

1, 2 et 4 se disputent, 6 est l'unique saut champion pour des nombres très grands. Toutefois, une propriété vérifiée pour des milliards d'entiers peut ne plus l'être pour d'autres. La surprise est là !

Les mathématiciens ont proposé un argument convaincant selon lequel, aux environs de $x = 1,7427 \times 10^{35}$, le titre de champion passe de 6 à 30. Ce titre échoirait à 210 pour x supérieur à 10^{425} .

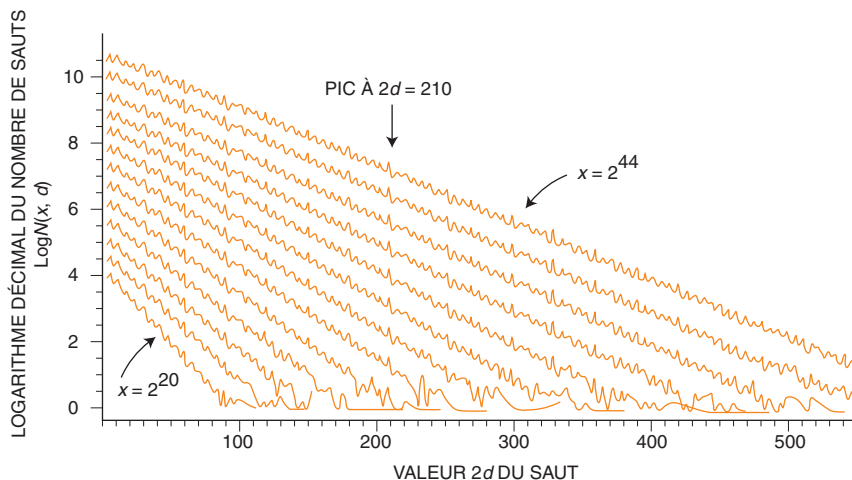
LA CONJECTURE DES NOMBRES PRIMORIAUX

À l'exception de 4, les factorisations des champions conjecturés s'inscrivent dans une élégante structure : $2 = 2$, $6 = 2 \times 3$, $30 = 2 \times 3 \times 5$, $210 = 2 \times 3 \times 5 \times 7$. Chacun d'eux est obtenu par la multiplication des premiers nombres premiers consécutifs. Ces nombres sont dits primoriaux – un mot valise entre *premier* et *factoriel* – et les suivants sont 2 310, 30 030 et 510 510. Dans leur article, A. Odlyzko et ses coauteurs proposent la conjecture des sauts champions : ce sont 4 et les nombres primoriaux.

Comment sont-ils parvenus à cette hypothèse ? Un examen de la suite des nombres premiers révèle que, parfois, deux d'entre eux sont des entiers impairs consécutifs, tels, par exemple, 5 et 7, 11 et 13, 17 et 19... La *Conjecture des nombres premiers jumeaux* énonce qu'il y a une infinité de tels couples. Elle est fondée sur la distribution aléatoire des nombres premiers au sein des nombres entiers impairs, avec une probabilité issue du *Théorème de répartition*. Cette hypothèse semble un non-sens – un entier est premier ou non, sans qu'il soit question de probabilité –, cependant, dans ce problème, il s'agit d'un non-sens raisonnable : la probabilité d'avoir un ensemble fini de nombres premiers jumeaux est nulle.

Trois nombres impairs consécutifs peuvent-ils être premiers ? Il n'y a qu'un seul exemple (3, 5, 7), car dans trois nombres impairs consécutifs, l'un d'entre eux est un multiple de trois. S'il est premier, c'est donc 3. Un tel argument ne s'applique pas aux triplets p , $p+2$, $p+6$ ou p , $p+4$, $p+6$ qui sont fréquents. Par exemple, 11, 13, 17 ou 41, 43, 47 sont du premier type et 7, 11, 13 ou 37, 41, 43 du second.

Dans les années 1920, les mathématiciens britanniques Godfrey Hardy et John Littlewood ont analysé les structures de ce type avec un grand nombre de nombres premiers. Avec un calcul de probabilités similaire à celui des nombres premiers jumeaux, ils ont établi une formule précise pour le nombre de suites de nombres premiers dotés d'une structure donnée de sauts. Cette formule est complexe, aussi ne la donnerais-je pas



2. Ce diagramme indique en fonction de x la fréquence des écarts entre deux nombres premiers consécutifs. Pour la première courbe, on a étudié les nombres premiers inférieurs à 2^{20} , puis on a calculé le nombre de fois où l'écart entre deux nombres premiers consécutifs était 2, puis 4, puis 6... Les courbes suivantes sont construites de la même façon pour $x = 2^{22}$, $x = 2^{24}$ jusqu'à $x = 2^{44}$. À mesure que x croît, un pic apparaît pour un écart $2d$ égal à 210. Il est conjecturé que ce pic finit par dépasser l'ordonnée du point de départ, c'est-à-dire que pour une certaine valeur (élevée) de x , l'écart le plus fréquent est 210.

ici ; vous la trouverez dans l'article cité précédemment.

Du travail de Hardy et Littlewood, A. Odlyzko et ses collègues ont déduit une formule pour $N(x, d)$, le nombre de sauts de valeur $2d$ entre des nombres premiers consécutifs inférieurs à x (nous préférons $2d$ à d pour signifier que les sauts sont pairs). Cette formule n'est estimée valide que lorsque $2d$ est grand et x bien plus grand encore. La figure 2 montre comment $\log N(x, d)$ varie selon $2d$ pour 13 valeurs de x de 2^{20} à 2^{44} (log désigne le logarithme en base 10). Chaque graphe est approximativement linéaire avec un très grand nombre de pics. L'un d'eux est particulièrement marqué, à $2d = 210$, le saut champion conjecturé pour x très grand (il serait encore plus marqué s'il n'était pas « écrasé » par le logarithme). Ce type de résultat indique que la formule de $N(x, d)$ est proche de la réalité.

Quand $2d$ s'approche de la valeur du saut champion, $N(x, d)$ est nécessairement très grand. La meilleure situa-

tion qui s'accorde avec cette idée est lorsque $2d$ a de nombreux facteurs premiers distincts. De plus, $2d$ doit être aussi petit que possible, aussi, les choix les plus plausibles pour $2d$ sont-ils les primoriaux. Le saut champion 4 est vraisemblablement une exception. Par ailleurs, il apparaît à des tailles pour lesquelles la formule $N(x, d)$ n'est pas une bonne approximation. La formule donne le résultat lorsqu'un primordial donné prend le dessus sur le précédent comme nouveau saut champion.

Que reste-t-il à faire pour les mathématiciens ? Prouver la conjecture des sauts champions, bien sûr – ou la réfuter. Si vous n'envisagez ni l'un ni l'autre, essayez de trouver d'autres propriétés des sauts champions entre des nombres premiers successifs. Par exemple, quel est le saut le moins fréquent entre les nombres premiers consécutifs inférieurs à x ? Quel saut apparaît le plus proche du nombre moyen de fois ? Pour ce que j'en sais, ces questions restent ouvertes, et ce, même pour de petites valeurs de x .

Réactions

Dans mon récent article *Paradoxes perdus et retrouvés* (voir *Pour la science*, août 2000), j'indiquais que le paradoxe du contrôle surprise résulte d'une interprétation déraisonnable du mot surprise et, qu'en définitive, ce n'est pas un paradoxe du tout.

Plusieurs lecteurs ont attiré mon attention sur un article intitulé *Surprise maximization* dans *American Mathematical Monthly* (vol. 107, n° 6, juin-juillet 2000). Les auteurs définissent une mesure de la surprise et examinent quelle stratégie doit adopter le professeur pour maximiser la surprise des étudiants. Leur conclusion est que pour choisir le jour de la semaine, il doit utiliser une distribution de probabilité qui reste quasi constante au début de la semaine pour croître rapidement sur la fin. Selon cette stratégie, il choisira plus souvent le vendredi.



La poussée d'Archimède

ROLAND LEHOUCQ • JEAN-MICHEL COURTY

Formulée il y a plus de 2 200 ans, la loi d'Archimède est simple, mais ses applications sont souvent plus subtiles qu'il n'y paraît.

Hiéron, roi de Syracuse (–265 à –215), soupçonna un jour son orfèvre de l'avoir volé. L'artisan avait-il remplacé par de l'argent une partie de l'or fourni pour fabriquer la couronne du roi? Hiéron demanda à son ami Archimède de vérifier quelle proportion d'argent contenait l'ornement royal. Le grand géomètre chercha à évaluer le volume de la couronne et sa densité. Toutefois, la forme compliquée de la couronne interdisait tout calcul simple. La légende veut qu'Archimède prit un bain pour réfléchir, et qu'il remarqua que la baignoire débordait quand il y entrait. Il comprit alors que l'immersion d'un corps déplace une quantité d'eau équivalente à son volume. Il se serait alors élancé nu dans la rue en criant *Eureka!*

Archimède formula ainsi ce qu'il avait observé : tout corps plongé dans un liquide subit une poussée verticale dirigée vers le haut et égale au poids du volume de liquide déplacé. Hiéron serait satisfait! Pour déterminer la densité de la couronne par rapport à celle de l'eau, il lui suffisait de mesurer la diminution de son poids apparent dans l'eau. Imaginons les mesures qu'Archimède réalisa pour satisfaire le roi. Sans doute commença-t-il par peser la couronne en la suspendant sous le plateau d'une

balance. Puis, il répéta l'opération en immergeant la couronne dans l'eau. Pour rétablir l'équilibre, Archimède dut retirer des poids du plateau opposé à celui qui soutenait la couronne. Il calcula ensuite la densité du métal en faisant le rapport entre le poids de la couronne du roi et le poids retiré du plateau. Archimède répéta ensuite cette opération avec un lingot d'or, afin de comparer la densité de la couronne à celle de l'or pur.

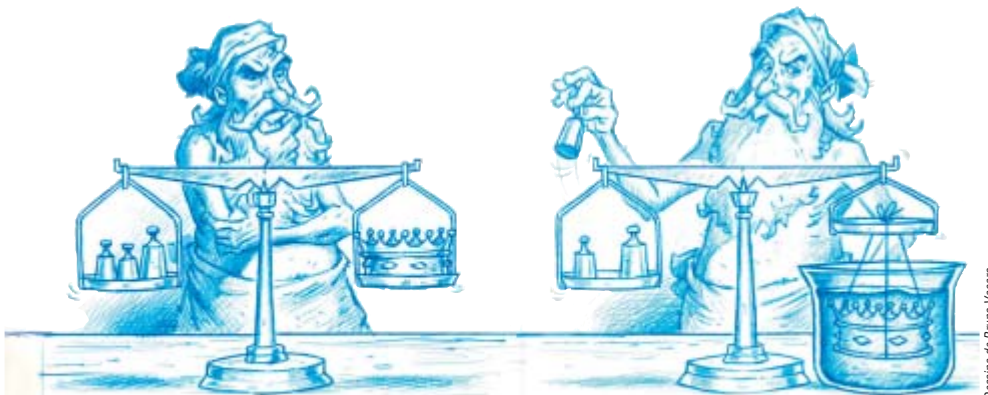
ARCHIMÈDE ET LA PRESSION

Pourquoi la poussée d'Archimède est-elle toujours dirigée vers le haut et égale au poids du volume du liquide déplacé? Quand la pression qui règne dans un fluide est uniforme, la résultante des forces qui s'exercent à la surface d'un volume de forme quelconque est nulle. En revanche, au sein d'un fluide placé à la surface de la Terre, la pression n'est pas uniforme, mais croît avec la profondeur à cause de la gravité. Dans les océans, par exemple, la pression augmente de l'équivalent d'une fois la pression atmosphérique tous les dix mètres (quelque 10^5 pascals). La force d'Archimède est verticale, car elle résulte de la différence entre les pressions qui

règnent à des altitudes variées au sein du fluide. Examinons le cas d'un tube cylindrique immergé en position verticale. Un tel tube est symétrique : les forces de pression qui agissent sur la partie verticale de sa surface se compensent exactement : dans chaque plan horizontal, la résultante des forces qui s'exercent sur le corps immergé est nulle. En revanche, la pression que subit le tube sur sa face inférieure est plus grande que celle qui s'exerce sur sa face supérieure. Dirigée vers le haut, la résultante des forces de pression – la poussée d'Archimède – est la même que celle que le fluide exercerait sur une « colonne d'eau » occupant le même volume. Une telle colonne d'eau est en équilibre, puisqu'elle est immergée dans... de l'eau. Son poids contrebalance exactement la poussée d'Archimède : cette dernière est égale au poids de la colonne d'eau, c'est-à-dire au « poids du volume du liquide déplacé ». On généralise ce raisonnement à des objets de formes quelconques.

Valable au sein des liquides, la loi d'Archimède s'applique à n'importe quel gaz soumis à l'attraction gravitationnelle terrestre. Ainsi, comme dans l'eau, la pression atmosphérique diminue dans l'air, avec l'altitude, mais beaucoup plus lentement. Un objet placé dans l'air subit aussi une poussée d'Archimède, car il déplace un volume d'air. Celle-ci est environ 1 000 fois inférieure à celle qui règne dans l'eau, car l'air est 1 000 fois moins dense que l'eau. C'est pourquoi en dehors de l'étude des aérostats et autres montgolfières, il est courant de négliger la force d'Archimède exercée par l'air.

Un objet dont la poussée d'Archimède compense le poids semble être en impesanteur. Dans la mer, il flotte entre deux eaux. Ce type d'équilibre est utilisé, par exemple, pour entraîner les astronautes aux manœuvres dans l'espace. On les immerge avec leur scaphandre dans une piscine, de sorte que la force Archimède les maintient en suspension. Toutefois, contrairement à la pesantur, la force d'Archimède n'agit pas sur l'oreille interne, qui contrôle l'équilibre. Les astronautes



Archimède voulait connaître la densité de la couronne royale. Sans doute a-t-il d'abord pesé la couronne (à gauche). Puis, il a plongé la couronne dans de l'eau (à droite). L'eau exerce une force dirigée vers le haut qui déséquilibre la balance. Pour la redresser, on doit enlever un poids égal à celui du volume d'eau déplacé : ici le volume v de la couronne, multiplié par la masse volumique de l'eau, égale à un gramme par centimètre cube (soit $\rho_{\text{eau}} v$). Or le poids total de la couronne est égal à son volume v , multiplié par la masse volumique de l'alliage dont elle est faite (soit $\rho_{\text{alliage}} v$). Le rapport de ces deux résultats donne le rapport des deux masses volumiques, c'est-à-dire la densité de l'alliage.

Dessins de Bruno Vacaro

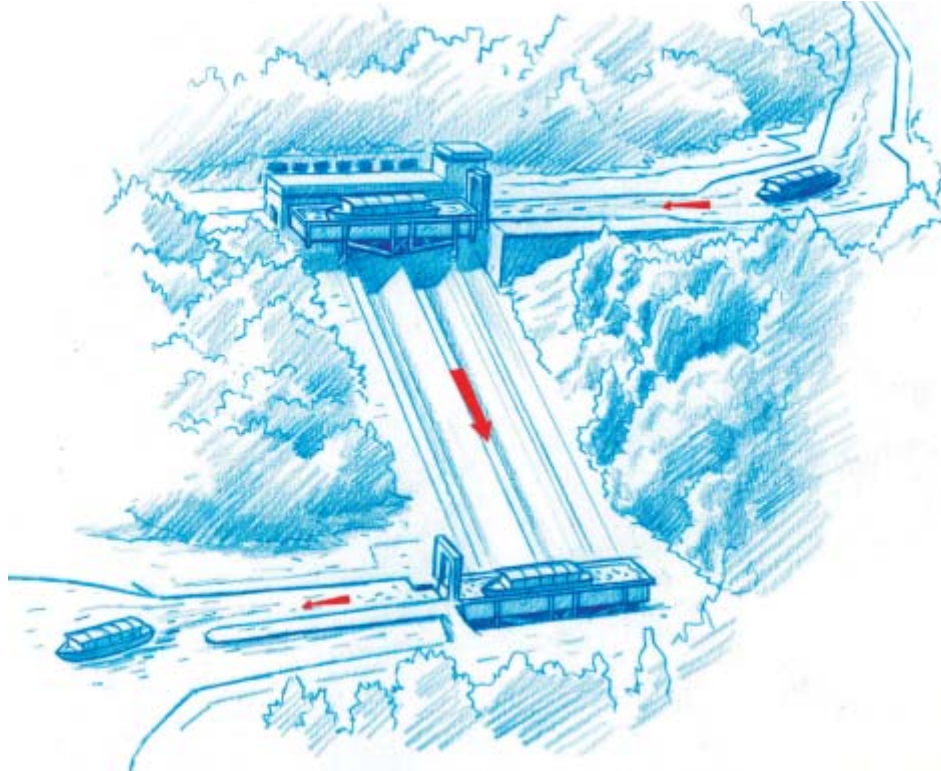
à l'entraînement dans une piscine contiennent donc à distinguer le haut du bas. Dans l'espace, au contraire, il n'y a plus ni haut ni bas.

La possibilité de modifier le poids apparent dans l'eau est essentielle dans un sous-marin. Pour le faire remonter à la surface ou le faire plonger, les sous-mariniers contrôlent l'intensité du poids apparent de leur bâtiment en vidant ou remplissant les réservoirs de plongée (les ballasts), qui se trouvent entre la coque intérieure et la coque extérieure du bâtiment. Le sous-marin français *Le Triomphant*, par exemple (138 mètres de longueur), déplace 14 300 tonnes d'eau en plongée. Pour le faire remonter à la surface, il faut évacuer plus de 1 700 tonnes de l'eau contenue dans les ballasts et les remplacer par de l'air. Quand la masse du *Le Triomphant* diminue de cette quantité, la poussée d'Archimède qu'il subit excède son poids. Le sous-marin devient alors... un bateau.

UN ASCENSEUR À BATEAUX

Bien que les navires modernes aient une structure en métal, bien plus dense que l'eau, leur densité moyenne est faible, car ils contiennent de l'air dans leurs cales. Le niveau de flottaison de ces bateaux d'acier varie en fonction de leurs charges. Ceci pose des difficultés de stabilité aux cargos, souvent instables à vide. Trop hauts sur l'eau, ils offrent une grande prise au vent et aux vagues ; sur certains navires, il arrive même que l'hélice sorte de l'eau ! Les marins rétablissent la stabilité de leur bâtiment en lestant les cales avec de l'eau. Ils en introduisent parfois jusqu'à 80 000 tonnes ! Nommée «ballastage», cette opération est nécessaire quasiment à chaque voyage. Il arrive ainsi qu'un cargo plein doive transporter 40 pour cent de sa charge non marchande sous la forme d'eau de ballast. Une proportion qui augmente si le mauvais temps impose une meilleure stabilité. Le ballastage a de nombreux inconvénients pour l'environnement : au cours de la vidange des cales, les déchets et les restes de produits chimiques qu'elles contenaient, voire des hydrocarbures, sont rejetés à la mer de façon incontrôlée. De surcroît, l'eau de ballast transporte des espèces marines. Lors d'une vidange, une espèce étrangère, provenant d'un autre océan, risque d'être rejetée à la mer. Des algues tropicales, par exemple, risquent de proliférer au détriment d'espèces locales.

La ligne de flottaison d'un navire dépend aussi de la densité et de la température de l'eau. Ainsi, même si la mer



Le «plan incliné» est un ascenseur à bateaux situé à Saint-Louis-Arzviller en Lorraine. Unique en son genre en Europe, il remplace à lui seul 17 écluses. Un bassin a été conçu pour contenir 900 tonnes d'eau. Des moteurs et des contrepoids le font descendre ou monter sur le plan incliné. Quand un bateau pénètre dans le bassin mobile, il chasse une masse d'eau équivalente au poids du volume immergé, de sorte que la masse du bassin mobile reste constante. Une péniche descend ou monte ainsi 44 mètres en quatre minutes.

Noire et la mer Méditerranée sont connectées, leurs salinités sont différentes. Tandis qu'un litre d'eau de la Méditerranée contient 38 grammes de sel, le même volume d'eau de la mer Noire n'en contient que 18 grammes. À température égale (à 20 °C, par exemple), cette différence de salinité fait varier la poussée d'Archimède de 1,5 pour cent. Quand un navire quitte la Méditerranée et pénètre en mer Noire, il s'enfonce jusqu'à ce que son volume immergé ait augmenté de 1,5 pour cent. Si, poursuivant sa route, il remonte le Danube, son volume immergé augmente encore de 1,5 pour cent. En fonction de la charge du navire et de son tirant d'eau, une telle variation risque d'être problématique. C'est pourquoi des règles internationales imposent que les niveaux de flottaison en eau douce ou en mer figurent clairement sur les flancs des navires.

Si elle fait flotter les bateaux, la poussée d'Archimède sert aussi à les soulever. Cette application est mise en œuvre dans le «plan incliné», l'ascenseur à bateaux de Saint-Louis-Arzviller en Lorraine. Dans cette installation, les péniches sont non seulement soulevées, mais les écluses qui les contiennent également ! Quand le «bassin» est en position haute, l'une de ses extrémités s'ouvre pour permettre au bateau d'entrer. La péniche pénètre dans l'écluse transportable, et une quantité d'eau correspondant au volume qu'elle

déplace quitte le bassin vers le canal. Or, d'après la loi d'Archimède, le poids de cette eau sortante équivaut au poids du volume immergé. Ainsi, l'écluse mobile pèse 900 tonnes, qu'elle contienne ou non un bateau ! Grâce à cette régulation automatique du poids de l'écluse, les moteurs et les contrepoids ont été dimensionnés une fois pour toutes, c'est-à-dire pour tous les bateaux. Couchées sur le plan incliné à 22 degrés de l'ascenseur, deux masses de 450 tonnes contrebalancent le poids de l'écluse mobile. Comme dans un ascenseur classique, elles glissent vers le haut ou vers le bas au bout de leurs câbles en fonction du mouvement nécessaire. À la montée, les moteurs n'ont qu'à vaincre les forces de frottement. À la descente, ils ne servent qu'à contrôler un mouvement naturel dû à un léger excès d'eau que l'on a introduit dans le bassin. En quatre minutes, le plan incliné transporte ainsi une péniche sur un dénivelé de 44 mètres.

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA. Jean-Michel COURT, chargé de recherche au CNRS, travaille au Laboratoire Kastler-Brossel (CNRS, ENS).

La mécanique, exposé historique et critique de son développement, Ernst Mach, A. Hermann, 1904, réédition J. Gabay 1987.

Linguistique

Des singes et des hommes

Francis Kaplan.
Éditions Le Pommier, 2001
(320 pages, 130 francs).

La publication du génome humain vient de donner une mesure de la proximité de l'homme et de l'animal : l'homme a 30 000 gènes et le ver *Caenorhabditis elegans* 20 000. L'écart avec les grands mammifères est encore plus réduit. La différence génétique entre l'homme et les primates, très faible, justifie que l'on se pose la question des ressemblances de comportement, puisque la question de la ressemblance physique ne se pose pas.

De nombreuses anecdotes illustrent les capacités affectives et cognitives d'espèces aussi variées que la baleine et la fourmi. Les études éthologiques en montrent d'autres. Sans nier les différences entre l'homme et l'animal, les faits qui témoignent de leur ressemblance s'accumulent. Bien sûr, le langage reste l'une des différences les plus évidentes qui distingue l'homme de l'animal. Mais si l'on remplace l'assertion *Les animaux parlent* par *Les animaux communiquent*, il ne fait plus aucun doute que de nombreuses espèces d'animaux sont concernées. Récemment, des expériences d'enseignement d'un langage de signes pour sourds-muets à des primates ont montré que ces derniers auraient des facultés linguistiques. Dans cet ouvrage, Francis Kaplan examine à nouveau cette question. Son point de vue est avant tout philosophique : le langage permet des activités intellectuelles supérieures qui vont au-delà des facultés cognitives de base de la communication. Pour F. Kaplan,

la différence entre l'homme et les animaux réside dans la possibilité de rapporter des expériences, de confier des états d'âme ou d'avoir des comportements esthétiques et moraux. Par contraste, on signalera une autre discussion sur la même question, publiée par Jean Adolphe Rondal (*Le langage : de l'animal aux origines du langage humain*. Éditions Pierre Mardaga, 2000). Cet auteur, psycholinguiste, décrit les expériences d'enseignement du langage et leurs interprétations, dans le but d'aborder une autre question : la genèse de la langue chez l'homme.

Dans toutes ces discussions, le langage des animaux se mesure à celui de l'homme. Cette évaluation s'appuie sur les connaissances dont on dispose sur le langage humain, qui sont encore bien minces : les ouvrages de linguistique sont presque tous des ouvrages philosophiques, spéculatifs et donc tous controversés. Les deux auteurs se fondent sur de tels débats, et leurs argumentations et leurs conclusions apparaissent bien abstraites. Or, l'une des caractéristiques des langues humaines est leur immense «taille», ce qu'aucune théorie ne prend en compte. La taille des dictionnaires donne une idée de la variété et du nombre des mots d'une langue. Le vocabulaire maîtrisé par une personne éduquée est évalué à 50 000 mots simples et composés. Un ordinateur puissant devrait passer des heures pour analyser une phrase courante, ce qui laisse imaginer la complexité des assemblages de mots. Or, dans les expériences les plus avancées sur les chimpanzés, le vocabulaire enseigné à Sarah par l'Américain David Premack ne dépasse pas la trentaine d'éléments. Washoe aurait appris une bonne centaine de signes ASL (*l'American Sign Language* des sourds-muets).

Certes, les animaux possèdent une mémoire remarquable. Toutefois, la mémoire linguistique me semble être d'une nature spécifique. L'enfant ou l'adulte

qui mémorise le vocabulaire et les constructions de sa langue le fait inconsciemment, sans aucun effort. Cette acquisition n'a rien à voir avec les exercices scolaires de mémorisation de dates historiques ou des départements français. D'ailleurs, la taille de telles listes est négligeable par rapport à celle du vocabulaire d'une grande personne. Cette mémoire spécifique distingue l'homme des animaux. La taille de la langue me semble être le facteur essentiel de la distinction entre l'homme et les animaux. Les conséquences sont multiples. En particulier, le besoin de conserver et de transmettre cette mémoire conduit à l'invention de l'écriture, le plus puissant moyen de conservation de la mémoire humaine. Les capacités supérieures de l'homme, qu'elles soient scientifiques, morales ou autres, découlent de la conservation des expériences des générations successives. La science et la technique proviennent de l'accumulation de connaissances. Il en va de même pour l'organisation politique et sociale de l'homme, même si l'expérience lui en a moins appris dans ces domaines.

Sans écriture, les animaux ne peuvent pas développer de telles organisations, du moins au même degré. J'accepte pourtant l'interprétation optimiste selon laquelle la disposition de carrés en plastique, illustrés de symboles, constitue une écriture et que les chimpanzés pourraient être capables de s'en servir pour communiquer. Je suis aussi persuadé que les animaux sont capables de transmettre des connaissances qu'ils ont élaborées. Georges Millot, vétérinaire à Carignan (Ardennes), m'en a convaincu. À l'occasion d'une panique alimentaire, les Italiens ont cessé d'acheter des veaux à la France. Les éleveurs français, obligés de stocker leurs animaux, les sortaient de leurs batteries et les emmenaient aux champs. Mon ami vétérinaire était alors appelé pour des empoisonnements de veaux. Il en détermina la cause : les veaux avaient brouté de la digitale. Il se souvint alors que, lorsque les veaux étaient élevés avec leur mère et qu'un veau s'approchait de la dangereuse digitale, la mère accourait et lui donnait des coups de tête pour l'en éloigner. D'autres comportements, où une mère protège ses petits de prédateurs, mettent en jeu une mémorisation et une transmission d'expériences. Je pense que ces comportements ne se distinguent des activités supérieures de l'homme que par des facteurs d'échelle. L'ampleur de la différence me semble être la conséquence directe de l'énorme capacité linguistique de l'homme, et pas tellement de sa particularité.

Maurice GROSS, Laboratoire
d'automatique documentaire
et linguistique
(Université de Marne-la-Vallée).



Gerry Ellis. ENP Images

Communication, apprentissage et organisation : qu'est-ce qui distingue au fond l'homme du singe ?

Les milieux désertiques

Jean Demangeot et Edmond Bernus.
Éditions Armand Colin, 2001
(295 pages, 150 francs).

Le livre, écrit par deux géographes, se présente comme une synthèse de nos connaissances sur les déserts du monde et sur les rapports que les hommes entretiennent avec eux. L'aridité caractérise les déserts et provient d'un déficit en eau qui s'explique, certes, par une insuffisance des précipitations, mais aussi par des pertes considérables que provoque la très forte évaporation. À cet égard, les déserts chauds toute l'année, comme ceux qui s'étendent dans les latitudes subtropicales, sont plus défavorisés que ceux de la zone tempérée qui connaissent un hiver froid. Les causes de l'aridité sont, soit atmosphériques, quand elle est liée à des hautes pressions permanentes et à des vents desséchants – cas du Sahara –, soit géographiques, lorsqu'elle est due à la continentalité – cas de l'Asie centrale – ou à l'abri d'un relief s'opposant à l'arrivée de vents humides – cas de la Patagonie. Le désert d'Atacama, au Chili, le plus aride du monde (la moyenne pluviométrique annuelle d'Arica est de un millimètre), combine les unes et les autres.

L'aridité s'exprime dans les paysages, dans la végétation rare et discontinue dans les vrais déserts, et celle de type steppique dans les semi-déserts. Elle est aussi illustrée par une hydrographie réduite et désorganisée, représentée par des cours d'eau fantasques, à sec la plus grande partie de l'année, mais qui subissent de temps à autre des crues démesurées. L'aridité donne au vent le premier rôle d'agent d'érosion et de construction et il engendre des formes topographiques originales : de vastes étendues couvertes de dunes, dont les aspects variés sont illustrés dans le livre par des croquis à la plume, malheureusement trop souvent sans échelle. Le vent creuse aussi des cuvettes étendues dont le fond, couvert de croûtes de sel, se trouve parfois aujourd'hui au-dessous du niveau de la mer, comme dans une partie des grandes dépressions fermées, connues sous le nom de chotts, qui s'étendent dans le bas Sahara algéro-tunisien. Les auteurs auraient pu rappeler que, parce qu'elles sont séparées de la Méditerranée seulement par l'isthme de Gabès, bas et étroit, certains avaient voulu y voir, à tort, les vestiges d'une ancienne mer saharienne,

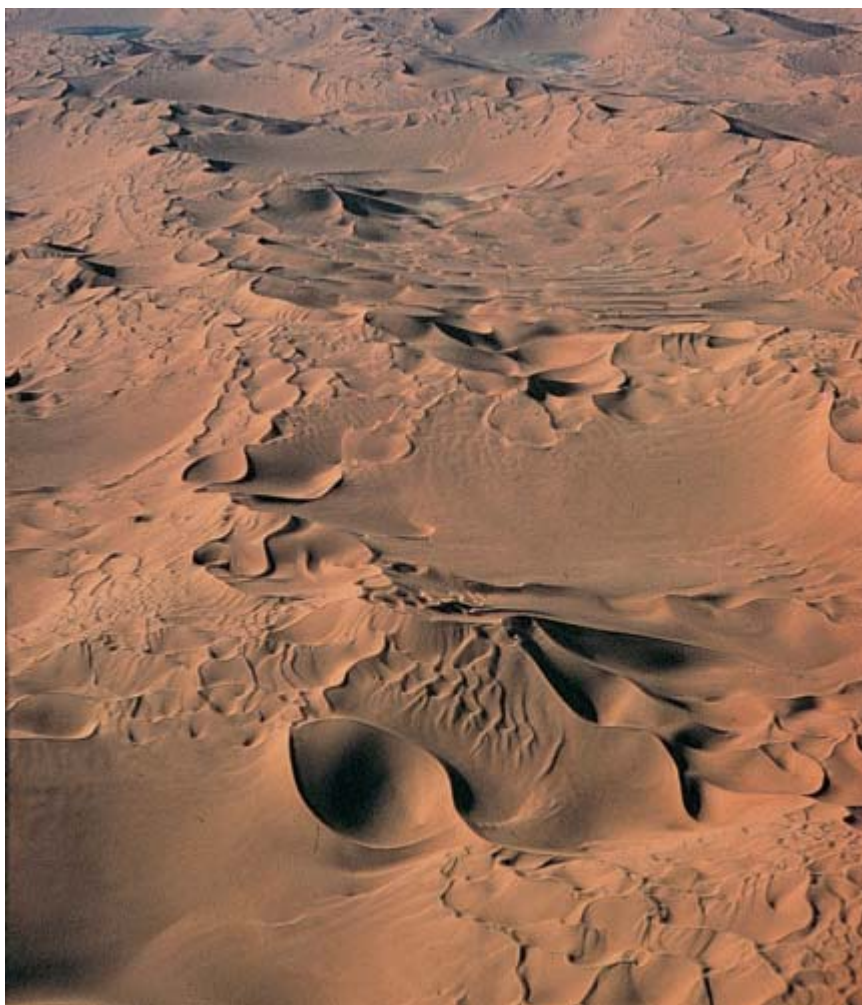
qui aurait existé dans l'Antiquité sous le nom de lac Triton. Cette vue erronée fut à l'origine, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, d'un projet utopique de remise en eau auquel le commandant Roudaire, officier français des Brigades topographiques, associa son nom et qui, curieusement, resurgit régulièrement.

En bonne géographie, le dernier chapitre du livre évoque les rapports que l'homme entretient avec les déserts. Au même titre que les plantes et les animaux, les sociétés subissent fortement le poids de l'environnement aride. Cependant, elles l'ont utilisé au mieux, en développant des techniques frustes, mais adaptées à un milieu hostile. Traditionnellement, la vie sédentaire se concentrait dans les oasis, tandis que le nomadisme et le commerce caravanier caractérisaient les vastes espaces arides. Sans se dégager des contraintes naturelles, les entreprises modernes (extension des cultures, irrigations...) ont apporté d'importantes transformations qui, le plus souvent, ne vont pas dans le sens d'un développement durable. La désertification qui affecte les marges des grands déserts en est l'inquiétante illustration.

Le problème de l'origine de la désertification contemporaine, fondamentalement due aux hommes, conduit à parler des changements climatiques naturels – alternances d'époques de pluviosité accrue et d'époques de sécheresse – que les régions, aujourd'hui arides, ont connu au cours du Quaternaire récent et, en particulier, au cours des derniers millénaires. On regrette ici que les références bibliographiques sur lesquelles s'appuient les auteurs ne fassent pas état des travaux les plus récents, en particulier ceux de Nicole Petit-Maire, qui a étudié les importantes variations climatiques sur les quelque 15 000 dernières années au Sahara. À propos de paléoclimatologie, qualifier le désert chilo-péruvien de désert «jeune» est une erreur, car c'est probablement le plus ancien de la planète, puisque tout indique qu'il existait dès le Miocène, soit il y a environ 20 millions d'années !

Au-delà du public étudiant auquel il est d'abord destiné, le livre devrait aussi intéresser le plus large public de ceux, et ils sont nombreux, que les déserts fascinent.

Roland PASKOFF



Le relief des déserts est modelé par les vents. Ici, une vaste étendue de dunes au Sahara.

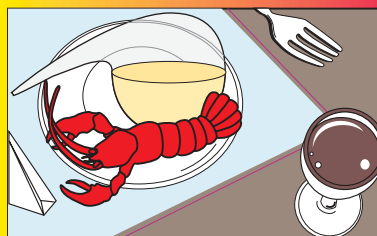
Pierre Boilat/Cosmos

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 25 juin 2001.



Paléontologie

Le développement de la paléontologie contemporaine

Cédric Grimoult. Librairie Droz,
Genève, 2000
(240 pages, 277 francs).

Le titre de ce livre ne donne pas une idée exacte de son contenu. D'une part, l'ouvrage examine le développement de la paléontologie seulement en France et dans les pays francophones ; or, à bien des égards, les évolutions furent différentes dans les pays anglophones et en Allemagne, par exemple. Toutefois, le développement de la paléontologie française a été peu étudié, ce qui justifie qu'on y consacre un livre. D'autre part, l'auteur s'intéresse au développement des idées à propos de l'origine et de la transformation des espèces. Ce thème est central en paléontologie, mais ce n'est pas le seul ; il serait très réducteur de croire que le problème du «transformisme» (pour employer un terme bien français) épuise la question de l'histoire de la paléontologie.

Cela dit, le livre de Cédric Grimoult résulte d'un important travail de recherche. L'auteur a puisé dans de très nombreuses publications, parfois assez obscures ou oubliées, des indications sur la position d'un grand nombre de paléontologues face à la question de l'évolution, du début du XIX^e siècle jusqu'à nos jours. Le constat qu'il établit, sans être nouveau, est bien argumenté et sans appel : en France, l'acceptation du darwinisme (au sens propre du terme, c'est-à-dire la sélection naturelle de variations aléatoires) fut difficile et tardive. Les paléontologues français n'étaient pas réticents vis-à-vis du transformisme : après tout, dès les années 1820, Geoffroy Saint-Hilaire voyait dans certaines espèces fossiles les ancêtres possibles d'animaux actuels. Plus tard, après la parution en 1859 de *l'Origine des espèces*, de Charles Darwin, l'adhésion à l'évolutionnisme de paléontologues français éminents, tels qu'Albert Gaudry ou Gaston de Saporta, fut rapide. Toutefois, comme le remarque C. Grimoult, certains, à cette époque, se proclamaient darwinistes tout en rejetant les mécanismes évolutifs proposés par Darwin, établissant ainsi une synonymie abusive entre transformisme et darwinisme.

Ce livre montre l'acharnement de nombreux paléontologues français à trouver des «lois» de l'évolution. Ils ne furent d'ailleurs pas les seuls, mais ils persistèrent dans cette voie... et ils n'ont pas fini de le faire, si on en juge par une étonnante «loi fractale de l'évolution» proposée en 1999. L'attachement à l'hérédité des caractères acquis, en dépit des réfutations expérimentales (qui remontent aux travaux de Weismann, en 1883), est un autre trait marquant de la pensée évolutionniste de bien des paléontologues français, jusqu'à une date très récente. Ce dernier aspect s'explique sans doute par un culte posthume et un peu chauvin de Lamarck. Or le néo-lamarckisme n'est pas incompatible avec le finalisme : Lamarck croyait à une tendance générale au progrès chez les êtres vivants, que de nombreux paléontologues français ont reprise à leur compte.

Reste cependant à expliquer ces particularités de la pensée transformiste des paléontologues français (partagées d'ailleurs par nombre de biologistes). C. Grimoult apporte quelques réponses. Dans certains cas, des convictions religieuses ont joué un rôle. Albert Gaudry fut un des premiers paléontologues français à se déclarer transformiste après la parution de l'œuvre de Darwin, mais sa vision d'une évolution harmonieuse guidée par la divine Providence ne pouvait guère s'accommoder de la «lutte pour l'existence» darwinienne. Le cas ultérieur de Pierre Teilhard de Chardin et de ses disciples actuels est sans doute encore plus flagrant. Il serait intéressant de comparer de façon plus approfondie la situation française à celle d'autres pays.

Le livre de C. Grimoult contient quelques erreurs. Par exemple, le paléontologue Armand Thevenin ne mourut pas au front en 1918, mais à la suite d'expériences sur les gaz de combat. De façon plus gênante, l'auteur ne peut se retenir de porter des jugements *a posteriori*, le plus souvent négatifs, et parfois un peu abusifs, sur les opinions des paléontologues qu'il évoque, ce qui devient vite agaçant pour le lecteur habitué à un genre plus neutre (et d'autant plus efficace) d'histoire des sciences. En 1847, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire plaçait en épigraphe à la biographie de son père Étienne cette phrase de Goethe : «Je ne juge pas ; je raconte.» Je regrette que C. Grimoult n'ait pas suivi davantage cette ligne de conduite. Pour juger ainsi les chercheurs du passé (et aussi du présent), il prend parfois des positions discutables, comme lorsqu'il critique l'usage, fréquent aujourd'hui, du terme «contraintes» (environnementales ou de développement). Le livre aurait certainement gagné à moins

de condescendance à l'égard des idées des chercheurs d'autrefois et d'aujourd'hui, et à des tentatives plus approfondies pour comprendre les raisons de leurs positions. Il reste que c'est une contribution utile à l'étude d'une question intéressante, celle de l'évolution de l'évolutionnisme en France, qui devrait susciter des recherches ultérieures pour mieux en comprendre les singularités.

Eric BUFFETAUT

Physique

La symétrie dans tous ses états

Henri Bacri. Éditions Vuibert, 2000 (448 pages, 289 francs).

Henri Bacri est un physicien reconnu. Quand il écrit un livre sur la symétrie, on suppose qu'il l'écrit en scientifique, c'est-à-dire qu'il considère son objet d'étude avec un regard extérieur et se propose d'en démontrer les mécanismes. Quand on sait que c'est un physicien des particules élémentaires, on craint de ne pas échapper aux «symétries de jauge» présentes dans les théories des champs, et que la lecture risque de devenir pénible. Or, pour notre soulagement, le terme de symétrie de jauge n'est pas mentionné une seule fois dans l'ouvrage. L'auteur nous convie en fait à une promenade à l'intérieur de l'univers des symétries, à l'instar de l'Alice de Lewis Carroll qui passe à travers son miroir, et cette promenade entre art, science et histoire, devient jubilatoire grâce à la très vaste culture de l'auteur.

Le parcours est plein d'imprévus. Il commence par une œuvre du peintre Dürer, dont on se demande quel est le rapport avec la symétrie. Ce tableau représente, certes, une sphère et un polyèdre, mais c'est pour mieux nous tromper : ce tableau ignore superbement les règles de la géométrie perspective. Il représente ainsi une échelle qui échappe aux lois qui régissent notre monde ici-bas et s'élève jusqu'à la connaissance divine : c'est l'échelle de Jacob, qui reliait la Terre à Dieu et qui est apparue à Jacob, le dernier des patriarches bibliques, lors d'un songe. L'analyse du tableau nous montre que la symétrie ne saurait s'imaginer ni sans son antonyme, l'asymétrie, qui désigne l'absence de symétrie, ni sans la dissymétrie, une notion plus subtile qui fait référence à un écart par rapport à une symétrie sous-jacente ou supposée.



Sandrine Delépine

Symétries, asymétries, dissymétries dans la nature, l'art et les sciences.

De toutes les symétries, H. Bacri privilégie la symétrie la plus simple, la symétrie binaire droite-gauche, dont il souligne qu'elle pénètre au plus profond de notre fonctionnement psychologique. L'auteur montre qu'il faut s'en méfier. Par exemple, un argument fondé sur une symétrie binaire apparente réussit parfois à convaincre, alors que la symétrie de la situation n'est qu'un artefact. H. Bacri donne l'exemple d'une campagne de publicité destinée à défendre l'industrie du tabac. En préambule, il y est dit : *Soyons tolérants. Fumeurs, non-fumeurs, la liberté c'est réciproque et Non-fumeurs, vous êtes libres de ne pas fumer. Nous, libres de fumer.* La symétrie est établie entre fumeurs et non-fumeurs et semble un garant de la liberté individuelle. Pourtant, si on fait agir la symétrie entre fumeurs et non-fumeurs sur un autre argument de cette campagne : *Fumer, c'est d'abord ouvrir le dialogue. Avant d'allumer cigarette, cigare ou pipe, assurons-nous que cela ne dérange pas, cela donne : Ne pas fumer c'est d'abord ouvrir le dialogue. Assurons-nous que ne pas allumer cigarette, cigare ou pipe ne dérange pas,* et l'on constate le caractère fallacieux de l'argument.

L'auteur poursuit en évoquant les ques-

tions d'éthique. Thémis, la déesse grecque de la justice, représentée tenant une balance dont le fléau, en parfait équilibre, est le symbole de l'impartialité de la justice pour les justiciables ; la symétrie de cette balance contribue au symbolisme. Le jugement de Salomon est l'occasion pour l'auteur d'introduire la notion de «brisure de symétrie». Par exemple, un bâton posé sur sa pointe a une symétrie cylindrique. Elle est perdue, ou encore brisée, lorsque le bâton chute en «choisissant» une direction particulière. L'auteur poursuit en évoquant la symétrie dans les diverses formes de l'art, la musique, la poésie, la peinture, l'architecture... Le lecteur est étonné par la maîtrise et les connaissances dont l'auteur fait preuve dans ces domaines très divers. Peut-être, cependant, aura-t-il l'impression que H. Bacri se laisse parfois déborder par son sujet et que son élan l'emporte en dehors de l'univers de la symétrie. La justification de l'insertion de certains thèmes devient parfois un peu acrobatique. Ainsi, l'auteur nous parle des nombres, des infinis, des tapis de Sierpinski (ces motifs géométriques plans sont tels qu'ils paraissent inchangés lorsqu'on les examine sous divers grossissements), etc. Pour justifier