

Physique

La juste argile

Sous la direction de M. Daoud et C. Williams. Éditions de Physique, 1995.

La juste argile? Ce livre au titre un peu étrange est une collection d'articles qui décrivent les principaux aspects de ce qu'il est convenu de nommer la «matière molle». Dans la préface, Pierre-Gilles de Gennes définit cette matière molle comme un état de la matière sur lequel une petite perturbation extérieure produit une réponse très forte. Une telle définition s'applique à des matériaux variés : polymères, tensioactifs (détergents), cristaux liquides, colloïdes, films de mouillage... Tous ces matériaux se rencontrant fréquemment dans la vie quotidienne, un des attraits de l'étude de la matière molle est la relation directe avec le monde industriel.

Le livre traite des divers aspects de la matière molle : physique, chimique et, dans certains cas, applications industrielles avec des exemples concrets, comme dans les chapitres sur les colloïdes ou sur les matériaux polymères. Son but n'est pas la présentation académique et complète du sujet, ni l'exposition des théories les plus récentes et les plus complexes, mais l'illustration, par des exemples simples, des principaux concepts et de l'originalité des propriétés rencontrées. Dans tous les chapitres, les auteurs se sont efforcés d'utiliser un langage simple, qui rend la lecture accessible à un vaste public. Ce parti pris n'interdit pas de discuter des idées et des modèles récents et, parfois, subtils. En ce sens, la présentation des polymères en solution par T. Witten, qui introduit la renormalisation sans le dire et sans formalisme mathématique plus compliqué que la règle de trois, est un petit bijou. Le niveau requis n'étant pas très élevé, le livre peut être conseillé comme une introduction à la matière molle à de nombreux étudiants, physiciens ou chimistes. Un dernier fil conducteur de ce livre est constitué par les travaux de P.-G. de Gennes, qui ont marqué profondément tous les sujets abordés et qui sont abondamment cités.

Le premier chapitre, par Françoise Brochard-Wyart, est consacré aux phénomènes de capillarité et de mouillage. Après une introduction aux principaux concepts classiques, la présentation est

organisée autour de six expériences (dont l'une aurait été faite par Jean-Marc di Meglio «pour faire plaisir à de Gennes») que le lecteur est censé pouvoir reproduire aisément. Je crains cependant que cette reproduction ne soit parfois difficile. Le texte est agrémenté par de nombreux schémas et photographies, souvent spectaculaires. Il montre bien que ce domaine, trop longtemps considéré comme classique, réserve encore bien des surprises ; certains résultats récents, tel le mouvement des gouttes sous l'effet de gradients de tension de surface, choquent l'intuition.

Ces dernières années, les notions de fractale et de dimension fractale sont apparues comme des concepts unificateurs dans le domaine de la matière molle et des fluides complexes. Une présentation très claire en est faite dans le deuxième chapitre par M. Daoud et H. van Damme. La description part d'exemples montrant, dans certains matériaux, des corrélations anormales de densité décroissant comme des lois de puissance. Les notions d'autosimilarité, d'autoaffinité et même de multifractalité sont ensuite introduites sur le plan général, avant quelques exemples concrets (polymères et membranes, gélification et percolation, modèles de croissance et d'agrégation). Le dernier paragraphe est consacré aux problèmes subtils de la diffusion sur une fractale et des modes élastiques des objets fractals.

Le troisième chapitre donne une introduction simple à l'«univers des colloïdes». Les diverses forces en jeu dans les suspensions colloïdales et la théorie classique DLVO sont exposées et illustrées par des exemples précis. Après la description de la cinétique d'agrégation et de la structure des agrégats colloïdaux (qui peut être fractale), les deux dernières parties sont consacrées au traitement de surface des particules colloïdales avec des polymères et des tensioactifs (qui jouent souvent un rôle prépondérant) et au mode de préparation des suspensions colloïdales.

Les deux chapitres suivants sont consacrés aux tensioactifs. C. Taupin donne une brève introduction aux propriétés tensioactives des molécules amphiphiles et aux structures qu'elles forment en solution (micelles, émulsions, microémulsions...). G. Porte aborde plus spécifiquement deux aspects : les micelles géantes (qui peuvent, pour certaines propriétés, être considérées comme des polymères semi-rigides, bien que ces objets à l'équilibre se font et se défont en permanence) et les membranes fluides. La notion d'énergie de courbure et le rôle des fluctuations d'ondulation

des membranes, développés notamment par W. Helfrich, sont clairement exposés et confrontés aux résultats expérimentaux. Ce chapitre se termine par une discussion de la phase L_3 , qui est une phase bicontinue où une membrane sépare deux régions de solvant qui sont continues et interpénétrées, mais qui ne sont pas interconnectées.

Trois chapitres sont ensuite consacrés aux polymères. La chimie des polymères, abordée par F. Candau, décrit la synthèse de polymères dans des structures auto-assemblées, en microémulsion ou avec des tensioactifs polymérisables. La synthèse en microémulsion permet de former des polymères de très haute masse moléculaire et, notamment, des polymères hydrosolubles, à partir de microémulsions inverses. Le mécanisme est très différent de celui de la polymérisation en émulsion, et l'on peut arriver à synthétiser une chaîne polymère par gouttelette de microémulsion. Une autre idée est de figer les structures formées par les tensioactifs. Cela s'obtient de deux façons : soit en introduisant le monomère dans la structure (par exemple, pour des phases lamellaires ou pour des phases cubiques), soit en utilisant des tensioactifs polymérisables (formant des vésicules ou des micelles). On fige ainsi des structures qui peuvent avoir des applications importantes, par exemple en pharmacologie.

Les propriétés des polymères en tant que matériaux sont décrites par Lucien Monnerie. Le chapitre couvre la structure des polymères semi-cristallins, la transition vitreuse, la viscoélasticité des polymères à l'état fondu et des élastomères, puis la mécanique des polymères solides. Il se conclut par une présentation de la mise en œuvre des matériaux plastiques.

T. Witten décrit (en français!) les propriétés des polymères en solution à partir des propriétés plus générales de structures fractales. Cela permet d'étudier non seulement la structure et la conformation de polymères en solution, mais encore leurs propriétés dynamiques (écoulement, diffusion), par analogie avec l'adsorption de marcheurs aléatoires par un objet fractal. Le modèle de reptation qui décrit le mouvement de polymères en solution concentrée est aussi brièvement décrit.

Enfin le dernier chapitre, dû à J. Prost et C. Williams, porte sur les propriétés physiques des cristaux liquides. L'accent est mis sur l'élasticité et sur les défauts des diverses phases cristal liquide : nématiques, smectiques (lamellaires), phases chirales et colonnaires. On y voit des photographies superbes de la texture de ces phases observées sous microscope. Les applications à l'affichage sont mention-

nées à la fois pour les nématiques et pour les smectiques C chiraux.

En conclusion, ce livre donne une idée assez complète de la physique et, dans une moindre mesure, de la chimie de la matière molle sous une forme pédagogique attrayante du fait des nombreuses illustrations et accessible à un public assez large. À ma connaissance, il existe peu d'équivalents à cet ouvrage, et je pense qu'il sera très utile à tous ceux qui s'intéressent plus ou moins directement à ce domaine de la recherche (ingénieurs et techniciens de l'industrie chimique, étudiants...). Le titre du livre, expliqué à la page 84, est tiré d'un livre de Gaston Bachelard ; la «juste argile» formée par le mélange de la terre et de l'eau est celle qui possède la consistance que l'eau n'a pas et la plasticité qui manque à la terre sèche.

J.-F. JOANNY

Biologie

Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution

Sous la direction de P. Tort. Presses universitaires de France, 1996.

Il n'est plus nécessaire de souligner l'importance de l'œuvre de Charles Darwin dans l'histoire de la pensée biologique. La publication de *L'origine des espèces*, en 1859, marque incontestablement une rupture épistémologique dans l'approche et dans la conception du monde vivant. D'autres chercheurs, avant lui, avaient avancé l'idée d'une transformation des espèces à travers le temps, mais Darwin, en proposant un mécanisme raisonnable pour présider à ces changements, déclenche une révolution scientifique. C'est à partir de lui que s'impose peu à peu l'idée d'une évolution de la vie, et toute la biologie moderne peut se réclamer de l'héritage darwinien.

Cependant les idées de Darwin ont filtré au-delà de la biologie pour s'exprimer dans des domaines variés, parmi lesquels la sociologie ou la philosophie tiennent une place de choix. Le succès même du darwinisme avait son revers, et il a conduit à des distorsions, des malentendus ou des caricatures. Depuis T. Lyssenko, apôtre d'un «darwinisme créateur» proche d'un lamarckisme primaire, jusqu'aux sociobiologistes modernes, en passant par les partisans d'un eugénisme censé pallier l'absence

de sélection naturelle dans l'espèce humaine, nombreux ont été les avatars de «la descendance modifiée par la sélection naturelle» de Darwin, souvent perçue à travers le prisme déformant des thèses de M. Spencer. Plus de 100 ans après la mort de Darwin, une récapitulation et une mise au point étaient nécessaires ; c'est un des buts de ce dictionnaire que de clarifier l'héritage darwinien.

L'ouvrage aborde le darwinisme à la fois par le biais des concepts et par celui des auteurs. Tout d'abord, il faut relever les concepts extraits directement de l'œuvre de Darwin, qui permettent de remonter à l'intelligence même de la théorie, de sa genèse et de ses propositions. Ce travail de recherche débouche sur les concepts nés de l'héritage darwinien. Néo-darwinisme, théorie synthétique de l'évolution, révisions modernes de cette dernière englobant les acquis, inconnus de Darwin, de l'hérédité mendélienne, de la génétique des populations, de la paléontologie, de la biologie moléculaire ou de l'écologie... Ce foisonnement de données a engendré des concepts nouveaux qui éclairent ou prolongent les idées de Darwin en les adaptant au flux des connaissances nouvelles ou en les modifiant pour répondre à de nouvelles interrogations. Dans la nébuleuse scientifique et littéraire qui entoure la théorie de Darwin, d'autres concepts qui ont vu le jour sont examinés dans le dictionnaire, certains utilisant avec plus ou moins de bonheur les préceptes darwiniens, d'autres essayant au contraire de les combattre. L'ensemble illustre la vigueur du débat scientifique et épistémologique autour de l'évolution et de ses modalités.

Les auteurs qui font l'objet de notices sont d'abord ceux qui ont été utilisés par Darwin et cités dans ses principaux ouvrages théoriques. À chacun est consacrée une présentation biographique plus ou moins étendue, et un exposé de leurs principaux travaux, découvertes ou théories, alors qu'est donnée la raison de leur citation par Darwin. Sont aussi examinés, dans les mêmes conditions, ceux dont les recherches ont constitué une contribution positive ou négative aux théories de l'évolution ou à l'histoire du darwinisme. On y trouvera donc des penseurs néo-lamarckiens ou des antiévolutionnistes, à côté des noms de ceux qui, après Darwin, ont continué de forger les instruments qui permettent aujourd'hui de mieux comprendre le mouvement perpétuel de la vie.

Les articles du dictionnaire peuvent avoir une fonction pédagogique directe, expliquant simplement les mots ou les théories, ou bien ils peuvent participer à un débat prospectif dans lequel des

rédateurs différents expriment des idées différentes. La longueur des articles n'est pas toujours proportionnée à l'importance d'un auteur ou à l'impact d'un sujet ; elle est déterminée par un souci didactique, avec des éclairages utiles sur certains points peu connus. Le darwinisme russe ou le darwinisme italien, par exemple, occupent une place importante, alors que celle du darwinisme anglo-saxon est modeste relativement au nombre de travaux qu'il représente. Chaque article est suivi d'une bibliographie, parfois abondante, qui permet d'approfondir une question en remontant aux sources, et de corrélats qui renvoient à d'autres rubriques du dictionnaire et élargissent considérablement les possibilités d'information.

Le *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution* est une entreprise originale, la première d'une telle ampleur à être consacrée à Darwin, à ses théories et à leur genèse, de même qu'à leur influence en dehors de la sphère biologique. Instrument de travail nécessaire pour les chercheurs, il est également une source inépuisable pour tous ceux qui s'intéressent à la biologie, à l'évolution ou, simplement, à l'histoire des idées depuis un siècle.

Louis de BONIS

Médecine

Les chemins d'Esculape

Maurice Tubiana. Éditions Flammarion, 1995.

Avec son récent livre, Maurice Tubiana apporte une vision nouvelle de la santé et de la maladie : il n'étudie pas exclusivement Esculape et ses descendants comme l'ont fait tant d'historiens de la médecine, mais s'intéresse aussi aux chemins, parfois divergents, suivis par la pensée médicale, des origines à nos jours.

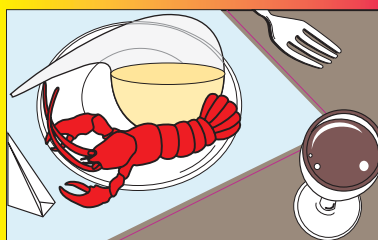
À l'aube de l'histoire, la maladie fit l'objet de deux interprétations. Pour les Mésopotamiens, la souffrance était une punition voulue par les dieux ; pour guérir, il convenait de les apaiser, de ne plus pécher. Cette médecine «méta-physique», qui fit naître maintes pratiques de sorcellerie et, plus tard, de rites religieux, sera adoptée par le judaïsme, puis par le christianisme. Vers la même époque, la médecine égyptienne, au contraire, se voue à l'observation ; on dissocie la maladie de la

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 11 heures 44,
16 heures 21,
18 heures 14,
20 heures 12,
22 heures 21
et 0 heure 51



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 27 mars 1996

FRANCE

info

morale. À sa mort, devant le tribunal d'Osiris, chacun est récompensé ou puni selon ses actes. La maladie est considérée comme un accident de la nature, que l'on doit tenter de réparer. Les observations se multiplient : on cherche les relations entre le mal et l'environnement, une pharmacopée élémentaire se développe.

Les Grecs suivront la pensée égyptienne, Hippocrate faisant la synthèse des connaissances de son temps, au VI^e siècle avant notre ère. Pour lui, toute affection résulte d'un déséquilibre intérieur (entre les quatre humeurs qu'il décèle) et des agressions de l'environnement. Il pressent d'une façon naïve, certes, le tempérament plus tard défini de façon scientifique et les facteurs écologiques qui doivent, eux aussi, offrir un état de «congruence» avec l'individu.

Cinq siècles plus tard, à Rome, Galien reprendra les thèses hippocratiques tout en les précisant. Mais bientôt, la vague du christianisme venue du Proche-Orient envahit toute la Méditerranée et l'Empire romain. La maladie est considérée comme une punition. Devenue suspecte à l'Église, la pratique médicale entre en sommeil, car on ne doit pas s'opposer à la volonté d'un Dieu infiniment juste qui punit les coupables, mais ne saurait laisser souffrir les innocents. Dans les grandes épidémies, on cherche des responsables et l'on accuse : les gitans, les lépreux et, bien entendu, les juifs, victimes expiatoires de tous les malheurs de la chrétienté.

Toutefois, la méthode hippocratique, objective, n'est pas totalement perdue : elle est développée par les Arabes. Certes le Coran affirme que rien n'arrive sans la volonté de Dieu, «bon et miséricordieux», mais il ordonne aussi de chercher et de connaître. Les musulmans, d'abord au Proche-Orient (Rhazès, Avicenne aux IX^e et XI^e siècles), puis au Maghreb et en Andalousie (Averroès au XII^e siècle), développent la science médicale. Autour d'eux travaillent des juifs qui colportent quelques acquis de la médecine arabe dans les écoles à peine entrouvertes de l'Europe chrétienne (Salerne, Tolède, Barcelone, Montpellier, Paris).

La médecine française n'évoluera pas pendant des siècles. Un ballon d'oxygène est porté par la Renaissance, qui ouvre les portes à la science d'observation, essentiellement à la physique et à l'astronomie : viennent Newton, Descartes, Copernic et même Galilée, qui fera la cruelle expérience de contredire les textes sacrés. Toutefois ce libéralisme relatif ne profite guère à la médecine : le XVII^e siècle s'en tient encore aux

vieilles conceptions, mal comprises, des médecins de Molière, pédants et ignares, qui se jettent à la tête des aphorismes d'Hippocrate ou de Galien qu'ils interprètent à leur manière. Leur thérapeutique se borne à des saignées et à des clystères.

L'Angleterre, où la Réforme a introduit un courant libéral, va prendre une avance sur l'Europe catholique, soumise à la férule de Rome. C'est ainsi qu'Harvey décrit la circulation du sang (déjà pressentie par les Grecs, puis par les Arabes), ce qui permet désormais d'introduire des substances à visée thérapeutique par voie intraveineuse. La pharmacopée s'enrichit alors de multiples drogues, notamment grâce aux travaux de Sydenham. Chez nous, la Révolution française brise les dernières entraves, et le rationalisme s'impose. La médecine française explose bientôt. La tendance à individualiser les maladies, déjà sensible ailleurs s'affirme dans notre pays.

Durant la première moitié du XIX^e siècle, Bichat et, surtout, Bayle et Laennec montrent que chaque affection se caractérise par des lésions spécifiques, qui s'extériorisent par des signes faciles à percevoir. La pneumologie, la cardiologie révèlent leurs secrets. On commence à comprendre la mécanique du système nerveux grâce aux travaux de Pinel, d'Esquirol, de Babinsky, de Charcot, qui s'intéressent aussi aux troubles de l'esprit. Des progrès importants sont observés dans les pays voisins : en Allemagne, Virchow montre que le cancer est dû à une prolifération de cellules anormales et envahissantes, tandis qu'Erlich fait accomplir d'immenses progrès à la pharmacologie. Bientôt viennent les «trente glorieuses», au cours desquelles Darwin démontre la réalité du transformisme et offre un schéma cohérent de l'évolution ; Pasteur met fin au mythe de la génération spontanée en décrivant des germes visibles (bactéries) ou invisibles (virus) qui provoquent les maladies infectieuses ; de son côté, Claude Bernard souligne la réalité du milieu intérieur (essentiellement le sang) et les multiples mécanismes de régulation qui assurent sa constance. Loin de là, à Brno, en Moravie, un modeste moine, Gregor Mendel, en hybridant certaines variétés de pois, met au jour les lois de l'hérédité. Dès avant Pasteur, la vaccination antivariolique, fruit d'une observation empirique, avait mis fin aux grandes épidémies de variole qui tuaient les enfants ou les défiguraient pour la vie. Après Pasteur, les vaccinations se généralisent, l'hygiène s'instaure ; Röntgen découvre les rayons X ; Béclère les applique à l'étude photographique des viscères et des

os. Désormais on peut repérer les lésions en dehors de toute méthode invasive. Le monde qui entre dans le xx^e siècle subit une profonde vague de scientisme. On pense que la médecine aura raison de toutes les maladies. La «Révolution industrielle» a relevé globalement le niveau de vie : à la fin du $xviii^e$ siècle, on mourait à 27 ans ; à la fin du xix^e siècle, à 44 ans ; aujourd'hui, à 80 ans.

La médecine progressera encore avec la découverte des sulfamides et des antibiotiques, avec la mise au point d'une chimiothérapie anticancéreuse et avec les traitements immunologiques. On maîtrise mieux l'endocrinologie, et l'arrivée de multiples psychotropes amène à fermer ou à réduire fortement les services de psychiatrie. La transfusion sanguine permet des interventions longues, saignantes, telle la chirurgie à cœur ouvert, alors que la découverte du système majeur d'histocompatibilité, jointe à la connaissance d'immunosuppresseurs, ouvre la porte aux greffes d'organes.

Ces avancées de la médecine soulèvent de nouveaux problèmes socio-économiques. D'abord l'apparition, dans la pyramide des âges (devenue «obésique», d'une classe de gens âgés de

plus en plus nombreux, ce qui implique une révision du mode de retraite pour que chacun vive décemment jusqu'à la fin de ses jours. En outre, chaque nouvelle technique coûte cher. Avec le prix d'une seule greffe cardiaque, on pourrait soigner (ou prévenir) des millions de gripes. Aussi les États doivent-ils développer une médecine de prévention et, bientôt, grâce à l'inventaire complet du génome, une «médecine de prédiction», appelées l'une et l'autre à éviter des maladies prévisibles ou seulement probables. Faute de quoi aucune caisse d'assurance ne pourra supporter le poids de ce nouvel accès à la santé.

Aujourd'hui la maladie apparaît comme un phénotype fait de la convergence des facteurs innés et de facteurs acquis. N'est-ce pas, traduite en termes modernes, la vieille intuition hippocratique du terrain et de l'environnement réagissant l'un sur l'autre ?

Maurice Tubiana expose, avec une merveilleuse clarté, le long cheminement d'observations et de déductions qui, en trois millénaires et à la faveur d'une méthodologie sans cesse plus rigoureuse, amène à la médecine du temps présent et laisse entrevoir celle de l'avenir. Un beau livre à lire et à méditer.

Jacques RUFFIÉ

RÉFÉRENCES DES ILLUSTRATIONS

Couverture : Slim Films.

P. 9 (en haut à gauche et en bas à gauche) : A.B. Dowsett, SPL/Photo Researchers, Inc. P. 9 (en haut à droite) : Scott Camazine, Photo Researchers, Inc. P. 9 (en bas à droite) : Science Source/Photo Researchers, Inc. P. 10 : Enrico Ferorelli/Cosmos. P. 13 : Beth Phillips, avec l'aimable autorisation de l'American Museum of Natural History. P. 14 (à gauche) : *Over de Voortelling en Wonderbaerlyke Veranderingen der Surinamsche Insecten* (1730) ; P. de Bay, avec l'aimable autorisation de Trustees of the Victoria and Albert Museum. P. 14 (à droite) : Avec l'aimable autorisation de Öffentliche Kunstsammlung, Kupferstichkabinett, Basel. P. 16 : Chantal Nicolas-INRA. Pp. 20 à 23 : documents PLS. P. 24 : Funch et Kristensen/Nature. P. 26 : NASA/HST. P. 27 : document PLS. P. 28 : Christoph Zollikofer et Marcia Ponce de León, Institut d'anthropologie de l'Université de Zurich. P. 30 : Marc Théry. P. 32 : N. Pittet. Pp. 34 et 35 : Laurie Grace. P. 36 : Karl Gude. P. 38 : Katherine Lambert. P. 39 : Blanche/Gamma. P. 40 : Sichov/SIPA-Press. Pp. 42 et 43 : Suzanne Barnes. P. 44 (dessins) : Lisa Burnett. P. 44 (photographie) : avec l'aimable autorisation de Richard Weindruch. P. 45 : Richard Weindruch. P. 46 : Kirk Boehm, Wisconsin Regional Primate Research Center. P. 47 (en haut) : Tomo Narashima. P. 47 (en bas) : Dana Burns-Pizer. P. 48 : Karl Gude,

d'après Loy L. Walford, University of California, Los Angeles. P. 51 : Scot Hill. P. 52 : Jared Schneidman Design. P. 53 : Lisa Burnett. Pp. 54 et 55 : Lisa Braiman. P. 56 : Scot Hill. P. 59 : Slim Films. P. 60 (en haut) : Roberto Osti. P. 60 (en bas) : Örjan Ekeberg, Royal Institute of Technology, Stockholm. P. 61 : Roberto Osti. P. 61 (cartouche) : Tony Sica, Gamma Liaison. P. 63 : Carey Ballard. Pp. 66 et 67 : Volker Hinz. Pp. 68 et 69 : Roberto Osti. P. 70 : Dmitry Schidlovsky. P. 72 (à gauche) : Thomas Mayer, Das Fotoarchiv. P. 72 (à droite) : Jochen Tack, Das Fotoarchiv. P. 74 (à gauche) : Jet Propulsion Laboratory/National Aeronautics and Space Administration. P. 74 (Lune) : National Aeronautics and Space Administration. Pp. 74 et 75 (Vénus) : Jet Propulsion Laboratory/National Aeronautics and Space Administration. P. 75 (Terre) : Tom Van Sant, The Geosphere Project. Pp. 76 et 77 (en haut) : Jana Brenning. Pp. 77 (en bas) et 78 (en haut) : Michael Goodman. P. 78 (en bas) : National Aeronautics and Space Administration. P. 79 : Michael Goodman. P. 83 : PLS-PIX. Pp. 84 à 86 : documents PLS. P. 87 : Michel Hamon. Pp. 88 et 89 : documents PLS. Pp. 90 à 95 : Richard Ross. Pp. 96 et 97 : Johnny Johnson. Pp. 100 à 103 : document PLS. P. 106 : Michael Goodman. P. 107 : Cornell Laboratory of Ornithology. Pp. 108 et 109 : Jacques Ninio, École normale supérieure.

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 : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Marion Aguttes. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Monique Pouzol. Direction financière : Pierre Lecomte. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Fabienne Louis. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Laurent Benzoni, Denis Bezozzi, Philippe Bougnoux, Paloma Cabeza-Orcel, Paul Decaix, Évelyne Host-Platret, Marie-Thérèse Landousy, Éric Levin, Philippe Machetel, Anne Masé, Claude Olivier, Guy Paulus, Sabine Renous, Jacqueline Stern.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Renne. 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.

