



POUR LA

Pour la Science

SCIENCE

Avril 2000

édition française de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

www.pourlascience.com



L'ÉGYPTE :

de la naissance à l'apogée



BLOC-NOTES

de Didier Nordon

TRIBUNE DES LECTEURS



JEU-CONCOURS

Propriétés inévitables

par Pierre Tougne

POINT DE VUE

L'éthique de la fin de vie

par Robert Zittoun



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

Des lois de Mendel à la lecture du génome

par Michel Morange



SCIENCE ET GASTRONOMIE

Le goût du froid

par Hervé This



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

■ La Lune, artefact extraterrestre? ■ Le bégaiement des coucous ■ Le service médical rendu

- Fossiles et géographie de l'ère primaire
- «Cellules» entrouvertes ■ Ver à soie transgénique
- Lutte tous azimuts contre le VIH ■ L'interférence du désordre
- Mourir de rire ■ Manque d'expression ■ Un Big Bang à l'envers



VISIONS MATHÉMATIQUES

La stratégie des sous-ensembles

par Ian Stewart



LOGIQUE ET CALCUL

Le tatouage des images numériques

par Caroline Fontaine



IDÉES DE PHYSIQUE

La propagation de l'influx nerveux

par Roland Lehoucq



ANALYSES DE LIVRES

■ Dictionnaire du règne animal, sous la direction de Simon Tillier

- L'encyclopédie de la nature, de Doris Kinderley
- Les insectes en 1 000 photos, de Patrick Glémas
- Les insectes et les hommes, de Michel Lamy
- Supermath, de Pierre Bornsstein
- Clin d'œil à la vie. La grande aventure HLA, de Jean Dausset
- Herborisations en zigzag. Journal d'un botaniste : Charles Flahault, présenté par Jean-Marie Emberger

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 encart PLS vous recommande jeté au hasard.



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

La naissance de l'État égyptien

28

par Béatrix Midant-Reynes

En un millénaire, de -4000 à -3000 avant notre ère, l'Égypte est passée de plusieurs cultures d'agriculteurs-pasteurs à un État unifié, stable et fortement hiérarchisé : l'État des pharaons.

La découverte d'un vizir

34

par Karol Mysliwiec

Sur le plateau de Saqqara, au Sud du Caire, des archéologues ont mis au jour la tombe d'un vizir de l'Ancien Empire égyptien.

La conservation de la tombe de Néfertari

42

par Neville Agnew et Shin Maekawa

Ramsès II construisit pour son épouse favorite une tombe remarquable que les archéologues s'attachent à conserver.

Les momies

48

par Jacques Connan, André Macke et Christiane Macke-Ribet

Pour conserver les corps, les embaumeurs égyptiens les traitaient avec des baumes qu'ils préparaient à partir de substances naturelles. On découvre aujourd'hui les méthodes d'application des baumes et leur composition.

Cytokines et sensibilité aux maladies

56

par Dominique Émilie, Marc Humbert et Pierre Galanaud

Quand le système immunitaire s'emballe et que les cytokines sont trop abondantes, elles créent des lésions. De nouvelles substances les inhibent spécifiquement.



La mission Galileo vers Jupiter

64

par Torrence Johnson

Malgré les difficultés techniques, la sonde spatiale Galileo a révélé l'inouïe variété des satellites de Jupiter.



Matériaux numériques et dégradation virtuelle

76

par Julie Dorsey et Pat Hanrahan

Les ordinateurs formeront des images plus réalistes quand on décrira mieux la structure physique des matériaux.

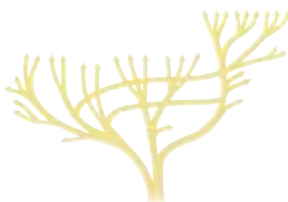


L'arbre du vivant : un buisson foisonnant

84

par Ford Doolittle

Depuis une dizaine d'années, les biologistes étudient l'apparition des formes de vie et cherchent un arbre généalogique des espèces vivantes.

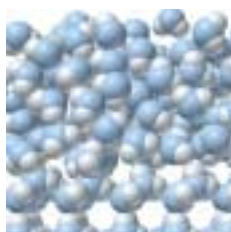


Quand l'eau refuse de geler

90

par John Wettlaufer et Greg Dash

Une mince couche d'eau subsiste à la surface de la glace, même aux températures bien inférieures à 0 °C.



L'État des pharaons revisité

Le dossier de ce numéro retranscrit les succès des archéologues, des linguistes et des physico-chimistes dans l'analyse et la protection des splendeurs de l'Égypte ancienne.

L'avènement de la civilisation égyptienne résulte des progrès d'une agriculture scandée par les effets favorables des crues du Nil, dont le Roi-dieu pharaon garantissait la régularité. Les surplus agricoles, dès le quatrième millénaire avant notre ère, ont imposé le stockage des denrées alimentaires, lequel a suscité l'établissement d'un ordre social fortement hiérarchisé (*La naissance de l'État égyptien*, page 28) dont le faste s'exprimait dans le culte des morts.

La civilisation égyptienne était fascinée par la mort, et le passage des dignitaires vers l'au-delà est superbement décrit sur les peintures tombales (*La découverte d'un vizir*, page 34), où est aussi reconstituée la vie des classes dirigeantes et leur relation avec le petit peuple. L'art du chimiste reconstitue les matières premières des baumes utilisés pour la momification (*Les momies*, page 48) et les peintures (*La conservation de la tombe de Néfertari*, page 42) ; cette analyse prévient les dangers de dégradation des tombes et autorise leur réouverture au public.

«Nous autres, civilisations, savons que nous sommes mortelles», écrivait Paul Valéry. La civilisation égyptienne est vivante aujourd'hui par son culte des morts, c'est cette spécificité qui l'a rendu immortelle.

Le bruit court que l'enseignement des mathématiques doit prouver son utilité. On peut s'étonner de cette sommation utilitaire, dans la mesure où les mathématiques sont aussi un enrichissement culturel. Cependant, même dans cette définition limitée de leur intérêt, les mathématiques peuvent relever le gant. *Le tatouage des images numériques* (page 102) démontre le besoin d'une analyse mathématique approfondie de la signature. Cette «marque», que l'on désire incorporer de façon invisible dans une image, doit résister à tous les traitements que subissent les images numériques. Les avancées actuelles illustrent l'importance des techniques mathématiques, nécessaires pour prouver la contrefaçon.

Philippe BOULANGER



BLOC-NOTES

DIDIER NORDON

L'art est difficile

Personne ne conteste que l'art, loin d'être superflu, est une composante essentielle de l'humanité. Manger ou dormir sont indispensables à la vie. L'art est indispensable à l'homme, sinon même constitutif.

Pourtant, chaque fois que quelqu'un dit : «Je suis peintre, venez voir mes tableaux»

ou : «Je compose, venez écouter ma musique», notre réaction est réservée. Un de plus, est-ce bien nécessaire. Avons-nous vraiment besoin de lui? Et quand

nous allons prendre connaissance de l'œuvre, nous ressortons la plupart du temps plus incertains qu'en-

thousiastes. Nos applaudissements sont contraints. Subventionner ce travail, alors que tant de nécessités assaillent la société, n'est-ce pas donner une prime au superflu?

Pourquoi l'idée que nous avons de l'art est-elle, dans l'abstrait, si haute, et, dans les cas concrets, si piètre?

L'Hospital et la Charité

«**L**a propriété, c'est le vol», proclament les aviateurs et les anarchistes. Ces derniers incluent-ils la propriété intellectuelle dans cette condamnation? Si oui, ils ont raison : dans le domaine des idées, quasiment toute propriété résulte d'un vol. En mathématiques, par exemple, il n'est à peu près pas un «théorème de Machin» qui soit effectivement dû à Machin. La contribution de Machin a consisté, au mieux, à donner un retentissement plus grand à un résultat déjà connu ; au pire, à s'en attribuer indûment la paternité.

Car le théorème de Bézout existait avant que Bézout ne naisse ; la méthode de Cardan s'appelle ainsi parce que Tartaglia l'a expliquée à Cardan sous le sceau du secret, et que Cardan n'a pas tenu sa promesse ; l'ensemble triadique de Cantor aurait précédé Cantor ; Cauchy n'avait pas un an que «son» critère pour la convergence des séries était déjà connu ; d'Alembert n'a jamais démontré le théorème qui, en France, porte son nom ; les séries de Farey, le cercle de Feuerbach, la formule d'interpolation de Lagrange, l'équation de Riccati, la formule de Stirling, la transformée de Laplace, les séries de Maclaurin, la bande de Moe-

bius, le triangle de Pascal – autant d'attributions erronées (R.C. Gupta, *False Mathematical Eponyms*, Ganita Bharati, vol. 19, n° 1-4, 1997).

Il existe cependant un résultat dont l'appellation est conforme à la morale courante : la règle de L'Hospital. Non que L'Hospital l'ait démontrée, bien entendu : elle est due à Johann Bernoulli. Seulement, le marquis de L'Hospital avait passé un marché avec Bernoulli. En échange d'une rente annuelle, Bernoulli s'engageait à travailler sur tous les problèmes que lui proposerait le marquis et à réserver à ce dernier l'exclusivité de ses découvertes. Pour connaître la gloire mathématique, le marquis de L'Hospital n'a donc eu qu'à acheter la règle qui porte son nom. Il faut vraiment être anarchiste pour trouver quelque chose à redire dans cette affaire...

Jolie fleur de papillon

L'effet papillon existe-t-il? Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il vraiment déclencher une tornade au Texas? Ou, pour poser la question de façon moins imagée, un événement infime peut-il avoir des conséquences démesurées?

La réponse est : oui, bien sûr. L'effet papillon est sa propre preuve! Voici en quoi. L'image de l'effet papillon a été employée, à la va-vite, lors d'une conférence en 1972. Rien ne laissait prévoir qu'elle connaîtrait l'énorme succès qui est le sien aujourd'hui. Elle aurait dû rester une simple image, née d'une inspiration soudaine et destinée à distraire un instant les auditeurs d'une conférence. Au lieu de cela, elle a été reprise et citée si souvent qu'elle a acquis les apparences d'une vérité scientifique irréfutable. Quiconque se pique d'écrire ou de penser doit se montrer conscient de l'effet papillon et soucieux de ses conséquences parfois dramatiques. Nul ne peut plus faire comme s'il n'existait pas. Il a pris les proportions gigan-

tesques d'un mouvement d'idée, influençant tant des philosophes que des décideurs.

L'effet papillon se démontre lui-même!

Lecteurs d'horoscopes

Une curieuse enquête, réalisée aux États-Unis, devrait vous inciter à renoncer au mépris que, peut-être, vous éprouvez face aux lecteurs d'horoscopes. La proportion de ceux qui affirment croire vraiment aux prédictions est en effet de 27 pour cent seulement. S'ils les lisent, c'est pour conjurer leur angoisse face à l'avenir, non pour le prévoir. En revanche, parmi les gens qui refusent de les lire, 73 pour cent disent que c'est parce qu'ils y croient : si les prédictions sont néfastes, ils aiment mieux rester dans l'ignorance de ce qui les attend ; si elles sont bonnes, ils ont peur, en les connaissant, d'interférer avec elles, donc de les gâcher. En outre, une forte minorité (39 pour cent) s'abstient de lire l'horoscope parce qu'elle est convaincue que cela porte malheur.

Ainsi la proportion de superstitieux parmi ceux qui ne lisent pas leur horoscope est plus grande que parmi ceux qui le lisent. Cela paraît paradoxal, mais puisque les chiffres le disent...



Ultima ratio

En absorbant une drogue supposée le rendre immortel, tel empereur chinois a au contraire trouvé une fin prématurée. Un autre empereur – Jules César, je crois – sur le point de se lancer dans une entreprise dangereuse, a dit : «Plutôt mourir tout de suite que vivre plus longtemps avec l'angoisse de la mort.»

Je crains que Jules César n'ait été meilleur psychologue que son collègue chinois, et ne suis pas enclin à me réjouir lorsqu'on nous promet à tous, empereurs ou pas, une longévité de 120 ans. Plus on consacre d'efforts à retarder la mort, plus on souligne qu'elle est le mal absolu.

Cela contribue à augmenter l'effroi qu'elle inspire. Peut-être l'instant ultime exige-t-il d'autant plus de courage qu'on a vécu dans une société qui considère la mort comme l'ennemie suprême.

Qui sait, en outre, si le courage – à l'instar d'autres qualités physiques ou morales – n'a pas tendance à diminuer avec l'âge? La Fontaine a là-dessus un mot terrible : «Le plus semblable aux morts meurt le plus à regret.» Si l'objectif «Tous jusqu'à 120 ans» se réalise, il réserve peut-être à chacun de nous un grand soir qui ne chantera pas du tout.



TRIBUNE DES LECTEURS

Graphologues experts?

Dans votre éditorial (voir *Pour la Science*, février 2000), vous opérez une confusion entre les graphologues et les experts en écriture (c'est trop d'honneur que d'attribuer aux graphologues le titre «d'experts en écriture»).

Comme je le souligne dans mon ouvrage, qui est d'ailleurs cité en bibliographie par Mariou Bruchon-Schweitzer : «La graphologie est au dogme et à la croyance ce que l'expertise en écriture est à la science.»

À titre d'exemple : on peut demander à un expert en écriture d'authentifier un testament, mais jamais il ne prendra le risque de décrire la personnalité ou de prédire la réussite professionnelle d'un sujet, de telles ambitions n'ayant jusqu'ici aucun fondement scientifique.

Christian BALICCO, Champigny-sur-Marne

Thésards d'affaire

J'ai particulièrement apprécié votre «Point de vue : Y a-t-il des thésards heureux?» (voir *Pour la Science*, janvier 2000).

Vous dénoncez, avec insistance, l'existence d'un sentiment «d'aversion» marquée pour le monde de l'entreprise chez les doctorants. Vous vous faites rapporteur d'un constat qui me semble être remis en cause du fait d'une mutation importante du monde de la recherche.

Les laboratoires universitaires sont actuellement confrontés à une restriction des budgets pour la recherche. Associée à une augmentation des coûts et des moyens requis, la situation résultante engendre une nécessaire modification de leur politique de gestion. Des démarches prospectives vers les marchés de la recherche «contractualisée» ont été engagées. Nombre de postes destinés à promouvoir et à développer les relations avec l'entreprise en sont nés. Les ingénieurs de recherche sont aujourd'hui des «ingénieurs d'affaires».

Vous me permettez de citer Yves Quéré, Président de l'ABG : «Les mentalités ont changé pour quiconque les a suivies depuis une vingtaine d'années! S'il y a excès dans certains laboratoires universitaires, c'est parfois désormais d'avoir pris le virage des applications industrielles avec tant d'ardeur néophyte qu'il sont devenus des lieux de simple travail.» (Voir sur le site Internet : <http://www.pourlascience.com/rendez-vous/tribune/formation.htm>).

Dans la situation qui concerne les Écoles des Mines, la majorité des doctorants sont affectés à des contrats de recherche en partenariat avec des industriels. L'intéressement au monde industriel, ainsi que la connaissance d'un projet professionnel personnel sont, de fait, des critères pour le recrutement de tous les doctorants.

L'utilité de la critique est chose acquise, toutefois il convient de l'exprimer à sa juste valeur. Je vous remercie pour l'attention portée à mes propos, dont je précise qu'il ne s'agit nullement d'une marque d'opposition, mais d'une correction mineure, néanmoins nécessaire.

Marc FUMEY, Albi

Softeux et hardeux

Suite au Bloc-notes de Didier Nordon (voir *Pour la Science*, février 2000), dans les services de recherche et développement en électronique-informatique, les ingénieurs et les techniciens se dénomment les *softeux* quand ils font du software, et les *hardeux* quand ils font du hardware.

Cependant, les termes *softeux* ou *hardeux* deviendraient péjoratifs s'ils étaient employés «hors milieu», donc les gens croient qu'on s'appelle «informaticiens» ou «électroniciens» entre nous...

Inversement, quand on dit en recherche et développement que tel ou tel logiciel est un «travail d'informaticien», ce n'est généralement pas pour en dire du bien, par allusion à l'image d'Épinal de «l'informaticien qui fait des logiciels où personne n'y comprend rien», très bien connue par les développeurs.

En fait, le mot «informatique» est une invention littéraire pour lutter contre le franglais, et l'étiquette d'informaticien qui y est associée est peu précise. En mécanique, le titre de mécanicien s'applique à quelqu'un qui travaille dans un garage, mais les BAC+5 en mécanique préfèrent se faire appeler «ingénieurs».

Pour l'informatique, les gens désignent sous le vocable d'informaticien des compétences allant du programmeur BAC+2 au docteur en mathématiques BAC+10.

Il n'est donc pas vital de trouver un diminutif pour un mot assez peu utilisé par les professionnels de l'informatique.

Gildas TRÉBAOL, Paris

in-FORMAT-icien

Je souhaite vous faire part de mes réflexions concernant une abréviation pour «informaticien» (voir *Pour la Science*, février 2000). Je propose *Format*. Ce terme a plusieurs avantages : premièrement, il raccourcit réellement le mot «informaticien». Deuxièmement, il n'est aucunement ambigu, au contraire, et ce sera mon troisième point. Il désigne de manière très nette ce qui est une activité fondamentale d'un «informaticien», surtout dans le monde Windows®, à savoir la remise en état de marche d'un système informatique en le réinstallant complètement, après avoir net-

toyé le disque dur, à l'aide de la commande *Format*, justement.

Pour l'ensemble de ces raisons, je pense donc que le terme *Format* est un bon candidat pour être l'abréviation officielle du terme informaticien.

Goulwen REBOUX, Le Rheu

Conscience intime

Si Antonio Damasio s'en était tenu, dans son article (voir *Pour la Science*, Janvier 2000), au seul esprit, comme indiqué dans le titre, l'article serait parfait. Pourtant, dès la première phrase : «d'où vient la conscience?», il met en scène une entité bien mystérieuse, quoi qu'il en dise, et qui ne saurait en tout cas être confondue avec l'esprit.

Il est vrai que l'auteur parle surtout de l'esprit dans le texte, mais il traite aussi de la conscience, qu'il réduit à la «conscience de soi», perception de la différence entre soi-même et l'environnement. Certes, le mot conscience peut être pris dans différentes acceptations. Mais la plus importante est sans doute la conscience comprise comme l'ensemble des perceptions, le «ressentir intime», ineffable, que les philosophes appellent parfois «les qualia».

Plutôt que d'entamer une polémique, je renvoie les lecteurs à l'article de David Chalmers : «Qu'est-ce que la conscience?» (voir *Pour la Science*, février 1996).

Pour D. Chalmers, qui définit parfaitement le sens du mot tel qu'envisagé ci-dessus, et le différencie des autres sens de ce mot, la neurophysiologie commence à y voir clair dans ce qu'il appelle les «problèmes faciles»; mais le «problème difficile», celui de la conscience intime, du ressentir, est esquivé.

Je suis d'accord avec A. Damasio lorsqu'il dit que, d'ici 2050, nous serons débarrassés des séparations traditionnelles entre le corps et le cerveau. Mais cela concernera les fonctions du cerveau qui seront (et sont en passe de l'être) reproduites par des puces : toutes les fonctions qui gèrent nos réactions aux stimulations sensorielles, et globalement notre comportement, la pensée, l'esprit si on veut.

Mais la conscience, en tant que ressentir, demeurera inviolée si l'on ne commence pas par admettre son existence...

Jean Pierre MORONI, Paris

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° 70

PIERRE TOUGNE

Propriétés inévitables

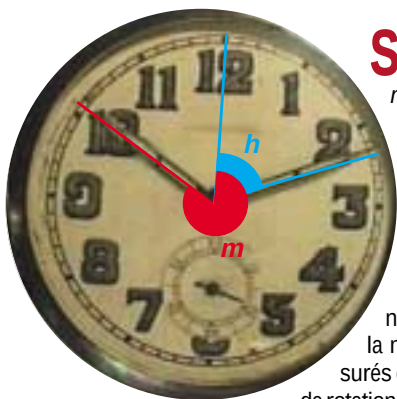
En mathématiques, démontrer que, selon le nombre d'éléments d'un ensemble, une propriété particulière sera toujours vraie, est généralement délicat sinon déconcertant. En voici deux exemples simples. Prenez les 26 lettres de l'alphabet que vous écrivez dans un ordre quelconque. Pouvez-vous démontrer qu'il y aura toujours six lettres lues de gauche à droite (mais pas nécessairement consécutives) qui seront dans l'ordre lexicographique normal ou inverse?

Dans le deuxième exemple, prenez n nombres entiers différents de 0 et 1 choisis au hasard. Quelle est la valeur minimale de n pour être certain que soit trois nombres ont un diviseur commun, soit trois nombres sont premiers entre eux? Pour les lecteurs qui trouveraient ce problème trop simple, je leur suggère hors concours de s'attaquer à la valeur de n pour quatre nombres.

k w d h f g
y r t i v s q
a z l c j u e
m o n x b p

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

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 68



Si l'on désigne par h et m les angles que font respectivement l'aiguille des heures et des minutes avec minuit (le 12 de la montre) mesurés dans le sens

de rotation des aiguilles

avec pour unité l'angle d'un tour complet (soit 360 degrés), ces deux angles seront deux nombres réels compris entre 0 et 1 exclu. Soit t le temps écoulé depuis minuit (donc l'heure) avec comme unité l'heure, alors t sera un nombre réel compris entre 0 et 12 exclu. Les angles h et m des aiguilles pour cette heure seront $h = t/12$ et $m = t - [t]$ où $[t]$ désigne la partie entière de t (en fait, le nombre de tours qu'a fait l'aiguille des minutes depuis minuit).

Remarquons que tous les couples (h, m) ne sont pas possibles. En effet, en éliminant t entre h et m , on obtient $12h - m = [t]$, c'est-à-dire que $12h - m$ doit être entier. Si maintenant les deux aiguilles sont identiques avec des positions angulaires x et y , pour connaître l'heure, il suffit de calculer les deux nombres $12x - y$ et $12y - x$. Deux cas se présentent :

un seul nombre est entier, alors l'aiguille des heures est celle dont l'angle a été multiplié par 12, donc l'heure est connue où les deux nombres sont entiers, auquel cas on ne peut savoir quelle est l'aiguille des heures d'où l'ambiguïté. Soit a et b , ces deux entiers < 12 , on aura le système d'équations $12x - y = a$, $12y - x = b$ dont la résolution donne $x = (12a + b)/143$ et $y = (12b + a)/143$, c'est-à-dire $x = k/143$ avec k entier. La condition $0 \leq x < 1$ donne $0 \leq k < 143$, soit 143 ambiguïtés. Cependant il n'y a pas ambiguïté si les aiguilles sont confondues, cela se produira quand $t/12 = t - [t]$, soit $t = 12n/11$ avec n entier $0 \leq n < 11$ donc 11 fois. Il reste $143 - 11 = 132$ cas ambigus qui en fait se regroupent deux par deux (les deux possibilités pour l'heure), soit finalement 66 heures ambiguës. En cas d'ambiguïté, les deux heures possibles sont $t_1 = 12x = 12(12a + b)/143$ et $t_2 = 12y = 12(12b + a)/143$, l'ambiguïté est donc $|t_1 - t_2| = 12|a - b|/13$. Elle est minimale pour $|a - b| = 1$, soit $|t_1 - t_2| = 12/13h > 55mn\ 23s$ et maximale pour $|a - b| = 11$, soit $|t_1 - t_2| = 132/13h > 10h\ 9mn\ 14s$.

Comme me l'on fait remarquer plusieurs lecteurs : en cas d'ambiguïté, il suffit au mathématicien d'attendre quelques secondes pour savoir quelle est l'aiguille des minutes, mais c'est oublier le caractère entier de tous mathématiciens!

L'éthique de la fin de vie

ROBERT ZITTOUN

La médecine doit s'effacer face à la mort et accompagner les mourants au lieu de légaliser l'euthanasie.

« **L**e seul problème moral vraiment sérieux, disait Camus, c'est le meurtre. Mais de savoir si je puis tuer cet autre devant moi, ou consentir à ce qu'il soit tué, savoir que je ne sais rien avant de savoir si je puis donner la mort, voilà ce qu'il faut apprendre. » Le temps a passé, et l'on n'a pas fini d'apprendre, ni de débattre de la position de la société et, notamment, de la médecine sur l'euthanasie.

Pour se doter d'une législation sur cette question, les pays démocratiques font des sondages : ils choisissent des échantillons de personnes qu'ils espèrent représentatives et leur demandent si elles seraient d'accord pour que l'on aide à mourir des personnes atteintes d'une maladie incurable, quand elles le souhaitent. Il est remarquable que la majorité des Français, même proches de la religion, répondent «oui».

Toutefois ces sondages sont doublement ambigus. D'une part, quand on demande «pensez-vous qu'il faille aider les gens en fin de vie à mourir?», on évoque aussi bien une euthanasie active qu'un accompagnement des individus malades dans le chemin vers la mort. D'autre part, la question est posée à des personnes qui ont été parfois très peu exposées à la fin de vie de leurs proches : on meurt aujourd'hui à l'hôpital. N'est-il pas gênant que cette grande majorité des Français qui réclame la légalisation de l'euthanasie connaisse si mal la fin de vie?

Dans le grand débat de l'euthanasie, deux questions principales se posent : qui décide de faire mourir une personne en fin de vie? Qui fait le geste? À propos de la légitimité du geste, deux grands mouvements idéologiques s'opposent : certains militent pour légaliser l'euthanasie active, et d'autres, dont je suis, réclament le développement d'une médecine de soins palliatifs, afin que la vie s'achève en causant le moins possible de souffrances (morales et physiques) au patient, à ses proches et aux personnels soignants (on ne tient jamais assez compte de ceux-ci).

Les deux mouvements ont des points communs : ils disent se préoccuper du patient en fin de vie et ils sont opposés à l'acharnement thérapeutique, qui prolonge la vie, mais, surtout, prolonge la souffrance, dans des conditions de déshumanisation : mort sous machine, sans communication possible avec les proches.

Pourquoi préférer le développement des soins palliatifs à la légalisation de l'euthanasie? Certains de ceux qui prônaient l'euthanasie active voulaient conserver aux mourants leur «dignité», mais l'idée est dangereuse : est-on moins humain quand les fonctions physiques ou l'apparence ne correspondent pas à une norme? Craignons l'instauration insidieuse d'une échelle de valeurs dans l'humanité ; cette idée a déjà conduit à des horreurs.

De surcroît, l'homicide, même par compassion, a toujours semblé incompatible avec la fonction soignante. Le «droit de mourir» existe, écrit le philosophe allemand Hans Jonas, mais cela ne donne pas un droit de tuer. En outre, si la société décidait de recourir à l'euthanasie, pourquoi des médecins devraient-ils être chargés de tels actes, contraires à leur fonction?

Les Pays-Bas et l'Oregon ont pris de ces mesures qui se discutent en France. Aux Pays-Bas, l'euthanasie n'est pas légalisée, mais dépénalisée, quand elle est réalisée à la demande expresse et réitérée du mourant, après discussion avec plusieurs médecins, qui transmettent leur compte rendu au procureur. Ce système est médiocre, car la moitié des actes d'euthanasie restent clandestins : n'aurait-on pas instauré une procédure supplémentaire, qui aurait dû être évitée?

D'autre part, l'Oregon a légalisé le suicide médicalement assisté : les patients peuvent réclamer la prescription par le médecin de médicaments qui leur permettent de se suicider. Dans les deux cas, les analyses récentes montrent la per-

sistance de souffrances chez bien des personnes qui ont recours à ces méthodes.

Cette dernière observation incite à analyser mieux les demandes d'euthanasie. Certes, un nombre croissant de personnes en fin de vie réclame l'euthanasie, et la société reconnaît un droit au suicide. Les partisans de l'euthanasie en tirent argument. Toutefois la volonté d'euthanasie n'est peut-être pas si fréquente qu'on le dit. D'ailleurs le médecin de terrain constate inévitablement que nombre de demandes d'euthanasie sont surtout des appels à l'aide : à certains moments, les patients disent préférer en finir, expriment que la mort serait préférable. Toutefois les personnes en fin de vie admettent tardivement leur état. Sauf dans quelques cas, leur demande ne révèle pas véritablement la volonté de recevoir un acte d'euthanasie de la part d'un médecin. Ce dernier doit donc les écouter, décoder, comprendre et soulager.

Arrêt d'un traitement ou euthanasie active : dans tous les cas, la décision ne doit pas être confisquée par le pouvoir médical, mais elle doit être donnée à l'environnement social : patients, familles, médecins, équipes soignantes. Ce report de responsabilité impose l'échange d'informations médicales et psychologiques. Comment préparer ces dialogues? Informons le public et donnons aux médecins un enseignement de l'humanisme (qu'ils ont bien insuffisamment!), à côté de l'enseignement scientifique et technique.

Enfin, et surtout, organisons matériellement l'accompagnement des mourants afin que les tentations d'euthanasie se réduisent. Créées à la fin des années 1980, les équipes multidisciplinaires de soins palliatifs ont pour fonction d'assister les malades en fin de vie. Ces unités n'épuiseront pas les demandes d'euthanasie, mais elles éviteront une légalisation dangereuse pour l'avenir. La recommandation récente du Comité consultatif national d'éthique, d'intégrer dans les pratiques et la loi une «exception d'euthanasie», entrouvre la porte vers une déviance des soins de fin de vie et des valeurs qui fondent notre société. Parfois, s'il est bon d'apporter une sédation terminale, apportons-la sans la qualifier d'euthanasie.

La fin de la vie est une intimité que la loi ne doit pas violer.

Robert ZITTOUN est professeur à l'Université Paris VI, ancien chef de service d'hématologie de l'Hôtel-Dieu et fondateur de l'équipe mobile de soins palliatifs.

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.



DR

Des lois de Mendel à la lecture du génome

MICHEL MORANGE

Les lois de l'hérédité que Mendel a établies sur des petits pois ont marqué le début de l'histoire de ce qui allait devenir la génétique, et de la grande aventure de la biologie du xx^e siècle.

Le 26 mars 1900, le botaniste néerlandais Hugo de Vries publie dans les comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris un texte intitulé *Sur la loi de disjonction des hybrides*, considéré comme l'acte de naissance de la génétique, même si ce nom ne fut donné à la nouvelle discipline que quelques années plus tard. Cent ans après, le décryptage complet du génome humain est entré dans sa phase finale et devrait être achevé d'ici deux à trois ans. Pendant ce siècle, la génétique est devenue le principal moteur des transformations de la biologie.

Pourtant, la publication de de Vries n'était que la «redécouverte» des lois établies, dès 1865, par Mendel : celui-ci avait travaillé sur des petits pois, et choisi sept caractères qui différaient entre variétés, par exemple la taille et la couleur des graines ou la longueur de la tige. En croisant ces différentes variétés, il avait pu

suivre la transmission, au cours des générations, de ces caractères, et établir les principales lois de l'hérédité : il existe des caractères dominants et d'autres récessifs ; les déterminants des caractères ne se mélangent pas et sont transmis inaltérés et de façon aléatoire à la descendance ; des caractères différents sont transmis de manière indépendante.

Les travaux de Mendel sont remarquables par le grand nombre de croisements réalisés, ce qui lui a permis d'établir des rapports exacts, que certains de ses prédécesseurs avaient entrevus, mais n'avaient pu démontrer ; ils le sont aussi par la rigueur de la démarche expérimentale, par le soin apporté au choix des caractères ou par les précautions prises pour éviter toute interférence avec la pollinisation naturelle.

Mendel présenta ses résultats en 1865 à la Société des sciences naturelles de Brno, et les publia un an plus tard dans

les comptes rendus de cette société. Pourtant, ces résultats furent ignorés.

Non pas, comme une légende tenace continue à l'affirmer, que Mendel ait été un pauvre moine isolé travaillant dans une province retirée de l'Empire austro-hongrois. Appartenant à un ordre religieux dynamique, ouvert sur le monde, enseignant dans une école technique située dans une région riche et commerçante de l'Europe, Mendel avait étudié à Vienne les derniers développements de la théorie cellulaire et il entretenait une correspondance avec plusieurs des grands biologistes de son temps. Si l'importance de son travail ne fut pas immédiatement reconnue, c'est que l'objectif de Mendel, la recherche des principes qui assurent la stabilité des plantes hybrides – un objectif de «jardinier» –, était bien différent de celui de la jeune génétique, qui recherchait les lois de transmission, au cours des générations, des variations héréditaires impliquées dans l'évolution des formes vivantes.

En outre, à l'époque de Mendel, les mécanismes intimes de la fécondation étaient encore mal connus. Grâce au travail des cytologistes et aux écrits de Charles Darwin, du biologiste allemand August Weismann (l'un des premiers à comprendre le rôle des chromosomes), et de de Vries, notamment, s'impose peu à peu, à la fin du xix^e siècle, l'idée qu'il existe un support matériel des phénomènes héréditaires, probablement localisé dans le noyau cellulaire.

En 1900, le terrain scientifique est prêt à accueillir une science de l'hérédité : presque simultanément, Carl Correns et Erich von Tschermak obtinrent les mêmes résultats que de Vries, et tous firent de Mendel le précurseur méconnu de leurs propres travaux. En réalité, les travaux de Mendel avaient été cités plusieurs fois dans des ouvrages publiés entre 1865 et 1900, et ses redécouvreurs les connaissaient



Collection Palais de la Découverte

Le jardin botanique où Mendel fit ses expériences.

probablement : en attribuant à Mendel la découverte fondamentale, ils réglaient ainsi un difficile problème de priorité.

La génétique se développe ensuite, simultanément, dans de nombreux pays. Elle se transforme, aussi, rapidement. En 1900, elle est une science d'observation et de prédiction de l'effet des croisements, elle n'est pas une science explicative. Elle n'apprend rien sur la nature du «matériel héréditaire», ni sur les mécanismes qui contrôlent la formation des caractères. Plusieurs des «pères de la génétique», et Thomas Morgan lui-même, qui est pourtant le premier à travailler sur la petite mouche drosophile et qui va fonder, aux États-Unis, dès 1910, l'école de génétique la plus dynamique, sont assez réticents à tenter d'identifier le support de l'hérédité.

L'attitude des premiers généticiens vis-à-vis des gènes ressemble à celle de beaucoup de chimistes vis-à-vis de l'atome quelques décennies plus tôt : certains chimistes acceptèrent le concept d'atome, car il permettait de prédire de nombreux phénomènes, mais ils refusèrent de transformer ce concept en un objet. Les raisons de cette attitude étaient multiples : prudence, influence de la philosophie empiriste, très répandue parmi les scientifiques à la fin du XIX^e siècle, qui recommandait de se méfier des concepts superflus, ou peur de la part de certains biologistes de revenir aux errements des préformationnistes qui, quelques siècles plus tôt, supposaient que les êtres vivants étaient entièrement préformés dans les organes reproducteurs de leurs parents, qu'ils existaient déjà terminés sous forme d'un homonculus minuscule, et qu'ils ne faisaient que se développer durant la grossesse. Toutes ces raisons se conjuguèrent sans doute pour donner à la jeune génétique un caractère formel, quelque peu désincarné, contrastant fortement avec les autres branches de la biologie.

L'histoire de la génétique pendant la première moitié du XX^e siècle est un lent processus d'objectivation du gène : localisation sur le chromosome, identification à une molécule d'acide nucléique et, enfin, démonstration de sa capacité à coder une protéine qui participe à l'une des multiples fonctions inhérentes à la vie cellulaire.

Cette difficulté à comprendre la structure et la fonction des gènes explique en partie l'isolement de la génétique pendant ses premières années d'existence. Le rapprochement avec les autres disciplines biologiques fut lent et progressif. À la fin des années 1930, les modèles des généticiens se combinèrent à la théo-

rie darwinienne de l'évolution pour engendrer le néo-darwinisme, ou théorie synthétique de l'évolution. Celle-ci propose que l'évolution des formes vivantes résulte de mutations de petite amplitude, apparaissant spontanément chez les êtres vivants et transmises selon les lois de Mendel, et de la sélection naturelle de ces mutations au cours des générations. Le rapprochement avec l'embryologie fut encore plus difficile, et ce n'est qu'au début des années 1980 que s'est pleinement épanouie la génétique du développement.

UNE DISCIPLINE ISOLÉE, MAIS AUTONOME

Cet isolement de la génétique n'a pas eu que des effets négatifs : en Grande-Bretagne ou aux États-Unis, notamment, il a favorisé l'autonomisation de cette discipline et son développement rapide. La petite mouche drosophile choisie par Morgan était un matériel expérimental exceptionnel : peu consommatrice de nourriture, se reproduisant rapidement, elle permettait, avec un investissement matériel et financier limité, d'observer en peu de temps l'effet de centaines de croisements différents. Les résultats ainsi établis furent transposés à d'autres espèces animales et végétales.

Ce schéma de développement, c'est-à-dire une autonomisation et une croissance rapide, suivies de l'établissement difficile de relations avec les autres branches de la biologie, n'a pas été général. En Russie, par exemple, les approches de la génétique furent très tôt appliquées à l'étude des populations animales en milieu naturel, ouvrant ainsi la

voie au rapprochement entre génétique et théories de l'évolution. De même, plusieurs mutations perturbant la formation de la drosophile ont été décrites précisément par les généticiens russes, qui tentèrent de les expliquer par le schéma de développement de cet organisme. Ces travaux furent brusquement arrêtés lorsque la génétique fut critiquée comme science bourgeoise et réactionnaire, à laquelle on substitua la théorie lyssenkiste, forme caricaturale du néo-lamarckisme. La génétique semblait figer le devenir des formes vivantes et, en particulier, de l'homme ou, du moins, rendre ce devenir aléatoire et incontrôlable. À l'opposé, le lamarckisme, en proposant que le milieu puisse transformer, de manière stable et transmissible, les formes vivantes, laissait à l'homme un large champ d'action sur les espèces vivantes, animales ou végétales, et sur lui-même : la transformation de l'homme par l'homme restait possible. Toutefois, les premiers travaux russes ne furent pas entièrement oubliés : grâce à plusieurs savants qui émigrèrent aux États-Unis, comme Theodosius Dobzhansky, ces spécificités de la génétique russe furent importées dans la génétique américaine.

En Allemagne, les études de génétique n'ont pas été séparées des travaux de physiologie ou d'embryologie : la modicité des moyens attribués à la recherche allemande, du fait de la crise économique, et la rigidité du système universitaire germanique ont rendu impossible l'autonomisation de la discipline. De surcroît, la biologie allemande fut décapitée en 1933, lors de l'arrivée au pouvoir des nazis, ce qui assura le succès sans partage de la génétique «morganienne».



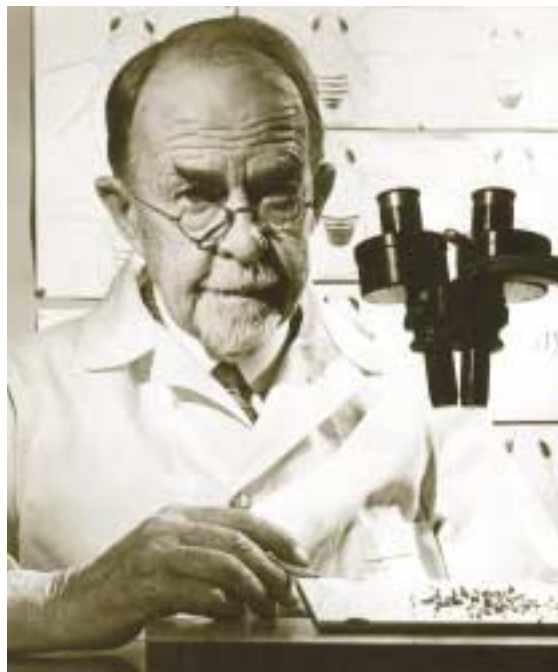
Le botaniste de Vries, ici procédant à des fécondations et à des croisements de fleurs, a activement participé à la redécouverte des lois de Mendel.

LA MENACE
EUGÉNISTE

En France, plus encore même qu'en Allemagne, l'autonomisation de la génétique fut lente. La première chaire de génétique ne fut créée dans notre pays qu'après la Seconde Guerre mondiale. Ce rejet de la génétique est souvent considéré comme la suite logique, mais regrettable, du mauvais accueil réservé au darwinisme à la fin du XIX^e siècle et comme la conséquence d'une forte tradition lamarckienne. En fait, la situation était plus complexe. Dès 1902, le biologiste français Lucien Cuénot est le premier à montrer que les lois de Mendel établies sur les végétaux s'appliquent aussi aux mammifères. La plupart des biologistes français, tel Maurice Caullery, ne rejettent pas le mendélisme, mais lui attribuent une importance moindre que celle d'autres mécanismes essentiels pour le développement embryonnaire.

Enfin, la contribution des biologistes français Georges Teissier, Philippe L'Héritier et Gustave Malécot au développement de la génétique des populations commence seulement aujourd'hui à être pleinement reconnue. De plus, l'attention portée par beaucoup de biologistes français à la physiologie et aux capacités d'adaptation des organismes vivants, héritée de Claude Bernard, fut essentielle pour le développement des travaux sur la régulation génétique de l'école française de biologie moléculaire, représentée par André Lwoff, François Jacob et Jacques Monod. Ces travaux permettaient de comprendre comment l'activité des gènes pouvait être modifiée par des signaux venus de l'extérieur de la cellule, ou même de l'organisme. Considérés comme les plus «élégants» de l'histoire de la biologie moléculaire, ils constituèrent, dans les années 1980, le socle de la génétique du développement.

Les biologistes français, qui ont quelque peu dédaigné la génétique et opté pour un modèle lamarckien d'évolution, ont généralement échappé aux errements eugénistes. L'eugénisme n'est pas une conséquence directe de la génétique, puisque les idéologies eugénistes, visant au contrôle de la reproduction humaine, ont accompagné l'humanité depuis l'Antiquité. La «science de l'eugénisme» a été fondée par Galton à la fin du XIX^e siècle, avant même l'essor de la génétique. Beaucoup de généticiens ont crû qu'ils devaient apporter leurs compétences au service des projets eugénistes, certains par conviction personnelle qu'une politique eugé-



Thomas Morgan a été l'un des premiers à entrevoir le potentiel qu'offrait la drosophile pour l'étude des gènes.

niste était nécessaire pour lutter contre la dégradation du «patrimoine» génétique humain (pour reprendre une expression actuelle), d'autres, sans doute, par opportunisme et dans l'espoir d'attirer ainsi vers eux attention et financements.

Aujourd'hui comme hier, les gènes fascinent. Montaigne s'étonnait déjà dans *Les Essais* que sa propension à avoir des calculs rénaux lui ait été transmise par son père des décennies plus tôt, alors que ce dernier n'en avait pas encore lui-même souffert. Quel mystère et quelle puissance dans cette goutte de semence ! Logés au cœur de chacune de nos cellules, les gènes semblent être les témoins fidèles de notre passé biologique et les organisateurs de notre devenir. L'étude des gènes permet de reconstituer l'histoire du peuplement de la terre par *Homo sapiens sapiens*. La lecture de la séquence de certains de nos gènes annonce la survenue de telle ou telle maladie. Demain peut-être, demain sans doute, elle nous autorisera à connaître, dès la naissance, certaines des caractéristiques physiologiques ou psychologiques fondamentales des êtres humains.

Paradoxalement, plus la connaissance des produits des gènes progresse, plus la relation entre les gènes et les caractères apparaît compliquée. Les produits élémentaires de nos gènes s'assemblent en réseaux et en machines moléculaires complexes, nichées au sein de nos cellules. Les mêmes composants élémentaires participent à des fonctions très diverses. Les fonctions les plus complexes de l'organisme reposent sur les propriétés de milliers de cellules, elles-mêmes constituées

de centaines de composants élémentaires différents, dont bien peu sont spécifiques de la fonction considérée. Intervention multiple des mêmes gènes dans des mécanismes différents, participation de plusieurs gènes semblables à la réalisation d'un même mécanisme : tous ces phénomènes connus depuis les débuts de la génétique, mais dont les travaux récents ont souligné l'importance, donnent au pouvoir des gènes des caractéristiques bien particulières.

Les approches de l'ère post-génomique, où nous entrons aujourd'hui après que la structure de l'ensemble des gènes de plusieurs organismes vivants a été déterminée, tiennent compte des observations précédentes. En s'appuyant sur de nouvelles technologies comme les biopuces à ADN, les biologistes vont étudier simultanément l'activité de l'ensemble des gènes de l'organisme. L'objectif est de remplacer le réductionnisme étroit de

la génétique classique, qui mettait en relation les différentes caractéristiques d'un organisme vivant avec l'activité d'un ou de quelques gènes, par une vision plus globale, où les états de fonctionnement de la cellule ou de l'organisme seront reliés à des «cartes» d'activité génique.

Cette nouvelle génétique, aujourd'hui en gestation, représentera sans nul doute une révolution profonde dans notre connaissance des êtres vivants. Elle aura le mérite d'écarter les fantasmes de la recherche «du» gène de l'intelligence ou de l'homosexualité. Elle ne retirera rien, au contraire, au pouvoir des gènes.

Il faudra apprendre à naviguer entre l'eugénisme et l'angélisme de ceux qui déniaient tout pouvoir aux gènes, et se convaincre que les gènes sont ce qui nous permet d'être humain, non ce qui détermine quelle femme ou quel homme nous serons. Chacun de nous porte un ensemble de formes de gènes différentes, qui nous donnent des aptitudes différentes. À nous de développer ces aptitudes et de pallier nos inaptitudes. Notre égalité en tant qu'êtres humains ne repose pas sur l'identité de nos capacités et de nos gènes, mais sur la liberté que chacun de nous a de développer au mieux ses propres capacités.

Michel MORANGE travaille dans le Laboratoire de génétique moléculaire à l'École normale supérieure de Paris. Il a participé à l'organisation du colloque de l'Académie des sciences et de l'Institut de France 1900, *Redécouverte des lois de Mendel*, qui s'est tenu du 23 au 25 mars 2000.

