. PLS. P. 23 : S.-I. Shoda et PLS. P. 24 : NASA. P. 25 : M.-C. Lévy. P. 26 (photographie) : Don Wilson, West Stock. P. 26 (dessins) : Laurie Grace. P. 27 : doc. PLS. P. 28 : Ron Testa, Field Museum of Natural History. P. 29 (haut) : Department Library Services, American Museum of Natural History. P. 29 (bas) : Ron Testa, Field Museum of Natural History. Pp. 30, 31 et 32 (haut) : American Museum of Natural History. P. 32 (bas) : Don Hammerman, American Museum of Natural History. P. 33 (haut) : American Museum of Natural History. P. 33 (bas) : Ron Testa, Field Museum of Natural History. Pp. 34 (haut) et 35 : John Weinstein, Field Museum of Natural History. P. 34 (bas) : American Museum of Natural History. Pp. 36 et 37 (haut) : N. Bardet. P. 37 (bas) : doc. PLS. P. 38 : N. Bardet. P. 39 : doc. PLS. Pp. 40 et 41 : Eric Buffetaut. P. 45 : Audra Geras. Pp. 46 à 48 : doc. PLS. P. 50 : Ethel Moustacchi. P. 53 (haut gauche) : Jean-Marie Dubois. P. 53 (haut droit) : doc. PLS. P. 53 (bas) : d'après C. Janot. P. 54 (haut) : P. Thiel. P. 54 (bas) : doc. PLS. P. 56 : F. Faudot. P. 57 (gauche) : doc. PLS. P. 57 (droite) : Jean-Marie Dubois et PLS. P. 58 (gauche) : doc. PLS. P. 58 (droite) : Esther Belin-Ferré. P. 59 : Claire Berger. P. 61 (haut) : Thierry Bardinet. P. 61 (bas) : British Museum. Pp. 62 et 63 : Th. Bardinet. P. 64 : doc. PLS. P. 65 : Th. Bardinet. P. 66 : British Museum et PLS. Pp. 68 et 69 (gauche) : doc. PLS. P. 69 (droite) :

Pierre Audénis/IASBE. P. 70 : Alain Roques/INRA. P. 71 : PLS - P. Audénis/IASBE. P. 72 (gauche) : Patrick Lorne/Jacana. Pp. 72 (droite) et 73 (gauche) : René Dulhoste/Jacana. P. 73 (droite) : P. Audénis/IASBE. Pp. 74 et 75 (dessin) : doc. PLS. P. 75 (photographie) : Roger Viollet. P. 76 (haut) : J.-L. Charmet. P. 76 (bas) : Roger Viollet. P. 77 : J.-L. Charmet. P. 78 : Musée de la Marine. P. 79 (haut) : Roger Viollet. P. 79 (bas) : document PLS. P. 82 : International Communication Agency, avec l'autorisation d'Emilio Segrè Visual Archive. P. 83 (Planck) : American Institute of Physics, Emilio Segrè Visual Archive. P. 83 (Einstein 1905) : Bettmann Archive. P. 83 (dessin) : Jared Schneidman Design. P. 83 (Einstein 1916) : UP/Bettmann. P. 84 (Schwarzschild) : Robert Bein, AIP Emilio Segrè Visual Archive. P. 84 (Bose) : Max Planck Institute, avec l'autorisation d'AIP. P. 84 (Eddington) : UP/Bettmann. P. 84 (Pauli) : AIP Emilio Segrè Visual Archive. P. 85 (gauche) : UP/Bettmann. P. 85 (milieu) : AIP Emilio Segrè Visual Archive. P. 85 (droite) : UP/Bettmann. P. 86 (gauche) : Bettmann Archive. P. 86 (milieu) : Jared Schneidman. P. 86 (droite) : UP/Bettmann. P. 91 : KTB-Archiv. P. 92 : Johannes Duyster, KTB-Feldlabor. P. 93 : Manfred Neuber, KTB-Feldlabor. P. 94 : Fa. Eastman Christensen, Celle. P. 95 (haut) : Michael Simon et Helmut Gebrande, Universität de Munich. Pp. 95 (bas) et 96 : G. Hirschmann, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover. P. 97 : Volker Haak, GFZ Potsdam. Pp. 100 et 101 : Erik S. Lesser. Pp. 102 à 104 : Tomo Narashima. P. 106 : Johnny Johnson. P. 107 (haut) : Bryan Christie. P. 107 (bas) : J. Johnson. Pp. 108 et 109 : Giulio Cuccodoro. P. 110 : Marcel Bournérias. P. 111 : Anatolia Éditions.

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06

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 Tacquet, Pascale Thiollier, Marion Aguttes. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Séverine Merviel. 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 : Jean-Loup Bertaux, Paloma Cabeza-Orcel, François Cornet, Bettina Debù, Paul Decaux, Jean Eisens-taedt, Marie-Thérèse Landousy, Claude Olivier, Pierre Pfeiffer.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press (Managing Editor), Timothy Beardsley, Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, John Horgan, Kristin Leutwyler, Philip Morrison, Madhusree Mukerjee, Sacha Nemecek, Corey Powell, Ricki Rusting, David Schneider, Gary Stix, Paul Wallich, Philip Yam, Glenn Zorpette. Publisher : John Moeling. Chairman and Chief Executive Officer : John Hanley. Co-Chairman : Pierre Gercens. Executive Committee : John Moeling, Vincent Barger, Robert Biewen.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06
Tél. (1) 46 34 21 42.
Télex : LIBELIN 202978F.
Télécopieur : 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 en pages 18A, 18B, 98A et 98B des bulletins d'abonnement.