



Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Mai 2000

édition française de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

www.pourlascience.com

*Les fourmis
sont des modèles
pour les robots*

**L'intelligence
collective**

M 2687 - 271 - 38,00 F



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

BLOC-NOTES

de Didier Nordon



JEU-CONCOURS

Propriétés inévitables

par Pierre Tougne

TRIBUNE DES LECTEURS



POINT DE VUE

Big brother et IRM

par Yves Burnod



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

Le statut de l'animal : ni homme ni objet

par Georges Chapouthier

SCIENCE ET GASTRONOMIE

Les quenelles

par Hervé This



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

- Peintures pariétales à Bornéo ■ Diabète sucré
- Tempête à zéro degré ■ Nucléosynthèse légère
- Détection gamma sensible ■ L'art du mélange
- Les neuropuces



VISIONS MATHÉMATIQUES

Le troupeau du soleil

par Ian Stewart

LOGIQUE ET CALCUL

Des nombres à la lettre...

par Jean-Paul Delahaye

IDÉES DE PHYSIQUE

De la lumière plein les yeux

par Roland Lehoucq et Hervé Dzitko



ANALYSES DE LIVRES

- Des causes et des signes des maladies aiguës et chroniques, édité et commenté par Mirko Grmek
- Les maladies dans l'art antique, de M. Grmek et D. Gourevitch
- Histoire de la pensée médicale en Occident, sous la direction de Mirko Grmek
- Détergents et produits de soins corporels, de Louis Ho Tan Tai
- Le monde des tourbières et des marais, sous la direction d'Olivier Manneville
- Le principe de précaution. Rapport au Premier ministre, de Philippe Kourilsky et Geneviève Viney
- Tout ce que vous vouliez savoir sur la génétique, de M. Brookes

Deux encarts d'abonnement entre les pages 18 et 19, un encart broché service lecteurs et une carte d'abonnement entre les pages 98 et 99, un céderom Infonie collé en page 35.



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

5

6

7

8

10

14

16

100

102

108

110

Pourquoi aller sur Mars

26

par Glenn Zorpette

L'objectif principal des missions sur Mars est la recherche de la vie. Cet objectif justifie-t-il l'envoi d'astronautes?

Comment aller sur Mars

30

par George Musser et Mark Alpert

Les solutions techniques pour aller sur Mars sont nombreuses. La difficulté sera de choisir la meilleure.

Un direct pour Mars

38

par Robert Zubrin

Comment réduire les coûts de l'envoi d'astronautes sur la planète rouge.

Mars via ses lunes

42

par Fred Singer

Phobos et Deimos, satellites de Mars, pourraient être des bases intermédiaires à partir desquelles on explorerait la planète rouge.

Un autobus entre les planètes

44

par James Oberg et Buzz Aldrin

Grâce aux techniques d'assistance gravitationnelle, les coûts des trajets entre la Terre et Mars seraient considérablement réduits.

Un moral jusqu'au ciel

48

par Sarah Simpson

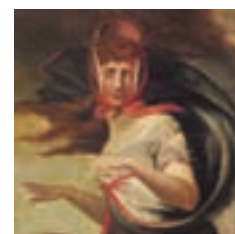
Suffit-il d'avoir l'«éttoffe des héros» pour garder le moral durant les longs voyages interplanétaires?

La biologie des phobies

50

par Arne Öhman

Les réactions de peur, telles l'accélération du rythme cardiaque, l'augmentation de la tension artérielle ou l'immobilisation, sont activées par divers stimulus, avant même que ceux-ci ne soient consciemment identifiés.



Expansion et recul des forêts équatoriales

58

par Dominique Schwartz

L'homme est-il un prédateur des forêts? Une reconstitution de la progression et du recul des forêts et des savanes équatoriales a nuancé cette accusation.

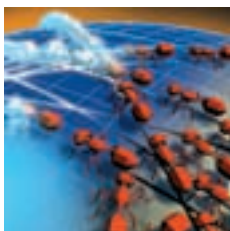


L'intelligence en essaim

66

par Éric Bonabeau
et Guy Théraulaz

S'inspirant des fourmis et des insectes sociaux, des informaticiens ont créé des «agents» qui coopèrent pour résoudre des problèmes complexes.



L'énergie négative

74

par Lawrence Ford
et Thomas Roman

On voyagerait à des vitesses supérieures à celle de la lumière si l'on maîtrisait une forme d'énergie inédite, «négative».



L'horloge biologique

82

par Michael Young

Des horloges internes commandent le métabolisme et les comportements des êtres vivants. On découvre qu'elles fonctionnent de manière analogue chez la mouche, chez la souris et chez l'homme.



Le stockage des gaz à effet de serre

88

par H. Herzog, B. Eliasson
et O. Kaarstad

Pour éviter le réchauffement de la planète, on envisage d'injecter du dioxyde de carbone dans le sol ou dans les océans.



Le 5 juin 1927, neuf jeunes Allemands se réunissent à Breslau pour fonder une société de voyages dans l'espace (*Verien für Raumschiffahrt*). Parmi ces scientifiques romantiques, Wernher von Braun, figure emblématique de l'ingénieur habile qui ne s'embarrassait pas de scrupules idéologiques, avait compris la fascination que l'espace allait exercer sur les responsables politiques. Le dossier de ce numéro traite des différents aspects d'un futur voyage vers Mars (pages 26 à 49).

Les raisons naïves, invoquées par le passé pour légitimer les investissements spatiaux, apparaissent irréalistes. Qui veut aujourd'hui transformer l'espace en un dépotoir où nous évacuerions nos déchets? Qui croit que nous pourrions utiliser les ressources minières des autres planètes? Qui a l'audace de penser que nous pourrions coloniser l'espace pour y vivre? Ce fol espoir, que nous n'osons pas refouler, reste, hélas, hors de portée, car nous n'avons pas su diminuer le coût d'exportation des matériaux hors de la gravité terrestre. Toutefois, les politiques tirent profit de ce rêve pour légitimer leurs fracassantes promesses et déclarations.

Certains prétendent justifier les programmes spatiaux par leurs retombées technologiques dans l'industrie. Cet espoir n'a pas été confirmé : les révolutions technologiques récentes ne sont pas issues des recherches spatiales, à l'exception des satellites de télécommunication.

L'intérêt principal est scientifique, et il est parfaitement justifié. Les progrès des méthodes d'analyse géologique et biologique autorisent une meilleure recherche de la vie sur Mars : si une sorte de vie, à l'organisation encore inconnue, existe, nous avons de bonnes chances de l'identifier. Cette découverte aurait un retentissement intellectuel et des répercussions biologiques incontestables.

Ce qui stimule les scientifiques n'est pas l'utilisation technique de leurs découvertes, mais le prestige que ces utilisations confèrent à leur discipline. Les chercheurs ne s'intéressent aux applications de leur science que dans la mesure où elles servent leur quête de savoir. Les politiques prônent la conquête spatiale, car ils ont le sentiment de faire l'Histoire (les raisons militaires sont moins importantes aujourd'hui).

Et la curiosité, nourrie par un imaginaire ancien, est le moteur de l'intérêt du public. Le consensus sur le spatial est général.

Philippe BOULANGER



BLOC-NOTES

DIDIER NORDON

Boniments, capitale sucre

« Si le sel perd sa force, avec quoi le salera-t-on? » demande la Bible. Cette interrogation en appelle d'autres, aussi naturelles, dont j'ignore pourquoi on ne les examine jamais : continuera-t-on à en mettre dans les aliments? Le cas échéant, comment saura-t-on qu'on en a mis trop?

Face au sucre, le vertige métaphysique est moindre. Car là, on a des réponses. La revue *Sucre info* (n° 23, décembre 1999) écrit en effet : « Même dépourvu de saveur sucrée, le sucre resterait un ingrédient de base en industrie alimentaire. » Présenter de façon aussi carrée la conclusion d'une expérience irréalisable pourra paraître péremptoire, mais le fait est que le sucre joue un rôle dans les réactions chimiques de Maillard, qui régissent les processus de cuisson. Et puis, *Sucre info* est sponsorisée par les commerçants en sucre...

Tout de même, tout de même... La revue ne manifeste-t-elle pas une confiance excessive en la nécessité du sucre? Si elle n'était pas rouge, ma voiture serait encore une voiture. Mais si le sucre était « dépourvu de saveur sucrée », achèterait-on des gâteaux? Ne poussons pas le nominalisme jusqu'à croire qu'il suffit de s'appeler sucre pour

éveiller une saveur agréable dans la bouche. En outre, s'il perdait son goût, qui sait si les réactions de Maillard accepteraient encore de se produire? Alors, vive le sucre sucré!



Que signifie « insignifiant »?

Le mathématicien René Thom est l'auteur d'une célèbre formule - « Tout ce qui est rigoureux est insignifiant » - qu'on interprète en général ainsi : pour faire progresser vraiment une science, mieux vaut l'audace et l'imagination, fussent-elles insuffisamment étayées ; un chercheur trop attaché à la rigueur fera faire à sa science des progrès insignifiants.

Dans un livre récent d'Ivar Ekeland, *Le meilleur des mondes possibles*, cette interprétation est remise en question. Le livre a pour but de confronter la conception de Leibniz selon laquelle ce monde est le meilleur possible avec

les résultats les plus récents des sciences. Ivar Ekeland est amené à constater, entre autres, que les sciences modernes n'ont rien changé au vertige de l'homme devant le monde. Il en conclut (page 135) que, dans leur rigueur, elles n'ont aucune signification métaphysique d'aucune sorte : ce qui est rigoureux est insignifiant.

D'une lecture à l'autre, le mot « insignifiant » change nettement de sens, et l'interprétation d'Ivar Ekeland apporte une nuance non négligeable à la première. Ainsi, susceptible d'inspirer des interprétations multiples, la formule de René Thom, quoique exprimée avec toute la rigueur sèche d'un énoncé mathématique, est loin d'être insignifiante.

La paresse efficace

Se déclarer chercheur scientifique peut paraître outrecuidant. Cela ne revient-il pas à déclarer qu'on fait le même métier qu'Einstein, Gauss, Poincaré et quelques autres du même calibre? Par trop intimidés par ce voisinage, beaucoup de scientifiques préfèrent se vivre comme de simples tâcherons, voués à accumuler de petits travaux. Et, disent-ils, ces petits travaux permettront aux rares grands génies de disposer d'un matériau auquel ils sauront donner sens.

Voilà une belle théorie, mais ne pourrait-on pas envisager l'hypothèse inverse? À savoir : l'accumulation de travaux mineurs contrarie les découvertes importantes. Plus les génies ont de petits travaux à lire et à digérer, plus ils sont emmenés vers des chemins de traverse. Ces travaux médiocres s'interposent entre eux et la vaste vision du monde qu'ils tentent d'élaborer, la dissimulent. Loin d'aider à y voir plus clair, ils obscurcissent le paysage.

Quand on n'est pas génial, paresse est peut-être la meilleure contribution qu'on puisse apporter à la science.



Le paradoxe du comédien

Si les considérations psychologiques interfèrent avec la logique, la collection des phrases autocontradictaires s'élargit merveilleusement. Voici des exemples.

Un interviewé déclare : « Je suis modeste » ou : « Il faut rester modeste. » La proclamation indique qu'il est prétentieux. S'il était modeste, ses interlocuteurs s'en rendraient compte. Dire : « Je suis modeste », c'est prouver qu'on ne l'est pas.



Second exemple. Face à un péril, certains essaient de se rassurer en disant : « Le pire n'est pas toujours sûr. » Or l'incertitude est le pire des maux! Elle est pire que la survenue du malheur redouté, laquelle nous soulage car nous passons alors de la crainte à l'espoir.

Troisième exemple. Quelqu'un dit : « Je suis peu sûr de moi. » Voilà la preuve que cette personne est sûre d'elle. Car elle ose avouer ce que beaucoup considèrent comme une faiblesse personnelle et tentent de cacher.

Il y a aussi le « paradoxe du sincère ». Un homme qui jure ses grands dieux que ce qu'il dit est vrai est bien souvent en train de mentir et d'essayer de faire passer son bobard en répétant sur tous les tons que ce n'en est pas un.

Tant et tant d'exemples? En psychologie, toute affirmation semble autocontradictoire.

La part du rêve

Modéliser? Fort bien. Malheureusement, la réalité déborde toujours du modèle.

Même le modèle du Loto échoue dans ses prédictions. Pourtant, le Loto n'est qu'une mise en œuvre à l'échelle nationale de la théorie des probabilités. Le jeu est arrangé pour que l'espérance de gain des joueurs soit négative. Comme les gens n'aiment pas perdre leur argent, le modèle prédit qu'ils ne joueront pas. Or les gens jouent. Notre modèle coïncide avec la réalité et il est erroné : deux conclusions sont possibles.

Première conclusion. La réalité est erronée. L'erreur gît en ces gens qui jouent, alors qu'on ne doit pas jouer à un jeu dont on ignore les lois.

Deuxième conclusion. Connaîtraient-ils les probabilités, les gens joueraient quand même, et notre modèle laisse échapper l'essentiel : le rêve. Acheter, pour quelques heures, une apparence de vraisemblance au rêve : « Si j'étais riche... », mérite qu'on dépense de l'argent! Un modèle convenable doit donc inclure le rêve dans ses paramètres. Les économistes savent-ils bien évaluer le prix de cette denrée?

Ce magazine
vous intéresse !



Vous y trouverez :

- ☐ Sciences-actualités
- ☐ L'actualité en astronomie
- ☐ Les actualités biomédicales
- ☐ Nouvelles de l'environnement
- ☐ Le texte intégral des conférences du samedi
- ☐ Le commentaire des expositions permanentes et temporaires
- ☐ Le programme des activités du Palais de la découverte

Je souscris un abonnement à la

REVUE DU PALAIS DE LA
DÉCOUVERTE

Je joins mon règlement par chèque
à l'ordre du

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
(CCP 9065 48 J PARIS)

Tarif France : 170 F (10 numéros par an)

Tarif étranger : 200 F

par mandat international uniquement

(par avion, supplément de 80 FF)

Abonnement de soutien : 230 F

Nom (M., Mme, Mlle) :

Prénom :

Adresse :

.....

Ville :

Code postal :

Profession :

à retourner avec votre règlement à
Revue du PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
Av. Franklin-D.-Roosevelt - 75008 Paris.
Tél. : 01 40 74 80 0

JEU-CONCOURS N° 71

PIERRE TOUGNE

Puzzle mathématique

Considérez le nombre 14 026 375, il a la propriété curieuse suivante : a) tous ses chiffres sont différents ; b) chaque chiffre est le chiffre des unités de son prédécesseur multiplié par deux auquel on ajoute soit 0, soit 1, soit 2 (le prédécesseur du premier chiffre étant le dernier chiffre du nombre). Par exemple, 4 est suivi de 0, car $2 \times 4 + 2 = 10$, de même le successeur de 5 est 1 (donc le premier chiffre du nombre), car $2 \times 5 + 1 = 11$, etc.

Sauriez-vous trouver le nombre de nombre de dix chiffres ayant cette propriété et parmi ceux-ci le plus petit et le plus

grand (on inclura les nombres ayant un 0 non significatif). J'ai intitulé ce jeu puzzle, car il n'existe pas de formules donnant ces nombres et qu'il faut passer par une recherche par essai-erreur, mais quelques considérations mathématiques simples permettent de limiter grandement ces essais. Certes avec les ordinateurs personnels actuels, le test des $10! = 3\,628\,800$ nombres possibles prendra moins de temps que l'écriture du programme, mais pour des nombres de plus de dix chiffres (naturellement en base supérieure à 10)?



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

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 69

Il y avait bien des méthodes pour résoudre le problème de l'organisateur, notamment en regroupant les joueurs quatre par quatre (ce qui est possible pour 100 joueurs, mais si le nombre de joueurs n'est pas un multiple de quatre, il faut une discussion supplémentaire) ou trois par trois. Cependant, la méthode suivante me semble la plus simple, car elle ne fait pas intervenir le nombre de joueurs à apparier au départ dès lors que celui-ci est pair et supérieur à quatre. L'organisateur prend trois joueurs au hasard avec lesquels il forme une paire jouant un même système d'enchère, ce qui est toujours possible selon l'hypothèse b. Avec le joueur restant, il en prend deux autres pour former une nouvelle paire et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne lui reste que trois joueurs à associer avec le joueur restant.

Désignons par A, B, C, D ces quatre joueurs, parmi A, B, C, il y en aura au moins un qui comprendra les deux autres (A par exemple). Parmi B, C, D, on est certain que D com-

prend au moins B ou C, supposons que c'est B. Alors A et C, B et D seront les deux dernières paires formées.

Comme me l'ont fait remarquer plusieurs lecteurs, l'hypothèse a n'est pas nécessaire.

Cependant si un joueur ne connaît qu'un système d'enchère, l'hypothèse b implique qu'au moins $n - 2$ autres joueurs connaissent son système.



Erratum concernant le jeu concours n° 67. Le record à battre n'est pas de 24, mais de 23 graduations (record égalé par un lecteur, M. P. Pétauton). D'autre part, ma démonstration que cinq graduations sont insuffisantes pour obtenir

les 20 angles de 18 degrés est incomplète, car 0 et 360 degrés étant le même angle, il ne nous faut que 19 différences qui sont potentiellement possibles avec cinq graduations. Le nombre d'angles à mesurer étant neuf angles «pairs» et dix angles «impairs», une petite étude exhaustive selon le nombre de graduations paires et impaires montre que c'est impossible à réaliser avec seulement cinq graduations.

TRIBUNE DES LECTEURS

Détournement de thèse

Depuis quelques années, chacun y va de ses propositions pleines de compassion pour «sauver» ces pauvres Bac+8, 9 ou 10 qui s'entassent dans les laboratoires.

Dans son «point de vue», Nicolas Chevassus-au-Louis (voir *Pour la Science*, janvier 2000) vise à transformer le thésard en étudiant coupable de «rêver» un avenir pour lequel il est formé. Il complète le «point de vue» de Bernard Beauzamy (voir *Pour la Science*, juin 1999), qui fait le «constat cruel» que le doctorant est un tâcheron inefficace en entreprise, et lui recommande de proposer à son employeur un salaire réduit!

Nos deux auteurs n'analysent pas le discours dominant selon lequel s'il n'y a que peu de possibilités de devenir chercheur ou enseignant, il faut se responsabiliser en s'adaptant au monde merveilleux de l'entreprise!

On parle métaphoriquement de «globe-trotters» ou de «formidable capacité d'adaptation» pour désigner les galériens qui errent de post-docs en post-docs... Des métaphores qui évitent de désigner la précarité par son vrai nom, et de réfléchir sur un vrai statut de doctorant et à son avenir.

Il est en effet plus facile de vanter les mérites du recyclage et de l'entreprise que de revendiquer le plein emploi dans la recherche publique, car ce malaise imposé aux doctorants n'est qu'un des symptômes de sa lente agonie : aujourd'hui, la politique en vigueur s'emploie à brader le capital intellectuel public aux intérêts économiques privés. Du côté de l'enseignement, l'université jongle avec des contrats précaires, tandis que dans les organismes de recherche, le nombre de postes ne compense plus les départs à la retraite, et les post-docs se multiplient... On a vite oublié ce qu'était le contrat social à l'origine de la recherche publique : la légitimation et le financement public de la science en échange de la contribution de cette dernière à l'amélioration de la richesse (notamment culturelle) et de la sécurité collectives. Au total, ce sont 6 000 postes par an qui devraient être publiés, soit de quoi «caser» les deux tiers des nouveaux docteurs.

Jamais l'Université et la Recherche publique n'ont eu autant besoin de docteurs, mais jamais leur statut n'a été aussi détourné! L'université n'a pas à déboucher sur l'entreprise, et elle ne peut fonctionner correctement sur un réservoir de précaires. On aura beau obliger le doctorant à écouter les louanges de l'entreprise, il faudrait une foi de charbonnier pour le détourner d'une trajectoire naturelle et souhaitée.

F. LAUDET, Montpellier

J. S. STEYER et G. LECOINTRE, Paris

Retrouvez l'intégralité de cette lettre et les arguments des auteurs sur notre site Internet

Raciologie?

Est-il intrinsèquement mauvais de s'interroger sur l'origine et l'évolution des populations? On peut se poser la question en lisant l'article d'Agnès Lainé (voir *Pour la Science*, octobre 1999). Amalgame et confusion chronologique y accréditent la thèse suivant laquelle les anthropologues sont des ringards dangereux qui, dans leur «quête des origines» déclinent les humains «en races, sous-races et types». À ce point de vue, l'utilisation du présent de l'indicatif sous une image d'un autre siècle est pour le moins malencontreuse.

Non, l'objectif de l'anthropologie biologique n'est pas la classification de «races», pas plus que celui de la chimie n'est de trouver le secret de la pierre philosophale. Lorsqu'Agnès Lainé découvre que l'anthropologie est née chez des «puissances coloniales», sa démonstration est un peu courte. Pendant deux siècles, où donc ailleurs se sont développées mathématiques, physique nucléaire ou linguistique? Malheureusement le racisme et l'esclavagisme préexisterent de très loin à l'avènement des recherches anthropologiques.

Les nazis ont dévoyé l'histoire, l'archéologie, la génétique, la médecine et la linguistique. Cela condamne-t-il ces disciplines? Pour en venir à l'Afrique et à l'anthropologie, existe-t-il la moindre preuve, comme le suppose Agnès Lainé, que les génocidaires rwandais aient eu besoin des travaux de Jean Hiernaux pour justifier leurs massacres? Présenter ce chercheur comme un «héritier de la raciologie antérieure» qui y «adhérait pleinement» traduit une grave méconnaissance de l'histoire de la discipline. Jean Hiernaux, dans son enseignement comme dans ses nombreux ouvrages scientifiques, rappelait avec insistance l'absence de hiérarchie entre les peuples, l'iniquité des justifications scientifiques du racisme et l'importance d'étudier la diversité biologique de l'espèce humaine dans l'intérêt des populations elles-mêmes.

D'une façon plus large, l'article d'Agnès Lainé s'inscrit dans un mouvement très «politiquement correct» qui, au cours des dernières décennies, a jeté l'opprobre sur l'anthropologie biologique, notamment en France, alors même que la discipline a prospéré dans le monde anglo-saxon. Devons-nous réellement être fier de cette autre «exception française» qui fait de nous les grands absents des avancées les plus récentes sur l'origines de l'homme moderne et de sa diversité?

Pierre DARLU, INSERM, Unité 535
Jean-Jacques HUBLIN, CNRS, UPR 2147

Réponse de Agnès Lainé

Si être politiquement correct revient à adhérer à des valeurs antiracistes et humanistes, je suis sûre que Jean-Jacques Hublin et Pierre Darlu le sont autant que moi... Ces mots terribles comme «race», «raciologie» et leurs dérivés choqueraient-ils s'ils ne touchaient à un aspect du passé que nous avons peine à assumer, ce que montre l'effort, sensible dans leur réponse, de rejeter du côté des seuls nazis la vision raciale d'une histoire de l'humanité que, pourtant, tout l'Occident a partagée? La question se pose : pourquoi se sentir «accusé» de ce que d'autres ont pensé, en d'autres temps?

Je suis historienne : à l'époque coloniale, où étaient les historiens? En Afrique? Ils pensaient, à la suite de Hegel, que ces «peuplades» sans écriture n'entraient pas dans les champs de l'histoire... Les historiens ont changé, les anthropologues aussi.

Jean Hiernaux en est un exemple. Ce chercheur éminent dont beaucoup connaissent l'esprit tout autant «politiquement correct», était au Rwanda en 1950. Il a cru ce qu'on disait alors des différences de race et d'origine des Hutu et des Tutsi (pourquoi ne l'aurait-il pas cru?). Ses articles de 1952 à 1956 ne sont jamais cités : il y a alimenté de données physiques et sérologiques cette interprétation, avant de se rendre compte de l'erreur. Il a par la suite démenti «l'idéologie hamitique».

La vision naturaliste de l'Autre, dont j'ai retracé certaines incarnations scientifiques en Occident, a été (diversement) intégrée aux identités collectives actuelles des peuples ex-colonisés, parfois pour le pire. L'afrocentrisme en est une autre manifestation.

J'invite J.-J. Hublin et P. Darlu à élargir nos échanges sur ces sujets difficiles. Il est vrai que l'anthropologie physique est mal aimée des sciences humaines, mais les contestations ont été extrêmement vives, et plus longtemps, en Grande-Bretagne. Peut-être au contraire l'abcès n'a-t-il pas été assez crevé en France?

Je plaide pour le droit à l'exégèse des sciences quelles qu'elles soient et je suggère qu'il importe de ne pas laisser entièrement à d'autres le soin de cette tâche. Je suis, moi aussi, passionnée par les recherches sur l'évolution humaine ; souhaitons que cette «quête» se déroule dans le souci des hommes qui vivent aujourd'hui.

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@pouirlascience.fr. Découvrez d'autres contributions de lecteurs sur le site Web www.pouirlascience.com.



Big brother et IRM

YVES BURNOD

L'imagerie par résonance magnétique révèle-t-elle ce que nous pensons ?

L'imagerie cérébrale se perfectionne aujourd'hui très vite ; l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique et la magnétoencéphalographie montrent le cerveau humain en activité. L'être humain est-il devenu transparent ? Devons-nous craindre qu'autrui lise dans notre cerveau ? Sans attendre, réfléchissons à ce qui est licite et à ce qui est abusif, tant dans l'emploi de l'imagerie que dans l'interprétation des résultats.

Certains redoutent que les nouvelles méthodes d'imagerie ne deviennent des machines à détecter le mensonge ou à lire dans l'inconscient. La justice aimerait déterminer à coup sûr la culpabilité ou l'innocence des suspects. Les industriels voudraient savoir si les consommateurs apprécient leurs produits...

Disons d'emblée que l'imagerie cérébrale montre l'activation des différentes parties du cerveau, mais ne permet en rien de lire dans l'esprit d'un individu. On doit surtout craindre les interprétations erronées des images d'activation cérébrale, qui risqueraient d'entraîner à leur tour des utilisations dangereuses. De même que l'on a abusivement attribué des gènes à des types de comportements (ont été ainsi annoncés des gènes de la fidélité, de l'homosexualité, de l'intelligence...), certains pourraient prétendre avoir identifié une région cérébrale avec un comportement, une faculté, ou un trait de caractère particulier (la région de la l'intelligence par exemple). Vers 1810, le médecin allemand Franz Josef Gall avait fondé la phrénologie, soutenant que la forme du crâne révélait l'état des diverses facultés d'un individu ; une forme modernisée de ce type de classification risque d'apparaître.

Pourtant, l'imagerie fonctionnelle est un outil remarquable pour mieux comprendre les circuits cérébraux qui sont à la base des fonctions sensorielles, motrices ou cognitives. Pour ces recherches, on fait passer des tests comportementaux à des sujets volontaires, et on compare les différences d'activation cérébrales quand on ne fait varier – c'est en tout cas ce que l'on désire – qu'un seul paramètre. On cherche alors des corrélations entre l'activation de zones précises du cerveau et ce paramètre. Par exemple, on compare l'activation céré-

brale pour des images de visage et pour d'autres stimuli qui ont les mêmes composantes visuelles élémentaires, mais ne sont pas des visages. On peut penser que les zones plus activées révèlent les circuits cérébraux qui participent à la reconnaissance des visages. Toutefois un nombre considérable de paramètres n'auront pas été testés et risquent d'activer ces mêmes zones. À une même carte d'activité cérébrale correspondent parfois de nombreux traitements sensoriels, moteurs ou cognitifs.

Tout l'art des spécialistes de l'imagerie cérébrale consiste à croiser les résultats d'expériences variées, afin d'obtenir une interprétation fiable. Quand l'imagerie fonctionnelle est apparue, les abus d'interprétation néo-phrénologiques n'ont pas tardé, mais, à mesure que les résultats se sont accumulés, on a compris que chaque région participait à de nombreuses fonctions. Par exemple, une même zone du cerveau peut participer à la commande d'un mouvement, à la vision du même mouvement effectué par une autre personne, à l'image mentale de ce mouvement, à des mémorisations, à des représentations mentales et à des traitements cognitifs plus ou moins associés, etc.

D'autre part, on a découvert que les analyses sont compliquées par la résolution des appareils actuels : quelques millimètres. Au mieux, on voit des populations de plusieurs centaines de milliers de neurones. Or la finesse des traitements cérébraux est bien supérieure, et des neurones très proches ont des fonctions différentes, certains neurones étant activateurs, d'autres inhibiteurs. Comme on est loin de distinguer les circuits activateurs et inhibiteurs par l'imagerie fonctionnelle, on risque d'obtenir la même image quand les sujets pensent une chose et son contraire ! L'imagerie fonctionnelle ne montre que la somme des activations neuronales, laquelle peut être obtenue de mille façons différentes.

Troisièmement l'activation de zones cérébrales n'est pas nécessairement un signe de la mise en œuvre d'une capacité : plus les sujets apprennent une tâche, plus l'activation de leur cortex frontal diminue. Le cerveau s'adapte ; les sujets font moins d'effort quand ils savent

résoudre un problème que quand ils le découvrent pour la première fois.

Enfin on découvre chaque jour de nouvelles propriétés de l'organisation des régions cérébrales qui traitent la perception, le mouvement, le langage, les émotions... Surtout, au delà de chaque région, on voit apparaître des réseaux d'aires cérébrales activées. Tous les individus activent la même chaîne de traitement, même si les zones intermédiaires activées ne sont pas identiques, tant la variation interindividuelle est forte.

La courte histoire de l'imagerie la rend encore très vulnérable aux erreurs d'interprétation. La découverte d'une aire cérébrale de la tristesse ou de la fidélité ne résisterait sans doute pas à des vérifications correctement effectuées : au prix d'une accumulation des résultats, on comprendra de mieux en mieux la logique neuronale de l'activation des diverses zones cérébrales. En revanche, on ne parviendra pas à savoir à quoi un sujet pense, à un instant donné. Si l'on est honnête, on ne peut envisager d'utiliser l'imagerie dans un cadre judiciaire, pour identifier un coupable, en regardant son cerveau, par exemple, ni pour dépister des instincts pervers qui conduiraient à une présomption de culpabilité. Les scientifiques ont le devoir d'expliquer clairement aux partenaires industriels ou institutionnels ce qui est possible et ce qui ne l'est pas.

Les abus d'interprétation de l'imagerie cérébrale, qui pourraient conduire à des abus d'utilisation, ressemblent un peu à ceux que l'on observe déjà en génétique. En raison de la compétition scientifique, des chercheurs risquent de dire plus qu'ils n'observent. La science n'a pas d'autre garde fou que l'honnêteté scientifique. Nous n'éviterons probablement pas l'annonce prochaine de la découverte d'une région cérébrale «de l'intelligence» ou «de la morale», mais la vigilance de la communauté scientifique, épaulée par les revues scientifiques, limitera les effets obscurantistes d'une telle annonce.

Yves BURNOD dirige le Laboratoire INSERM «plasticité cérébrale et adaptation des fonctions visio-motrices».

