



Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Août 2000

édition française de

www.pourlascience.com

SCIENTIFIC
AMERICAN



*Le futur du Mont
Saint-Michel*



L'électronique moléculaire

M 2687 - 274 - 38,00 F



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

BLOC-NOTES

de Didier Nordon

TRIBUNE DES LECTEURS

JEU-CONCOURS

Équilibrage de lustre

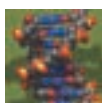
par Pierre Tougne



POINT DE VUE

La sécurité alimentaire

par Pierre Louisot



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

La course aux gènes : et après?

par Brigitte Chamak



SCIENCE ET GASTRONOMIE

Les gnocchis

par Hervé This



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

■ Le récif corallien de Tahiti

■ Les neurones de la marche

■ Les bons rires font les bons amis

■ Les ondes sans dessus dessous

■ Cellules en sommeil prolongé

■ La ponte des pythons

VISIONS MATHÉMATIQUES

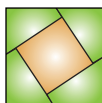
Paradoxes perdus et retrouvés

par Ian Stewart

IDÉES DE PHYSIQUE

Matière à penser

par Roland Lehoucq et Michel Cassé



LOGIQUE ET CALCUL

La mise en pièces d'un carré

par Jean-Paul Delahaye



ANALYSES DE LIVRES

■ *Quand la science a dit... c'est impossible,*

de Jean-Michel Alimi, Gilles Dowek, Laurence Rolland

■ *Histoire du médecin,* sous la direction de Louis Callebat

■ *Voyage à l'intérieur de la Terre,* de Vincent Depris et Hilaire Legros

■ *Guide des fossiles de France et des régions limitrophes,*

de Jean-Claude Fischer

■ *Cent ans après, la radioactivité. Le rayonnement d'une découverte,*

de René Bimbot, André Bonnin, Robert Deloche et Claire Lapeyre

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. Un dépliant Année mondiale des mathématiques 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

4

5

6

7

8

12

14

86

88

96

102

**Entre terre et mer :
le Mont-Saint-Michel**

22

par Fernand Verger

S'appuyant sur les datations géologiques et les témoignages historiques, les géographes retracent les variations de la ligne de rivage au voisinage du Mont-Saint-Michel.



Les anticoagulants de synthèse

28

par Maurice Petitou
et Jean-Marc Herbert

Les médicaments anticoagulants sont essentiels pour combattre la maladie thromboembolique veineuse. Se fondant sur l'analyse d'anticoagulants naturels, les chimistes ont synthétisé de nouveaux médicaments.

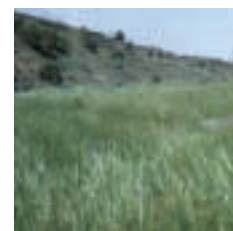


De la cueillette à l'agriculture

36

par George Willcox

L'homme préhistorique subsistait grâce à la chasse et à la cueillette. Puis, il y a environ 10 000 ans, au Proche-Orient, il a commencé à cultiver les céréales qui poussaient à l'état sauvage. Toutefois, leur domestication a duré plus d'un millénaire.



Le déclin des Indiens

42

par Clark Spencer Larsen

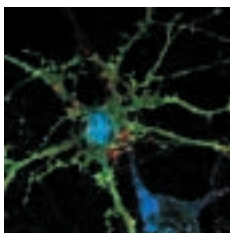
La paléopathologie confirme que des maladies apportées par les Européens en Amérique ont décimé les Indiens. Ils étaient simultanément fragilisés par des changements de leur régime alimentaire et de leurs conditions de vie.



La communication dans les cellules 50

par John Scott et Tony Pawson

Nos cellules contiennent des systèmes de communication perfectionnés qui captent les messages externes et assurent la transmission fiable de l'information jusqu'aux molécules qui effectuent les réactions ainsi commandées.



La première céréale cultivée 58

par Francesco Salamini

Grâce à la biologie moléculaire, des botanistes ont déterminé le lieu et l'époque de la première domestication d'une céréale



Flambées d'étoiles dans les galaxies naines 64

par Sara Beck

Dans les galaxies minuscules, les étoiles naissent parfois par bouffées spectaculaires. Ces flambées stellaires renseignent sur l'histoire des débuts de l'Univers.



La banque de l'espoir 72

par Muhammad Yunus

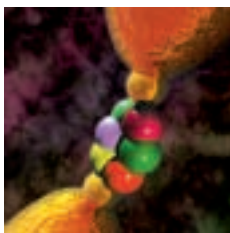
Une expérience financière qui était initialement confinée à une petite zone du Bangladesh s'est révélée utile pour diminuer la pauvreté.



Les ordinateurs moléculaires 78

par Mark Reed et James Tour

Les chimistes synthétisent des molécules qui stockent ou qui modifient l'information. Ils cherchent aujourd'hui à assembler ces molécules pour construire des ordinateurs moléculaires.



Plus grandes, plus grosses, plus impressionnantes étaient les réalisations des ingénieurs du XIX^e et du XX^e siècle finissant. Les scientifiques ont changé d'orientation : leurs exploits spectaculaires sont microscopiques. Aussi, la recherche de composants moléculaires qui dépasseraient les limites du transistor, une centaine de nanomètres, est-elle une nécessité : la voie moléculaire est une des rares envisageables (voir *Les ordinateurs moléculaires*, page 78) ; elle semble prometteuse.

Question : pourquoi faire ? Les capacités de calcul mental du cerveau sont déjà dépassées par la plus petite des calculettes ! Réponse partielle : pour l'aide à la décision. La combinaison des données et des processus logiques de calculateurs plus puissants permettent déjà d'optimiser nombre de processus et d'éviter des dangers que la faculté combinatoire humaine ne pouvait envisager seule : la sécurité des centrales nucléaires et des dispositifs de commande d'avions repose sur ces programmes. Ces utilisations seront généralisées.

Il est vrai que la faculté d'invention humaine, fondée sur l'intuition, n'a pu être mise sous forme logique, incapacité déjà évoquée par Poincaré il y a exactement un siècle. Pourquoi, s'étonnait-il, si les capacités des instruments de la logique sont si performantes, ne démontre-t-on pas plus de théorèmes, n'invente-t-on pas de théories physiques expliquant le monde ? Après tout, les théorèmes mathématiques ne sont que les conséquences logiques d'un tout petit nombre d'axiomes. Il y a dix ans que les logiciens se sont donné des ailes avec la «logistique», ironisait Poincaré à son époque, et ils ne volent toujours pas ! Le problème est actuel, et le mystère de l'intuition reste entier. Il se pourrait, si l'on croit à la pensée réaliste, que la taille du cerveau humain et les interconnexions neuronales soient le critère quantitatif qui engendre un changement qualitatif. Nous saurons dans le siècle qui naît si la créativité n'est qu'un problème de taille, ou si une essence autre nous échappe.

En aparté : les recherches sur l'informatique restent hantées par la menace d'un Big Brother qui pourrait régenter les individus et les sociétés. Appréhension légitime. Mais il est d'autres inquiétudes. L'intuition d'un astrologue qui conseillait un Président de la République détenteur du feu nucléaire est-elle un guide que nous envisageons sereinement ? Dans de multiples domaines, l'aide informatique à la décision fournirait des garde-fous rationnels à la décision.

PHILIPPE BOULANGER



BLOC-NOTES

DIDIER NORDON

«De Darwin à Hitler».

Ce sous-titre d'un livre d'André Pichot, *La société pure* (Flammarion, 2000) paraît provocateur. Toutefois, historien des sciences, André Pichot ne manque pas d'éléments pour le justifier. Le nazisme, dont le propre a été de fonder la politique sur la biologie, n'aurait pas pu naître s'il n'avait été aidé par le racisme de quasiment tous les biologistes qui l'ont précédé, à commencer par Darwin. D'autre part, l'eugénisme ne fut pas un accident, mais la tentation constante des biologistes. «Ce sont les généticiens et les évolutionnistes qui ont inventé et popularisé les thèses eugénistes en étendant l'hérédité à tout et n'importe quoi». Or le premier en date des crimes de masse planifiés par le nazisme fut le gavage des handicapés.

Je n'ai pas les compétences pour discuter les arguments d'A. Pichot mais, à coup sûr, il oblige à réévaluer les idées reçues. Par exemple, il relativise le rôle des idéologues racistes Gobineau et Vacher de Lapouge, et les estime moins responsables qu'un scientifique comme Haeckel ; quant à Alexis Carrell, qu'on a autant d'unanimité à condamner aujourd'hui qu'on en eut hier à l'encenser, Pichot le juge aussi coupable, mais pas plus, que les biologistes américains qui, à la même époque, prônaient l'eugénisme.

Pichot montre que la biologie ne combat pas les préjugés idéologiques. Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, les plus brillants des biologistes, les plus sympathiques, trouvèrent dans la science la confirmation de leur racisme (qu'ils partageaient avec leur temps), voire fabriquèrent la science à cet effet. Pichot ne croit pas que nous soyons désormais à l'abri d'errements analogues. La façon dont les biologistes se refusent à reconnaître et analyser les compromissions passées est mauvais signe. En outre, l'attitude des généticiens présente de dangereuses contradictions. Ils justifient le droit à la différence et font l'éloge de la diversité génétique mais, en même temps, ils veulent fonder l'égalité des droits des hommes sur la relative unicité génétique de l'espèce humaine.



Un Colomb, des colons !

Le laps de temps entre une découverte et sa diffusion massive dans la société sous forme de nouveauté ne cesse de diminuer.

On le dit, on le répète. Presque chaque nuit pourtant, nous observons un contre-exemple évident : la Lune. Regardez-la. Voici trente ans que les hommes y sont allés. Est-elle colonisée? Toujours pas. Du temps de Christophe Colomb, on était plus dégourdi. Trente ans après son voyage, il y avait nettement plus de Blancs dans les parages des Amériques qu'il n'y a aujourd'hui d'hommes sur la Lune. Faut-il voir là une chance que les Sélénites ont et que les Amérindiens n'ont pas eue?



Poinbaud et Rimcaré

«**L**a mathématique est l'art de donner le même nom à des choses différentes» affirmait Poincaré en 1908 dans *Science et Méthode*. Reconnaître une même structure, à l'œuvre dans des situations apparemment diverses, est de fait un grand succès. Prise au pied de la lettre, toutefois, la phrase devient vertigineuse. Des choses différentes devraient-elles porter le même nom? C'est dire combien les apparences sont trompeuses : seuls les noms détournent quelque vérité.

«Je est un autre» proclamait Rimbaud dans des lettres en 1871. Phrase elle aussi vertigineuse! Ce «moi» auquel nous croyons n'est qu'une collection d'états mentaux réunis, par convention, sous un même nom. Sous l'apparence du moi, gît en fait un autre, un inconnu. Comment distinguer ce qui, en moi, vient des autres et ce qui, dans les autres, vient de moi?

Résumons. Selon Poincaré, des situations mathématiques qu'on pense diverses sont, en réalité, les mêmes. Selon Rimbaud, le moi, qu'on croit constant, est en réalité divers. Ces deux conceptions se rejoignent : l'évidence des mots et l'évidence des choses sont incompatibles ; on ne doit et on ne peut pas plus se fier



à l'une qu'à l'autre ; nous vivons dans un monde de leurres. Ainsi, Poincaré et Rimbaud étant tous deux nés en 1854, est renforcée la thèse selon laquelle les idées des gens d'une même époque se ressemblent, déterminées par l'air du temps plus que par les personnalités.

Maintenant, à nous de jouer. Rimbaud et Poincaré étant différents, l'art mathématique commande de leur donner un seul et même nom - par exemple, Poincaré. Donc Rimbaud égale Poincaré. Mais puisque «je est un autre», Poincaré, en fait, est un autre. Qui est-il? Celui qui est né pile en même temps, pard! Si ce n'est Poincaré, c'est donc Rimbaud.

Prouvée par deux voies indépendantes - La mathématique et la poésie - l'égalité entre Rimbaud et Poincaré ne saurait être mise en doute.

Einstein est dépassé

Il faut, tous les jours de l'année, se méfier des poissons d'avril. Cette morale étant tirée, voici la fable.

Il s'agit d'un article de réflexion sur la physique dû à Marceau Felden (*Un point de vue heuristique concernant les propriétés de la vitesse de la lumière*). Le thème : peut-on dépasser la vitesse de la lumière? Moyennant un effort soutenu, le non physicien lit les aventures des tachyons aux prises avec l'effet tunnel. Soudain, une éclaircie : un passage, pas plus facile que les autres, mais écrit en langage courant "G. Nimtz déclare avoir transmis la 40^e symphonie de Mozart, à 4,7 fois la vitesse de la lumière sur une distance de 12 centimètres". Voilà une information amusante mais, plus encore qu'amusante, bizarre. Trop bizarre, même... S'agirait-il d'une blague? Pour en avoir le cœur net, le lecteur se reporte à la source donnée en note. Soulagement : l'information provient du *New Scientist*, revue de confiance. Mais... Aie! La date de publication est : 1^{er} avril 1995. Tant pis pour moi, se dit le lecteur. L'article est une farce ; à essayer de le comprendre, je me suis fatigué pour rien et couvert de ridicule. J'aurais dû m'en douter : ne m'a-t-on pas dit et répété qu'aller plus vite que la lumière est impossible?

Las, les journaux scientifiques ont le droit de paraître le 1^{er} avril, sans pour autant être obligés de raconter des blagues ce jour-là. Renseignement pris et lecture du *New Scientist* consciencieusement faite, il apparaît que l'affaire ne relève pas du canular.

Ainsi le champ d'application de la physique est plus vaste que celui des poissons d'avril.

TRIBUNE DES LECTEURS

Intelligence accrue

Dans l'article «Une souris intelligente» (voir *Pour la Science*, juin 2000), Joe Tsien affirme que l'intelligence d'une souris est limitée par les propriétés de ses récepteurs au NMDA, et que des modifications de ces propriétés peuvent augmenter la mémoire sans causer d'effets secondaires.

Bien qu'il explique pourquoi les facultés de mémorisation diminuent avec l'âge, J. Tsien ne cherche pas à savoir pourquoi l'évolution n'a pas favorisé un allongement du temps d'ouverture de ces récepteurs au NMDA (et ainsi accroître la formation des souvenirs) à la fois chez les jeunes et chez les adultes. Une telle augmentation aurait-elle des effets indésirables, ou une intelligence ainsi accrue générerait-elle les capacités d'adaptation? Ceux qui cherchent des médicaments favorisant la mémoire devraient tenir compte de tels effets.

Elliot NOMA, Metuchen

Réponse de Joe Tsien

Les capacités d'apprentissage et de mémoire ne sont pas uniquement déterminées par la durée d'ouverture des récepteurs au NMDA. Il est très probable que d'autres molécules et d'autres niveaux de complexité du système nerveux jouent un rôle important dans ces facultés.

Le courant d'ions calcium à travers les récepteurs au NMDA est indispensable, mais une quantité excessive tuerait les cellules nerveuses. L'évolution a peut-être déjà sélectionné les récepteurs qui restent ouverts plus longtemps, mais seulement jusqu'au moment où l'organisme devient mature sexuellement et se reproduit.

Le calcul du soleil

J'ai lu avec grand intérêt l'article sur le troupeau du soleil (voir *Pour la Science*, mai 2000). Peut-être serez-vous intéressé par l'article paru dans le bulletin 358 (avril 1998) de l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public dont je suis l'auteur.

Cet article était, en quelque sorte, une réponse à une remarque faite par le professeur Jean Itard dans son livre *Arithmétique et théorie des nombres (Que sais-je?)*, Presses universitaires de France), que je cite ici : «Le problème des bœufs conduit à une équation de Fermat $x^2 - Ay^2 = 1$. Il est donc toujours possible. Quant à expliciter sa solution finale, c'est une autre histoire!»

Pour la «petite» histoire, les calculs ont entièrement été faits «à la main» pour res-

pecter l'époque à laquelle ce problème a été posé. En particulier, la décomposition en fraction continue aboutissant à a et b de l'article (p et q du mien), y compris la vérification de $p^2 = 1 + 4729494q^2$ a duré environ 50 heures (tout à la main!).

Comme vous le mentionnez, la plus petite solution définitive de l'équation de Fermat $\lambda^2 = 1 + 2 \times 3 \times 7 \times 11 \times 29 \times 353 \times (2 \times 4657)^2 \mu^2$ est :

$$\lambda = ((p + q!A)^{2329} + (p - q!A)^{2329})/2$$
$$\mu = ((p + q!A)^{2329} - (p - q!A)^{2329})/(4 \times 4657!A)$$
$$A = 4\,729\,494$$

p et q étant a et b de votre texte

La résolution de l'ensemble du problème a duré environ 75 heures : il suffisait donc d'un peu de patience et d'obstination.

Si donc, au III^e siècle avant notre ère, les fractions continues étaient connues, Archimède (et donc aussi Ératosthène) auraient pu au moins trouver λ et μ (à l'exposant près peut-être), mais le calcul des nombres λ et μ eux-mêmes ne saurait être fait «à la main», évidemment!

Michel CHAMBON, Forges-les-Bains

Des essais non lucratifs

Dans son article «Les essais cliniques» (voir *Pour la Science*, juin 2000), Justin Zevin attire l'attention sur les procédures médicales et pharmaceutiques. Cependant, un régime approprié et un nouveau mode de vie sont parfois préconisés pour traiter certaines affections, et ce, avec très peu d'effets indésirables.

Aujourd'hui, seuls quelques régimes ont été testés rigoureusement, et la plupart d'entre eux concernent les maladies cardiaques. Je soigne deux enfants par des régimes, car ceux-ci sont plus efficaces que les médicaments.

Est-ce une anomalie ou bien une tendance? Si un régime approprié aide trois pour cent des millions d'enfants traités par la Ritaline, nous devons le démontrer et en informer aussi bien les parents que les scientifiques.

Malheureusement, personne ne se préoccupe de tels tests cliniques : ces traitements ne rapportent aucun profit aux investisseurs. Notamment, les sociétés pharmaceutiques ne veulent pas perdre un seul de leurs clients.

Comment pouvons-nous déterminer la fiabilité et la sécurité des régimes et des changements de conditions de vie quand les études requises ne sont pas lucratives et ne peuvent être effectuées en double-aveugle?

Karl DAHLKE, Troy

Réponse de Justin Zivin

Les sociétés pharmaceutiques font du commerce et sont tenues, devant leurs actionnaires, d'augmenter leur chiffre d'affaires. Elles ne sont donc pas encouragées à commencer des études d'évaluation de thérapies qu'elles ne pourront pas breveter ou qui ont des perspectives commerciales restreintes. Les associations de malades ou les philanthropes privés ont des ressources limitées qu'ils consacrent le plus généralement à des études classiques des maladies. Seul le gouvernement peut débloquent des fonds pour tester des traitements à faible potentiel économique.

Aux États-Unis, les Instituts nationaux de la santé – le plus important pourvoyeur de fonds publics – affecte une part notable de son budget aux essais cliniques. Cependant les administrateurs de ces instituts et les conseillers scientifiques extérieurs ont des vues divergentes sur l'attribution des allocations de recherche.

De surcroît, les pressions politiques et les contraintes budgétaires nationales peuvent modifier l'ordre des priorités. Les régimes et les autres choix de modes de vies peuvent être étudiés par les méthodes des essais cliniques, mais de telles recherches sont coûteuses, et seuls les gouvernements peuvent supporter de tels dépenses.

Quid des virus?

Dans l'article «L'arbre du vivant : un buisson foisonnant» (voir *Pour la Science*, avril 2000), Ford Doolittle indique que toutes les formes vivantes ont évolué à partir d'une communauté ancestrale de cellules primitives. Toutefois, cette hypothèse n'exclut pas la possibilité, pour les membres de cette communauté, d'être issus d'un ancêtre commun unique. Ce scénario est même plus probable que l'apparition indépendante et simultanée de plusieurs formes vivantes distinctes.

De plus, l'article ignore un mécanisme évolutif de transfert latéral de gènes : le transfert par des virus. Certains virus qui infectent de nombreux hôtes peuvent transférer des gènes d'une espèce à une autre et jouer ainsi un rôle dans l'évolution.

Dimitri CHERNYAK, Berkeley

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.

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 :

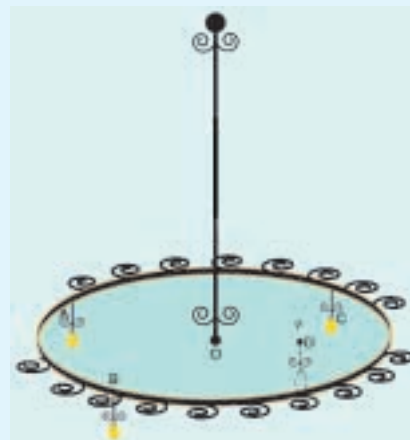
à retourner avec votre règlement à
Revue du PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
Av. Franklin-D.-Roosevelt - 75008 Paris.
Tél. : 01 40 74 80 0

JEU-CONCOURS N° 74

PIERRE TOUGNE

Équilibrage de lustre

Dans une brocante, j'ai trouvé un lustre moderne constitué d'un plateau circulaire et de trois lampes identiques situées aux sommets d'un triangle ABC acutangle sur la périphérie du plateau, le fil de suspension passant par le centre O du plateau circulaire. Malheureusement, alors que je l'accrochai, il avait un petit air penché! Où dois-je accrocher sur le plateau une quatrième lampe (identique aux trois autres) pour que le lustre soit horizontal?



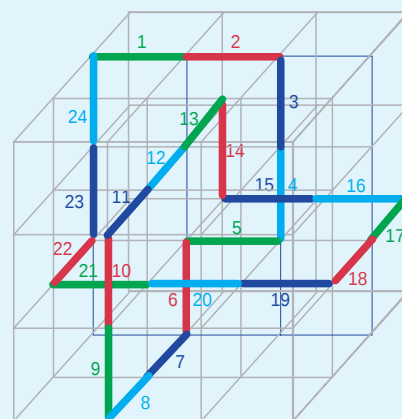
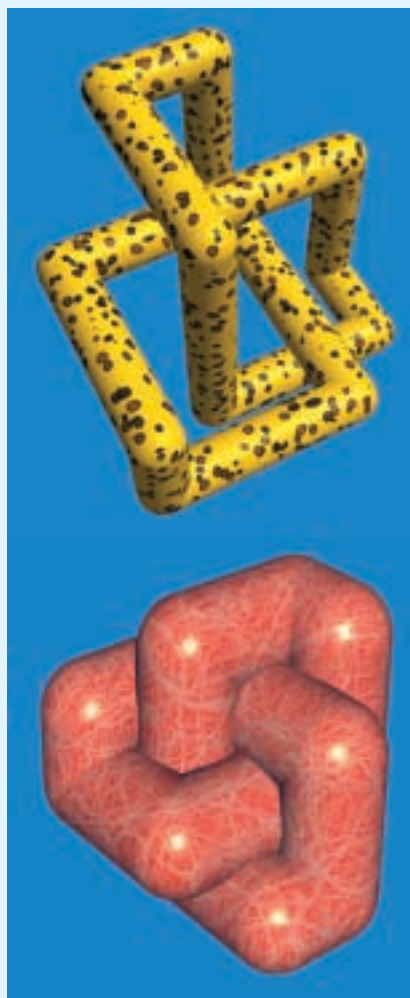
Envoyez vos réponses aux questions à *Pour la Science*, 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06. Parmi les réponses exactes reçues en août 2000, dix gagnants recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 72

Il faut au minimum 24 monomères sur un réseau cubique $3 \times 3 \times 3$ pour réaliser une molécule en nœud de trèfle, et nous en donnons ci-dessous un exemple. Deux tels nœuds (à gauche) créés par Pierre Revol-Abel, intitulés Merguez transgénique et Marsupilami énervé sont particulièrement réussis...

Dans les polymères proches de la cristallisation de tels nœuds apparaissent et rigidifient le polymère. Le nombre de monomères minimal pour que le nœud le plus simple apparaisse est de 24, mais on estime qu'il en faut en moyenne une trentaine dans un polymère réel. Les experts ont déterminé dans les polymères les probabilités d'apparition de tels nœuds (voir *La science des nœuds*, Dossier Pour la Science, avril 1997).

De tels nœuds dans le ruban d'ADN pourraient perturber sa duplication ou l'accès à des sites fonctionnels importants.





La sécurité alimentaire

PIERRE LOUISOT

Doutes et réalités en agriculture et en alimentation.

Certains prophètes entretiennent avec délice le spectre du désastre alimentaire permanent, en remuant quotidiennement du prion, de la listeria, du maïs transgénique, du plomb, de la dioxine, des antibiotiques, etc.

Bien sûr, les erreurs ou les accidents sont toujours possibles, et l'on doit les prévenir ou les corriger. Le «chimique» est toujours haut placé dans la gamme des horreurs et «l'anti-chimique» est présenté comme la panacée ! La réalité est que ce «chimique» si décrié est en réalité un des outils les plus précis, les plus sûrs, les plus scientifiquement expertisés et les plus contrôlés de toute la chaîne agro-alimentaire. Doutes et réalités ne sont peut-être pas là où on les attend !

Par exemple, en s'en tenant exclusivement au point de vue scientifique, et en éliminant les considérations idéologiques, politiques, hédoniques, éthiques ou commerciales, etc., on doit objectiver les dangers potentiels d'une tendance portant le nom attrayant d'agriculture «biologique». Cette agriculture volontairement «anti-chimique» est-elle sans danger ? Les produits utilisés pour enrichir ses sols sont des préparations «naturelles», mais incontrôlables, comme le fumier, les fientes d'oiseaux (guano), des composts forestiers, des sous-produits d'huileries (tourteaux), des sous-produits animaux (os, corne, sang), etc. : le risque ancien de transmission de maladies parasitaires ou microbiennes par les excréments se double aujourd'hui d'un danger de transmission de virus ou de prions.

Dans certaines conditions de culture, les produits de cette agriculture contiennent des nitrates en concentrations supérieures à celles observées en agriculture classique... Peu importe, d'ailleurs : aux doses courantes, les nitrates sont métaboliquement assez anodins. On sait aussi que la composition en nutriments des produits issus de l'agriculture biologique n'est pas originale : l'allégation de

«meilleure santé» n'a donc aucun fondement scientifique.

La protection phytosanitaire mise en œuvre par l'agriculture biologique mérite d'être analysée soigneusement, car les protecteurs chimiques de synthèse y sont remplacés par des produits pas toujours anodins. L'agriculture biologique ne fait pas courir de risques de toxicité aiguë – on l'aurait détectée depuis longtemps –, mais elle expose les consommateurs à des risques potentiels à long terme : par exemple, le danger de prolifération fongique, donc de mycotoxines cancérigènes, dont on ne maîtrise pas aujourd'hui l'impact en consommation régulière. De même, des composés riches en soufre ou en cuivre, très largement utilisés, ne sont sans doute pas sans risque à long terme.

Les insecticides «naturels» (comme la nicotine, la rotenone, le pyrèthre) ou des extraits d'algues, de prêles, d'orties, etc., ne sont peut-être pas toxiques, mais il n'est nullement assuré qu'ils ne le soient pas : seules des recherches approfondies, chez l'homme, révéleraient leur innocuité éventuelle.

L'agriculture biologique ne répond aujourd'hui qu'à une obligation de moyens, et non de résultats. Tant que ce type d'agriculture produira localement, les aspects sécuritaires passeront au second plan. Si les produits issus de telles pratiques agricoles dépassaient le niveau local et s'ils étaient transportés loin ou stockés, alors réapparaîtraient les mêmes risques sanitaires que ceux d'autrefois, quand l'espérance de vie était bien inférieure à la nôtre. Une «attitude de précaution» s'impose à l'évidence.

D'autres réalités sont plus cruelles. Il y a plusieurs manières dans le monde d'accéder au métaboliquement correct : l'équilibre français, dont sa triplé toulousaine cardioprotectrice (foie gras, cassoulet, vin rouge) ; l'équilibre Nord-européen, déjà moins rassurant pour la santé ; l'équilibre chinois, riche

en riz, en légumes et en poissons ; l'équilibre Sud-américain, riche en viandes. Il y a également plusieurs manières d'atteindre le métaboliquement incorrect : la plus efficace est le déséquilibre Nord-américain, riche en tout, avec une déstructuration totale des repas, une boulimie permanente : 30 pour 100 d'obèses !

La France n'est pas à l'abri de perturbations métaboliques, si le consommateur se laisse bercer par les «illusionnistes de la santé». Quelques risques méritent d'être évoqués : la déstructuration des repas et la consommation permanente ; les régimes de carence, qui garantissent «la ligne» des jeunes filles, mais leur assurent aussi l'ostéoporose, les tassements vertébraux et les sciatiques de leurs vieux jours ; les gavages en vitamines et minéraux, dont on ne sait encore rien des effets maléfiques ou bénéfiques à long terme ; certaines spécialités exotiques, décoctions miracles chargées du prestige des gourous ; la crispation sur un métabolite repère, tel le cholestérol.

Malgré les doutes, la sécurité alimentaire des Français est correctement assurée, aussi bien hors des crises que pendant celles-ci. Cependant, cette sécurité ne sera maintenue que si le consommateur reste vigilant, s'il est informé, s'il maintient une hygiène alimentaire scrupuleuse.

On doit affirmer sans réserve qu'un équilibre métabolique raffiné est le fruit d'une alimentation diversifiée, profitant du vaste choix des produits naturels ou transformés disponibles, et que des manœuvres alimentaires irréfléchies peuvent perturber gravement cet équilibre, les conséquences des perturbations n'étant souvent visibles qu'à long terme. Restons donc prudents, attentifs, mais optimistes !

Pierre LOUISOT est professeur au CHU de Lyon, directeur d'Unité INSERM, ancien président du Conseil supérieur d'hygiène publique de France.

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

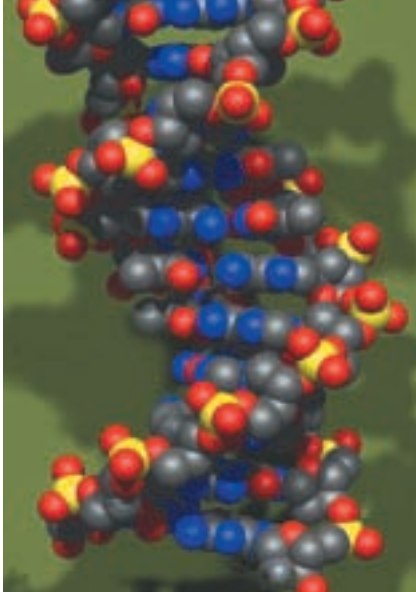
soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

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.



La course aux gènes : et après?

BRIGITTE CHAMAK

Bien que le génome humain soit sur le point d'être séquencé, l'épopée de la génétique, débutée il y a 100 ans, est loin d'être achevée. Se mêlent toujours espoirs et inquiétudes.

Séquençage, génomique, postgénomique, bio-informatique... Le sens des termes n'est pas toujours explicite, mais, à l'évidence, les enjeux économiques, juridiques et sociaux sont considérables. Le séquençage de l'ADN, l'acide désoxyribonucléique, ne représente qu'une première étape : si l'on dispose désormais du répertoire des fragments d'ADN, il reste à déterminer – tâche considérable – les fonctions qui leur sont associées. L'industrie pharmaceutique, à l'affût de nouvelles stratégies thérapeutiques, finance le développement de ce secteur. Au début des années 1980, les laboratoires pharmaceutiques comprennent que l'identification des gènes est un moyen efficace pour concevoir de nouvelles cibles thérapeutiques. Depuis quand, toutefois, nous intéressons-nous aux gènes?

Les «lois de l'hérédité» énoncées par Gregor Mendel, en 1866, formalisent la transmission, par le père et par la mère, des éléments qui déterminent les caractéristiques observables des êtres vivants, ou, plus simplement, la transmission de ce que l'on nommera plus tard les gènes. À cette époque, on ignore encore que le support matériel de ces éléments sont les chromosomes. La distinction entre le génotype – l'ensemble des gènes – et le phénotype – l'ensemble des caractères – est introduite en 1909 par le généticien danois Wilhelm Johannsen, mais la génétique ne se développe vraiment qu'avec les travaux du biologiste américain Thomas Morgan. Ce dernier a choisi d'étudier la drosophile (la mouche du vinaigre), dont la rapidité de reproduction facilite l'étude génétique de ses caractères. Les résultats sont nets : les caractères héréditaires sont portés et transmis par les chromosomes. En étudiant les phénomènes de recombinaison génétique (au cours de la division des cellules, certains fragments de chromosomes s'échangent), les «généticiens» du groupe de

Morgan établissent des cartes chromosomiques et localisent certains gènes.

En 1944, l'Américain Oswald Avery et ses collègues démontrent que les gènes sont formés d'ADN, mais la structure en reste inconnue. Or, juste avant la Seconde Guerre mondiale, le groupe de Lawrence Bragg, en Angleterre, et celui de Linus Pauling, en Californie, avaient montré que, par diffraction des rayons X, on peut décrire la structure tridimensionnelle des molécules cristallisées. À partir des données cristallographiques de molécules d'ADN, obtenues par diffraction des rayons X par Maurice Wilkins et Rosalind Franklin du King's College de Londres, James Watson et Francis Crick, qui travaillent dans le laboratoire Cavendish, à Cambridge, commencent à élaborer des modèles de la molécule d'ADN. S'inspirant des travaux de Linus Pauling, qui avait montré, en 1950, que l'hélice est une structure importante, ils envisagent plusieurs modèles d'hélices, et, en avril 1953, proposent le modèle de la double hélice avec appariement de bases complémentaires. En mai 1953, ils publient un article dans la revue *Nature*, où ils proposent, d'après la structure, un modèle simple de réplication de l'ADN.

LES DÉBUTS DU GÉNIE GÉNÉTIQUE

Dès 1962, les biologistes tentent de transformer directement des cellules d'organismes supérieurs par un ADN étranger, mais la manipulation des gènes reste difficile. Ce n'est qu'en 1972 qu'est produite, *in vitro*, la première recombinaison génétique entre molécules d'ADN d'origines différentes. Cette expérience, réalisée par le biochimiste américain Paul Berg et ses collègues de l'Université Stanford, préfigure l'avènement du génie génétique. Dès l'annonce de ces résultats, l'inquiétude s'empare des chercheurs, qui craignent la fabrication et la dissémination de bactéries ayant intégré des gènes res-

ponsables, par exemple, de cancers. En 1974, Berg propose un moratoire sur ces recherches, et l'organisation d'une conférence chargée de définir les conditions de réalisation des expériences futures. Au cours de cette conférence, qui se tient à Asilomar, en Californie, en février 1975, les biologistes précisent la nature des risques liés à ces manipulations et les précautions nécessaires : les expériences devront être faites dans des conditions de confinement physique et biologique strictes.

En 1977, l'Anglais Frederick Sanger, à Cambridge, met au point une méthode enzymatique de séquençage de l'ADN : grâce à un marquage radioactif, il identifie le nombre et la position des nucléotides qui constituent l'ADN. La même année, Allan Maxam et Walter Gilbert proposent une autre méthode de séquençage qui utilise aussi un marquage radioactif, et des réactifs chimiques qui découpent l'ADN en des positions précises, assurant le repérage des nucléotides. La mise au point de ces méthodes de séquençage, ainsi que d'autres techniques de biologie moléculaire autorisent la première production industrielle par génie génétique, d'insuline par la bactérie *Escherichia coli*. La bataille fait rage entre les laboratoires de la côte Ouest des États-Unis et ceux de la côte Est, notamment entre l'Université de Californie et la Société *Genentech*, à San Francisco, et l'Université Harvard, près de Boston.

En 1981, l'Américain Leroy Hood fonde la Société *Applied BioSystems*, spécialisée dans la production d'appareils de laboratoire pour la biologie moléculaire ; en 1986, il fabrique un appareil de séquençage automatique. Dès lors, il multiplie les démarches auprès du Congrès américain pour le convaincre de l'importance du séquençage du génome humain.

En France, Jean Dausset, qui a découvert les antigènes majeurs d'histocompatibilité, les molécules du «soi», crée,