

NOUVEAUX DISQUES DURS • SOLIDES COULANTS • RHINOCÉROS GÉANT • PETITES PLANÈTES



Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Juillet 2000

édition française de

www.pourlascience.com

SCIENTIFIC
AMERICAN

*Le noyau
de Jupiter
recréé en
laboratoire*

L'hydrogène
métallique

M 2687 - 273 - 38,00 F



Canada : \$ 8,75 / Belgique : 277FB / Suisse : 11FS

BLOC-NOTES

de Didier Nordon

TRIBUNE DES LECTEURS

JEU-CONCOURS

Dynamique de grimpeurs

par Pierre Tougne

POINT DE VUE

Grilles de calcul

par Guy Wormser

PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

La vaccination anti-pestéuse

par Fabienne Lemarchand-Copreaux



SCIENCE ET GASTRONOMIE

De l'herbe au fromage

par Hervé This



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

■ L'obsidienne cachée... ■ Mâles trompés

■ Les problèmes du XXI^e siècle ■ Des villes englouties

■ Le morse du manchot ■ La forêt en danger ■ Masse confirmée

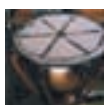
■ La santé du monde



VISIONS MATHÉMATIQUES

La logique des pirates féroces

par Ian Stewart



LOGIQUE ET CALCUL

La musique en images

par Christoph Pöppe



IDÉES DE PHYSIQUE

Promenade en voiture

par Roland Lehoucq



ANALYSES DE LIVRES

■ *Hydrodynamique physique. Problèmes résolus avec rappels de cours*, de Marc Fermigier

■ *Marcelin Berthelot, un savant engagé*, de Daniel Langlois-Berthelot

■ *Larousse des arbres et des arbustes*, de Jacques Brosse

■ *Pour la campagne*, de Bernard Farinelli

■ *Qu'est-ce que la vie?*, de C. Auffray et L.-M. Houdebine

Deux encarts d'abonnement entre les pages 18 et 19, un encart broché service lecteurs et une carte d'abonnement entre les pages 90 et 91. Les abonnés reçoivent un encart abonnement Génies de la Science et carte T. Un encart publicitaire Téléréma de quatre pages en position centrale.



Chaque mois, retrouvez le sommaire complet de la revue **en ligne** avec pour chaque article une bibliographie et un complément d'information.

www.pourlascience.com

4

6

8

9

10

14

16

96

98

100

102

Le rhinocéros géant

26

par J.-L. Welcomme,
P.-O. Antoine et L. Marivaux

Des fossiles du plus grand mammifère terrestre de tous les temps, *Paraceratherium*, un rhinocéros de neuf mètres de long et de vingt tonnes, ont été redécouverts au Pakistan, où l'animal vivait il y a 28 millions d'années.



Des solides coulants

34

par Ph. Coussot,
H. van Damme et Ch. Ancey

Dans l'écoulement des pâtes granulaires, comme le béton frais, la viscosité peut varier brusquement. La répartition du liquide et l'évolution des contacts entre les grains expliquent ce comportement.

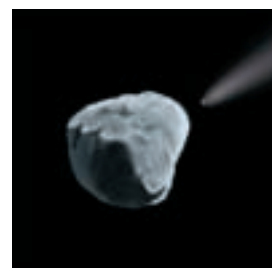


**Astéroïdes et comètes :
des tas de cailloux**

42

par Erik Asphaug

Les astéroïdes menacent la Terre, mais ils détiennent des informations précieuses sur l'origine des planètes.



**Les muqueuses,
sources d'immunité**

52

par Françoise Mascart
et Camille Locht

Les muqueuses, les couches cellulaires qui tapissent notamment l'intestin et les poumons, sont dotées d'un système immunitaire spécifique.



La culture adoucit la surpopulation

60

par F. de Waal, F. Aureli et P. Judge

Les fortes densités de population engendrent-elles la violence? Cette croyance, fondée sur des recherches menées sur des rats, ne s'applique ni à l'homme ni aux autres primates.

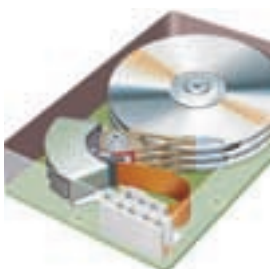


La mémoire des disques durs

66

par Jon Toigo

Les physiciens et les ingénieurs de l'industrie micro-électronique devront mettre en œuvre des principes physiques nouveaux pour augmenter la capacité des disques durs.



Les myxines, charognards océaniques

76

par Frederic Martini

Naguère confondues avec les lamproies, les myxines ressemblent probablement aux premiers animaux qui ont possédé un crâne, précédant ainsi les plus anciens animaux ayant une colonne vertébrale.



L'hydrogène métallique

84

par William Nellis

En recréant les conditions qui règnent dans le noyau de Jupiter, on obtient l'hydrogène sous la forme d'un métal.



À mesure que les sociétés humaines se développent, c'est-à-dire s'éloignent de l'état de nature, réapparaît le mythe du bon sauvage vivant dans une famille tribale de dimension réduite. Et d'aucuns s'inquiètent des concentrations humaines. C'est le bon sens même, affirment-ils : plus nous sommes nombreux, plus les risques d'affrontement augmentent et entraînent la violence. Ainsi raisonnait Malthus et bien d'autres dans des réflexes conservateurs.

Vision superficielle : si nous nous regroupons dans les villes, c'est peut-être qu'ensemble nous vivons «moins mal». Les études menées sur le comportement des singes montrent que les fortes densités de population n'engendrent pas un accroissement de la violence (voir *La culture adoucit la surpopulation*, par Frans de Waal, Filippo Aureli, et Peter Judge, page 60).

Les meilleurs esprits ont mal apprécié les changements du comportement des individus en fonction de la taille des groupes : le mathématicien Stanislas Ulam prédisait la faillite des grandes entreprises, car, raisonnait-il, les conflits entre personnes augmentent comme le carré du nombre des salariés (chacun, donc n individus, peut entrer en conflit avec ses n collègues), alors que le travail fourni n'augmente que comme le nombre n d'employés. Là encore, «le bon sens même». Un mathématicien de cette stature aurait dû savoir que le bon sens est une mauvaise inspiratrice et que les découvertes en Science vont à l'encontre de l'entendement commun : les interactions entre individus, via la culture sociale, ne sont pas que sources de conflits, elles amènent aussi l'entraide et la synergie.

Poincaré a stigmatisé l'utilisation sociale mal dosée des mathématiques : «... Il faudrait s'abstenir absolument d'appliquer le calcul aux choses morales», affirmait-il. Ce point de vue est outré, car Poincaré utilisera les probabilités pour innocenter le capitaine Dreyfus, que le rapport «scientifique» de Bertillon semblait condamner. Et il utilisera aussi tout son poids mathématique pour prôner le suffrage proportionnel.

Il n'empêche, le quantitatif peut masquer le qualitatif : observons le comportement des singes de Frans de Waal pour mieux estimer nos possibilités de comportement.

Philippe BOULANGER



BLOC-NOTES

DIDIER NORDON

De l'estomac et pas les foies

Tous les sens peuvent servir à exprimer l'antipathie entre deux individus. Odorat : je ne peux pas le sentir. Toucher : entre lui et moi, c'est épidermique. Ouïe : nous ne nous entendons pas. Vue : je ne peux pas le voir en peinture. Goût : je le boufferais tout cru ; ou encore, je le vomis (ce qui revient au même).

Nombre d'organes servent au même propos. Je ne le porte pas dans mon cœur ; je le hais viscéralement ; c'est un casse-pieds ; il me bouffe les foies ; il me prend la tête ; il me hérisse le poil ; j'ai une dent contre lui ; je l'ai dans le nez... Combinant les sens et les organes, on imagine des phrases comme : «J'ai une dent contre lui, je vais le bouffer tout cru», voire des mésaventures du genre : «Je l'ai dans le nez, moi qui ne peux pas le blairer.»

Bref, les hommes sont admirables. Mettez-leur entre les mains n'importe quel organe du corps humain, et ils sauront s'en servir pour moduler les chants de haine les plus variés, les plus expressifs. Comme si, ô Lamarck, la fonction naissait de l'organe.

Souvenirs de jeunesse

Il fut une époque où les hommes redoutaient de vieillir. Certains étaient prêts à tout pour éviter ce sort. Époque étrange!...

Ainsi, le chirurgien Serge Voronoff (1866-1951) se fit une spécialité de greffer des testicules de chimpanzés à des hommes désireux de retrouver leurs facultés défilantes. Avec plein succès, bien entendu... du moins, si l'on croit le propre témoignage de Voronoff (Serge Voronoff, *Étude sur la vieillesse et le rajeunissement par la greffe*, rééd. SenS Éditions, 1999).

Peu avant, un autre médecin célèbre, Édouard Brown-Séquard (1817-1894), en tenait pour le chien. S'injectant à lui-même du suc testiculaire de chien, il retrouvait vigueur physique et activité intellectuelle... du moins, si on croit le propre témoignage de Brown-Séquard. Toutefois, à l'issue de sa cure de rajeunissement, pendant l'hiver 1889-

1890, à plus de soixante-dix ans, Édouard Brown-Séquard contracta... la coqueluche!

Or, comme bien on pense, s'il se rajeunissait à coup de suc de testicule, ce n'était pas dans l'espoir d'attraper

une maladie infantile. Preuve, donc, qu'une expérience scientifique peut réussir parfaitement tout en échouant non moins parfaitement.

Quant à la jouvence de l'Abbé Souris, elle est présumée si efficace que, malgré son ancienneté et les décès des gens qui se sont soignés avec, elle reste sur le marché. Comme le clergé ne saurait mentir, si l'on est atteint par les méfaits de l'âge, ce n'est pas que la jouvence est inefficace, c'est que l'on n'en a pas pris assez.



Il faut oser avoir de l'audace

Depuis longtemps, le verbe «oser» est un verbe fétiche des capitaines d'industrie («oser l'entreprise»). Il plaît également beaucoup à ceux qui prétendent nous débarrasser de nos complexes («osez parler en public»). De toujours, peut-être, il symbolise le pari métaphysique («oser croire»)...

Voilà que ce verbe se met à conquérir des champs nouveaux. Ainsi, un groupe de professeurs vient de publier *Oser enseigner* (PUF, 2000). Titre étonnant. Comme s'il fallait autant d'audace pour être professeur que pour se lancer dans le rude monde de l'entreprise ! Quant à la Cité des sciences, elle organise un cycle de débats intitulé «Oser le savoir». Comme si cultiver le savoir, aujourd'hui, exposait au danger de subir le sort de Giordano Bruno!

Une mode actuellement répandue est de prétendre «faire acte de résistance». Cela consiste en général à se produire dans les médias pour y fustiger quelque usage nouveau. Point n'est besoin d'un grand courage pour oser un tel «acte», qui ne fait pas courir les risques terribles affrontés par les véritables résistants ou dissidents.

N'empêche. Proclamer : «J'entre en résistance», cela pose son homme. En voilà un qui ose ! Oui, «oser» pourrait bien devenir le prochain verbe chéri par ceux qui se paient de mots. Une belle carrière l'attend.

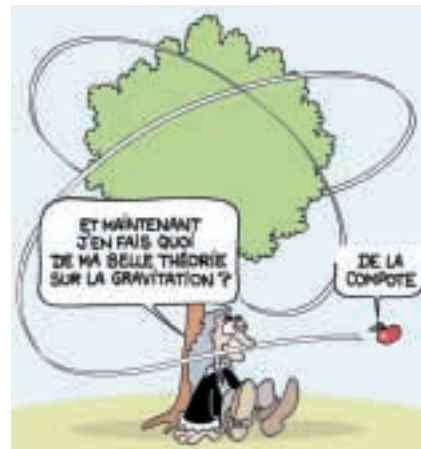
La banale efficacité des mathématiques!

L'utilisation par les physiciens de la théorie des groupes esquissée par Galois un siècle plus tôt est un rebondissement extraordinaire, que nul n'aurait prévu. Ce genre de rebondissement est-il propre aux mathématiques? Non : il s'en produit partout. Tel homme agit, d'autres hommes donnent un sens à son œuvre dans un contexte imprévisible.

Vivaldi pouvait-il deviner combien ses *Quatre Saisons* exaspéreraient de gens attendant au téléphone qu'une administration les mette enfin en relation avec leur correspondant? Quant aux jésuites partis évangéliser la Chine au XVI^e siècle, comment auraient-ils imaginé qu'ils allaient, au contraire, contribuer à déchristianiser l'Occident, Voltaire ayant vu dans leurs descriptions de la Chine la preuve qu'on pouvait être civilisé sans être chrétien? Les ruses de l'histoire sont aussi invraisemblables *a priori* que l'irruption des groupes dans la physique.

Quant à s'étonner que l'abstraction mathématique ait des applications concrètes, c'est oublier que l'abstrait et le concret, loin de s'opposer, sont en interaction. Concret comme la chair, notre cerveau n'en héberge pas moins l'imaginaire et ses abstractions. Toutes les entreprises humaines exigent la médiation des mots, donc toutes ont, pour ainsi dire, un pied dans la représentation abstraite. Les mots de la physique – «matière» ou «atome» – sont aussi abstraits que ceux des mathématiques – «structure» ou «groupe». Mathématiciens et physiciens interprètent le même monde. Tantôt les premiers sont en avance sur les seconds, tantôt c'est l'inverse : comme partout, les progrès naissent souvent d'un changement de perspective.

Le phénomène ahurissant serait que les mathématiques soient coupées de toutes les autres activités humaines. Uniques en leur genre, elles seraient les seules à ne pas participer au jeu de rebonds incessants des idées, d'une époque à une autre, d'un pays à un autre, d'une discipline à une autre. En ce cas, il faudrait s'émerveiller devant leur incroyable inefficacité, et s'interroger dessus.



TRIBUNE DES LECTEURS

Droit de réponse

L'article de Marilou Bruchon-Schweitzer intitulé «La graphologie, un mal français» (voir *Pour la Science*, février 2000) a retenu toute notre attention et suscité de notre part les observations suivantes.

En tant qu'organisme ayant pour mission de regrouper et de défendre les professionnels de la graphologie depuis 1953, nous constatons la différence de considération portée sur l'activité des graphologues professionnels par les entreprises et les spécialistes du recrutement d'une part, et quelques journalistes et prétendus scientifiques d'autre part.

Aussi, nous déplorons qu'un certain nombre de magazines s'inscrivent délibérément dans une ligne de dénigrement qui nous semble incompatible avec les exigences d'une information complète et objective.

C'est pourquoi, il nous semblerait intéressant, pour votre lectorat, de pouvoir bénéficier d'une approche émanant des graphologues eux-mêmes concernant l'utilisation de la «science de l'écriture» dans le cadre de la gestion des ressources humaines et, plus particulièrement, du recrutement.

Corine BLANC, vice-présidente du Syndicat européen des graphologues professionnels

Droit de réponse (suite)

Nous réagissons à l'article de Marilou Bruchon-Schweitzer sur la graphologie (voir *Pour la Science*, février 2000). Nous ne pouvons accepter que, systématiquement, des personnes se donnent le droit d'attaquer et de ridiculiser notre travail et nos praticiens, et que cette entreprise de désinformation trouve toujours un écho favorable dans la presse, même spécialisée. Déclarer que l'utilisation de la graphologie dans le recrutement est illégale est une contrevérité. Les dispositions de la loi Aubry ne comportent pas d'interdiction quant à l'utilisation de la graphologie dans le recrutement.

Il est faux de dire que les graphologues utilisent des schémas interprétatifs d'un autre âge. Les typologies anciennes qui ont servi de fondement à la graphologie ont été abandonnées au profit d'apports récents sur le fonctionnement psychologique (les neurosciences, par exemple).

M. Bruchon-Schweitzer omet de citer les recherches qui ont été faites par des spécialistes à orientation scientifique (Pophal, Heiss, Wieser, Müller-Enskat, Gobineau et Perron, Salce, Lewinson, pour ne parler que des plus connus) et qui, chacun dans leur spécialité, ont été d'éminents professionnels.

Sans varier son argumentation, sans tenir compte de l'évolution de la graphologie,

depuis des années, M. Bruchon-Schweitzer fonde ses explications sur un malentendu savamment entretenu par l'utilisation du terme «prédiction» ; elle induit, de fait, une dimension irrationnelle qu'elle cherche à exploiter.

Les graphologues ne prétendent jamais «prédire» la réussite professionnelle ; ils ne font que tracer un profil d'aptitudes en fonction du poste à pourvoir et de ses exigences ; la réussite professionnelle dépend étroitement des conditions de travail, des rapports hiérarchiques, des modalités d'exercice des compétences dans le poste concerné, autant d'éléments dont ils tiennent compte dans leurs analyses, mais dont ils ne maîtrisent pas l'évolution.

D'autre part, dans tous les syndicats professionnels, l'exercice de la profession est sévèrement encadré par un Code de déontologie que les membres agréés sont tenus de respecter et qui, justement, permet d'éviter l'amalgame avec des «sciences occultes».

Cette entreprise de destruction risque de priver les consultants et les entreprises de ce que nous appellerons «une richesse française» qui leur apporte un éclairage qui leur semble pertinent et utile.

Catherine BERGERON, présidente de la FNGP,

Catherine CASTELLANI, présidente du SGDS

et Bertram DURAND, président du SEGP

Réponse de Marilou Bruchon-Schweitzer

Le contenu des deux lettres et les arguments des responsables de deux organisations de graphologues appellent de ma part quelques réponses et réflexions. Je nommerai lettre 1 celle de la vice-présidente du Syndicat européen des graphologues professionnels et lettre 2 celle signée par Catherine Bergeron, Catherine Castellani et Bertram Durand.

J'aurais omis de citer des «recherches à orientation scientifique» (lettre 2). J'ai déjà publié une synthèse de toutes les recherches consacrées à l'écriture (dans le *Traité de psychologie du travail*, paru en 1987 aux Presses universitaires de France, pp. 535-555). Dans l'ensemble, ces travaux n'établissent pas la preuve de la validité de la graphologie. Je citais dans cette synthèse les travaux de Gobineau et Perron, de Salce et Prenat, de Lewinson (travaux datant des années 1953-1961). J'inclus donc ces travaux dans mon bilan global, assez réservé, de 1987. J'évoquerais plus loin les travaux postérieurs à 1987, tels ceux évoqués dans mon article et ceux de Schmidt et Hunter (1998).

Quant aux travaux allemands que vous citez (lettre 2), il est d'usage, chez les

«prétendus scientifiques» de mon espèce (lettre 1), d'en donner précisément et exactement les références, ce que vous avez «oublié». Je suppose que vous voulez parler des ouvrages de Pophal (1949), de Heiss (1966) et de Weiser (1973). Ces ouvrages ne sont en fait que des manuels de graphologie, exposant les conceptions de leurs auteurs, en fait des ensembles d'hypothèses, non assorties des vérifications nécessaires à toute démarche scientifique. Quant à la référence à un certain Müller-Enskat (lettre 2), je suppose qu'il s'agit de l'ouvrage de W.H. Müller et de A. Enskat, *Graphologische Diagnostik*, publié en 1973 à Berne par l'éditeur V.H. Huber. Cet ouvrage est le seul à aborder clairement le problème de la validité. Mais ce problème, pourtant crucial, n'occupe que 9 pages sur 268, ces pages consistant à résumer quelques validations (une dizaine), plutôt qu'à valider la conception des auteurs. Par ailleurs, ces auteurs reconnaissent que les résultats de ces études de validité (corrélations écriture-personnalité) sont «majoritairement négatifs» (p. 260). On ne saurait être plus clair.

Vous affirmez dans la lettre 2 «ne pas utiliser des schémas interprétatifs d'un autre âge» et avoir abandonné «les typologies anciennes qui ont servi de fondement à la graphologie au profit d'apports récents sur le fonctionnement psychologique (les neurosciences, par exemple)». Bravo! Mais alors, pourquoi citez-vous comme référence (lettre 2) l'ouvrage de Pophal (1949), qui n'est pas vraiment à jour au niveau neurologique et qui est fondé sur une conception archaïque des localisations cérébrales? Pour éviter de donner au lecteur la désagréable impression que vous utilisez la neuropsychologie seulement comme caution, on attend de vous que vous citiez des recherches précises ayant pour but de mettre à l'épreuve des hypothèses neuropsychologiques bien définies, recherches publiées dans des revues scientifiques. Dans vos manuels de graphologie (par exemple, le *Manuel de graphologie*, de J. Peugeot et ses collègues, publié en 1987 chez Masson), vous vous référez toujours au symbolisme de l'espace de Max Pulver (1931) et aux conceptions du «père» de la graphologie française, J. Crépiaux-Jamin (*L'écriture et le caractère*, première édition, 1880). On attend toujours quelques manifestations concrètes de votre intérêt pour les théories actuelles de la personnalité.

Dans la lettre 2, il y a comme un contre-sens en ce qui concerne le terme de prédiction. Il ne s'agit pas ici de prédire l'avenir comme le font les voyantes (à l'aide de la boule de cristal ou du marc de café...)! La validité prédictive (concept que vous sem-

blez ignorer) est l'une des qualités de toute méthode d'évaluation des personnes. Elle est appréciée généralement au moyen d'un coefficient de corrélation entre un comportement actuel (certains aspects de l'écriture, par exemple) et un comportement futur (réussite professionnelle ultérieure, par exemple). Le fait que l'écriture soit un «prédicateur» valide de la personnalité n'est qu'une hypothèse (et non une certitude). Chacune des recherches menées sur la validité de l'écriture consiste à soumettre ce type d'hypothèse (liens supposés entre l'écriture et la personnalité, par exemple) à l'épreuve des faits, ceci sur de très nombreux sujets, ceci de nombreuses fois. Une relation significative peut apparaître dans une recherche isolée entre certains aspects de l'écriture et certains traits de personnalité, cela ne démontre rien. Pour être absolument sûr que la relation observée n'est pas due au hasard, il faudra répéter l'expérience de nombreuses fois pour s'assurer de la généralité d'un tel résultat (ce sont des contre-validations), puis confronter de très nombreuses recherches différentes (comme on le fait pour les essais thérapeutiques, avant de commercialiser un médicament).

De telles synthèses (bien mieux que des résultats isolés) permettent de connaître les résultats d'ensemble des recherches menées sur la même question. Dans mon article, j'avais cité quelques-unes de ces vastes synthèses (Robertson et Smith, 1989 ; Neter et Ben-Shakkar, 1989), qui aboutissaient à des coefficients de validité prédictive en moyenne extrêmement faibles pour l'écriture (de 0,00 à +0,03). Il existe aujourd'hui des méthodes quantitatives pour faire la synthèse des résultats des recherches menées sur le même objet, que l'on appelle des méta-analyses. La plus récente d'entre elles est celle de Schmidt et Hunter (1998). Elle synthétise toutes les études menées depuis 85 ans sur la validité des méthodes utilisées dans le recrutement. Toutes les méthodes y sont classées selon leur coefficient de validité moyen (moyenne calculée à chaque fois sur plusieurs dizaines d'études différentes). On considère comme satisfaisantes les méthodes qui, utilisées seules, ont un coefficient de validité proche de +0,50 (ce coefficient pouvant varier de -1,00 à +1,00). Les résultats de cette méta-analyse sont éloquentes : les méthodes les plus valides sont les «échantillons de travail» (+0,54), les tests d'aptitude mentale générale (+0,51), l'entretien «structuré» (+0,51), puis 15 autres techniques classées par ordre de validité décroissant. La méthode qui apparaît en dernier rang est la graphologie, et son coefficient moyen de validité est quasi nul ($r = +0,02$). Pour pronostiquer la réussite professionnelle à partir d'un profil d'aptitudes (lettre 2), il semble plus sûr d'utiliser les tests d'aptitudes mentales que la graphologie ! Nous attendons toujours des preuves quant aux liens de l'écriture avec la réussite profes-

sionnelle. S'autoproclamer «science de l'écriture» (lettre 1), au vu de ces résultats constamment négatifs, est sans doute de l'autodérision.

Le fait de valider les méthodes utilisées dans l'évaluation du personnel est une nécessité scientifique et déontologique. Les psychologues y consacrent leurs efforts depuis des décennies, et leur code de déontologie (signé le 22 mars 1996) définit ainsi leurs obligations (article 18) : «Les techniques utilisées par le psychologue pour l'évaluation, à des fins directes de diagnostic, d'orientation ou de sélection, doivent avoir été scientifiquement validées.» Comme chacun le sait, la loi sur le recrutement et les libertés individuelles (loi du 1^{er} janvier 1993) précise que les techniques utilisées dans le recrutement doivent être «pertinentes au regard de la finalité poursuivie» et que le recruteur est «comptable de la rectitude scientifique des procédés qu'il utilise». Malgré la «considération» portée à la graphologie par les entreprises et par les spécialistes du recrutement (lettre 1), certaines entreprises, comme *Saint-Gobain* (*Le Monde*, du 12 juin 1997) ont «décidé de ne plus faire appel à la graphologie pour les recrutements dans l'ensemble des sociétés du groupe». Voici les trois raisons avancées par le président de cette société : la graphologie «n'a pas de caractère scientifique réellement fondé ; elle est perçue de façon négative par les intéressés ; elle est juridiquement tolérée dans un nombre limité de pays...». Les signataires de la lettre 2 nous rappellent que «l'exercice de leur profession est sévèrement encadré par un code de déontologie». Cette sévérité ira-t-elle jusqu'à recommander aux graphologues de n'utiliser dans le recrutement que des techniques scientifiquement validées ?

Marilou BRUCHON-SCHWEITZER

Téléportation

A propos de l'article «Logique et calculs de la téléportation» (voir *Pour la Science*, juin 2000), ce ne sont pas les informations qui permettent de construire directement quoi que ce soit, sauf s'il s'agit de transmettre des éléments – fax, images, sons, etc. – qui sont de nature informationnelle. À la limite, ce n'est que de l'information : la polarisation d'un photon, qui peut être téléportée par les phénomènes quantiques. Mais même l'étrange action instantanée à distance de la mécanique quantique est impuissante à envoyer de l'information exploitable plus vite que la lumière.

Les informations donnent seulement la méthode de construction d'un objet matériel. De l'énergie doit être utilisée pour cette construction, quel qu'en soit le mode opératoire. On ignore dans cet article l'existence de cette énergie, aussi bien que celle du second principe de la thermodynamique qui a une importance décisive dans le métabolisme des

êtres vivants. De l'énergie ne peut surgir du néant (ou d'une donnée abstraite comme l'information), d'après le principe fondamental de la conservation de l'énergie. L'information elle-même a besoin d'énergie (souvent photonique) pour pouvoir se transporter.

Quand l'auteur dit : «peut-être n'obtiendrons-nous qu'une masse amorphe dépourvue de vie et de pensée», ce n'est qu'un euphémisme. Un être vivant n'est pas une superposition de structures, mais un ensemble de processus dynamiques. Ce n'est pas la structure qui est première, c'est le dynamisme qui est à l'origine des structures vivantes. La mise en mouvement des résultats de la restructuration est impossible, car le mouvement n'est pas téléportable : le principe de la conservation de la quantité de mouvement l'interdit. La vie fait intervenir divers types d'énergie (biochimique, thermique, mécanique) qui ne sont pas téléportables. D'autre part, un être vivant évolue sans cesse. Même si, en utilisant les redondances, le temps nécessaire à l'analyse est très sensiblement inférieur à «trois milliards d'années», l'individu ne sera plus le même à la fin et au début de l'analyse : la seconde moitié de la tête sera quelques mois ou quelques années plus vieille que la première moitié ! C'est ubuesque.

Le nombre d'erreurs inévitables qui se glissent dans un programme est directement lié à sa longueur. La mise en forme d'un programme permettant la manipulation de la quantité gigantesque d'informations nécessaires à la reconstitution d'un être vivant est alors absolument rédhibitoire. Le degré de complexité du problème le rend théoriquement insoluble. Si l'on pense de plus qu'une erreur serait certainement catastrophique pour la reconstitution de l'individu, on a dépassé les limites du possible. L'analyse des objets à téléporter est impossible.

De grâce, laissons la téléportation à la fantaisie imaginative des hommes, à la science-fiction.

Jean TERRIER, Marseille

Précision

Dans l'adaptation en français de l'article de Patricia Rodier sur les origines de l'autisme (voir *Pour la Science*, mars 2000), une phrase (page 88) peut laisser croire que la plupart des psychologues souscrivent encore aujourd'hui aux thèses de Bruno Bettelheim : ce n'est plus le cas depuis des années.

La rédaction de *Pour la Science*

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. L'adresse de *Pour la Science* sur Internet est : tribune@pourlascience.fr. Découvrez d'autres contributions de lecteurs sur le site Web www.pourlascience.com.

JEU-CONCOURS N° 73

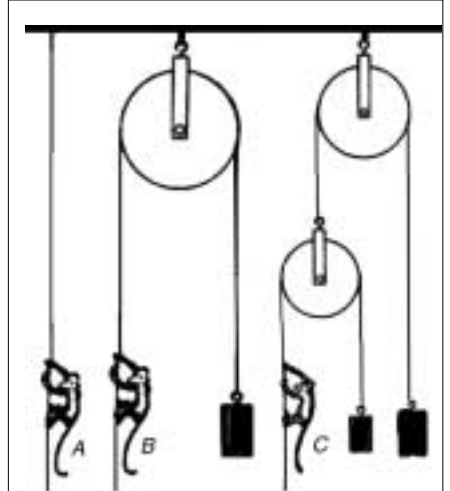
PIERRE TOUGNE

Dynamique de grimpeurs

Imaginons trois singes *A*, *B* et *C* sur les dispositifs représentés ci-contre. Pour le premier singe *A*, la corde est fixée au plafond. La corde du second singe *B* passe par une poulie fixée au plafond à laquelle est attaché un poids égal au poids du singe, le maintenant ainsi en équilibre. Enfin pour le troisième singe *C*, la corde équilibrée par son poids passe par une poulie elle-même fixée à une corde passant par une poulie fixée au plafond à laquelle est attaché un poids égal au double du poids du singe.

Au départ, les trois singes sont à la même hauteur ainsi que les contrepoids et ils grimpent de façon identique. Lorsque le singe *A* a parcouru une hauteur x vers le plafond, quelles sont les distances parcourues par les singes *B* et *C* ?

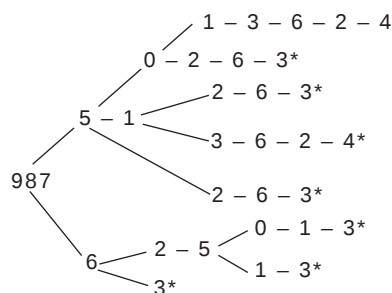
On supposera que les cordes sont sans masse et qu'elles glissent sans frottement sur les poulies, elles-mêmes sans masse.



Envoyez vos réponses aux questions à *Pour la Science*, 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06. Parmi les réponses exactes reçues en juillet 2000, dix gagnants recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 71

Afin de chercher les nombres répondant au problème, il suffisait de faire les quelques remarques suivantes. Toute permutation circulaire d'un nombre solution est encore un nombre solution, donc on peut choisir le premier chiffre, disons 9 (dans le but de trouver le nombre solution le plus grand). Le successeur du dernier chiffre doit être 9, donc ne peut être que 4, car $2^* x + a = 9 \pmod{10}$ $a = 0, 1, 2$ n'a que la solution $x = 4$. Les successeurs de 9 ne peuvent être que 0 et 8 (9 ayant déjà été utilisé), choisissons 8 dont les successeurs possibles sont 6 et 7, choisissons 7 et ainsi de suite. On construit ainsi un arbre dont les branches s'interrompent, soit parce qu'il n'y a pas de successeur possible (car déjà utilisé auparavant) ou que le chiffre 4 ait été atteint prématurément (avant la dixième position). L'arbre ci-dessous est un exemple où les branches mortes sont signalées par un astérisque.



En procédant ainsi, on trouve les six nombres suivants :

9875013624
9863750124
9862501374
9026387514
9025138764
9013875264

dont toutes les permutations circulaires conduisent à 60 nombres solutions, le plus grand étant 9875012624 et le plus petit 0124986375.

Remarquez que leur somme fait 9999999999, mais si souvent le complémentaire à 9 d'un nombre solution est aussi un nombre solution, ce n'est pas toujours le cas (exemple 9025138764). Ces nombres existent dans n'importe quelle autre base et plusieurs lecteurs ont exploré par l'informatique le nombre de solutions selon la base. Ils ont trouvé que le nombre de solutions augmente avec la base beaucoup plus rapidement pour les bases impaires que pour les bases paires.

Jean Jacquelin propose expérimentalement des lois asymptotiques pour le nombre n de solutions selon la parité de la base : B paire $n = B \cdot 10^{0,13(B-4)}$ et B impair $n = B \cdot 10^{0,19(B-4)}$. Le problème pourrait d'ailleurs être repris en utilisant une loi de construction du type $kx + a_1$ ou a_2 ou a_3 , et discuté selon le quadruplet k, a_1, a_2, a_3 .

J.-M. Thiriet



Grilles de calcul

GUY WORMSER

La puissance de calcul distribuable comme l'eau ou l'électricité ?

Les ordinateurs ont d'abord fonctionné indépendamment, à partir de données locales. Puis, les scientifiques qui avaient besoin d'échanger des volumes considérables de données ont créé le réseau Internet : partagé ensuite avec l'ensemble des utilisateurs d'ordinateurs, ce nouvel outil bouleverse nos sociétés. Toutefois l'informatique reste limitée par les moyens de calcul, qui sont insuffisants : nous n'avons pas encore de superordinateurs sur nos bureaux. La prochaine (r)évolution en informatique sera-t-elle le passage au «calcul pour tous» ?

Les communautés scientifiques rêvent ainsi de ce qu'ils nomment une «grille de calcul», qui s'apparenterait au réseau électrique. Ce dernier fournit à chaque utilisateur toutes les ressources dont il a besoin au moyen d'une interface simplifiée à l'extrême (la prise de courant) et standardisée. Toute la complexité du réseau (de la centrale électrique jusqu'à l'abonné) est complètement cachée à l'abonné, qui peut modifier brusquement sa consommation sans démarche préalable. De même, dans la grille de calcul qui est en projet, puissance de calcul et capacité de stockage seraient quasi illimitées, puisque toutes les ressources de la grille seraient mobilisables en cas de besoin ; on pourrait aussi bien utiliser des applications créées localement que partager les ressources disponibles (dans les centres de calcul, dans les laboratoires ou dans les entreprises).

Le projet n'est pas utopique : pour réaliser une grille de calcul, on devra construire des réseaux à très haut débit sur de longues distances et apprendre à gérer le service offert. Ces deux objectifs sont accessibles. Les ressources en matériel – nœuds de la grille (centres de calcul, ordinateurs des laboratoires...) et réseau – existent déjà en grande partie. Il reste à construire les programmes qui feront fonctionner la grille. Cette infrastructure comprend, entre autres, des programmes d'identification et de sécurité, des logiciels d'arbitrage de ressources, de suivi des applications, de garantie de qualité, d'interface utilisateur.

Comment les grilles de calcul modifieront-elles le fonctionnement des socié-

tés industrialisées ? La recherche scientifique, tout d'abord, doit traiter des volumes croissants de données, mais n'a plus les moyens de construire les ressources de calcul dont elle a besoin. Par exemple, au CERN, à Genève, les physiciens des particules commenceront en 2005 une série d'expériences sur le collisionneur à protons LHC (*Large Hadron Collider*), afin d'explorer plus avant les structures intimes de la matière. Ces expériences imposeront l'enregistrement et le stockage de plusieurs dizaines de millions de gigaoctets par an, soit autant d'informations qu'il en est aujourd'hui enregistré sur tous les CD-ROM du monde : on devra mobiliser les ressources informatiques disponibles dans l'ensemble des laboratoires de physique des particules. De même, l'observation de la Terre par les satellites scientifiques ou le séquençage du génome humain conduisent à des quantités considérables de données, qui doivent être traitées par de très gros programmes.

Si la recherche fondamentale est à nouveau le moteur de la prochaine révolution informatique, l'amélioration des moyens de calcul profitera immanquablement au monde industriel et économique : les grosses entreprises, organisées en réseau (banques, EDF...), démultiplieront leurs ressources informatiques propres à moindres frais si elles s'équipent d'une grille de calcul interne. Celles qui traitent leurs calculs dans un gros centre d'une centaine de machines bénéficieront de possibilités supérieures si elles mettent ce centre en symbiose avec les nombreux ordinateurs présents dans les agences ou sur les bureaux de leurs employés.

Avec la proposition d'accès à du calcul ou à du stockage, moyennant un kit d'abonnement analogue à celui d'un abonnement à Internet, le marché potentiel serait beaucoup plus vaste. L'introduction massive des ressources informatiques dans les petites et moyennes entreprises conduirait souvent à des gains de productivité importants, en permettant par exemple des simulations détaillées de prototypes avant leur réalisation (souvent très gourmandes en moyen de calcul, de telles simulations

sont souvent inaccessibles, aujourd'hui). La grille absorbera également des pics ponctuels de calcul ou de stockage dépassant de beaucoup les ressources propres de l'entreprise, mais dont la nature occasionnelle ne justifie pas un investissement lourd.

Et comment chacun d'entre nous profitera-t-il des grilles de calcul ? Les besoins individuels en calcul semblent couverts par les ordinateurs personnels. Toutefois l'inventivité humaine conduira inévitablement à des applications insoupçonnées : observons le développement d'Internet. En restant dans le domaine des sciences, le parrainage scientifique semble déjà en vogue : en inscrivant son ordinateur personnel sur une grille de calcul et en le mettant à la disposition d'un gros calcul, on s'associe à des aventures scientifiques dont on tire intérêt et fierté. Déjà de grands nombres ont été décomposés en facteurs premiers grâce à la coopération de très nombreux individus, qui ont offert les temps morts de leurs ordinateurs personnels. Une grille de calcul serait un outil de gestion des ressources informatiques beaucoup plus ambitieux et dynamique ; il pourrait même être un outil d'intégration sociale, en associant des classes d'école, de collèges ou lycées de milieu défavorisé à certains grands projets scientifiques.

Comment réaliser cet outil ? Plusieurs consortiums de scientifiques, en Europe et aux États-Unis, se sont formés pour écrire les couches de logiciels manquantes (*middleware*) et tester leurs performances. Cette grande mobilisation et les nombreux liens existant entre les projets européens et américains devraient conduire à une grille mondiale d'ici deux ou trois ans. Signalons enfin qu'avec un tel projet, on confie à la (haute) technologie le soin de régler les conflits d'intérêt résultant de cette mise en commun de moyens et non plus à la volonté politique, ce qui devrait faciliter bien des choses.

Guy WORMSER est directeur adjoint de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS.