

Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Juin 1998

édition française de

SCIENTIFIC
AMERICAN

Les muscles,
organes de la perception

Pincettes et ciseaux optiques

Le choix
des partenaires sexuels

L'antimatière cosmique

Les Barbares
en Gaule

Les réseaux de satellites

Les télécommunications
au xxi^e siècle

La saturation de l'espace radio

Dossier :
télécommunications



BLOC-NOTES

de Didier Nordon

5

TRIBUNE DES LECTEURS

6

JEU-CONCOURS

Éclipses joviennes

7

par Pierre Tougne



SCIENCE ET ÉCONOMIE

La dette publique

8

par Bernard Guerrien et Francisco Vergara



MÉTIER DE L'INGÉNIEUR

Ingénieurs et entrepreneurs

10

par Yves Farge



POINT DE VUE

Informatique et société

11

par Max Dauchet



SCIENCE ET GASTRONOMIE

Le beurre, un faux solide

12

par Hervé This



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

Une fraude en physique

14

par James Evans



PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

20

■ Le retour du mildiou ■ Les forges gallo-romaines
■ Rééducation accélérée ■ Suicide nuptial chez les

fourmis ■ Un vaccin contre le cancer? ■ Correction d'erreurs

■ Le carbone au corps ■ Hydrodynamique lumineuse

■ Mutations interdites ■ Vocalises de grenouille ■ Un tamis à

photons ■ Peut-on prévoir les krachs?



LOGIQUE ET CALCUL

Les conquêtes des polyminos

116

par Jean-Paul Delahaye



VISIONS MATHÉMATIQUES

Abrogeons la loi des moyennes

122

par Ian Stewart



SAVOIR TECHNIQUE

Les freins hydrauliques

125

par Stanley Stokes



ANALYSES DE LIVRES

126

■ Le premier homme et son temps

■ Il y a 200 ans, les savants en Égypte,

■ Une même éthique pour tous? ■ Rythmes et formes en chimie



Schering-Plough

Les lecteurs trouveront,
pages 35 à 46,
un dossier sponsorisé
par Schering-Plough.

Dossier Télécommunications

Les réseaux de satellites

48

par John Evans

Grâce aux flottilles de satellites de télécommunications, les possesseurs d'un téléphone portable auront accès au réseau téléphonique, à partir de n'importe quel point du Globe.

Les télécommunications du XXI^e siècle

58

par Joseph Pelton

Les sociétés de télécommunications préparent un réseau global qui associera des systèmes radio et des réseaux terrestres.

Les réseaux radio terrestres

64

par Alex Hills

Les réseaux de téléphonie mobile s'étendent. Bientôt, ils permettront aussi aux ordinateurs d'échanger des données.

Les applications des réseaux cellulaires

70

par Warren Stutzman
et Carl Dietrich

La téléphonie a bénéficié de la technique cellulaire, mais bien d'autres applications de cette technique apparaîtront prochainement.

L'occupation du spectre radio

72

par David Hughes
et Dewayne Hendricks

Le regroupement d'informations en paquets numériques et leur transmission à plusieurs fréquences permettent à des millions de personnes d'émettre et de recevoir en même temps.



L'intégration des Barbares dans la société gallo-romaine

78

par Michel Kazanski
et Christian Pilet

Contrairement à la croyance populaire, les Huns et autres Barbares venus d'Orient n'étaient pas seulement des barbares sanguinaires.

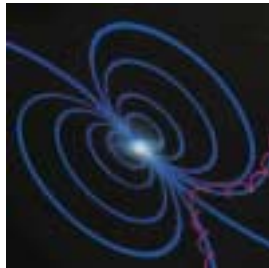


L'antimatière cosmique

86

par Gregory Tarlé
et Simon Swordy

Les astrophysiciens traquent les antiparticules afin de comprendre le mouvement des galaxies. L'existence d'un anti-monde semble exclue.



Les muscles, organes de la perception

92

par Jean-Pierre Roll

Les muscles renseignent le cerveau sur nos postures et nos mouvements. L'excitation artificielle de leurs capteurs sensoriels crée des illusions.



Comment les femelles choisissent leur partenaire

100

par Lee Alan Dugatkin
et Jean-Guy Godin

Les femelles s'accouplent souvent avec les mâles les plus visibles. Leur choix semble résulter d'un mélange d'instinct et d'imitation.



Pinces et ciseaux optiques

108

par Michael Berns

Des lasers servent d'étau de lumière, pour immobiliser des cellules ou de minuscules constituants cellulaires, et de ciseaux pour pratiquer des interventions minutieuses.



Les télécommunications...

... explosent, du moins en quantité. Le philosophe américain Thoreau ironisait. À la nouvelle que le Maine et le Texas avaient été connectés par le télégraphe, Thoreau s'interrogeait : « Je me demande ce que le Maine a à dire au Texas... »

Thoreau avait tort : c'est la diffusion de la Bible au XVI^e siècle, permise par l'imprimerie, qui a donné à l'individu la possibilité de la commenter, d'examiner son interprétation du monde, en d'autres termes lui a conféré l'esprit scientifique. De l'examen de la Bible est né, paradoxalement, l'examen critique, les découvertes de Galilée et les inventions de ses continuateurs scientifiques. C'est l'imprimerie qui a engendré la science, et la dissémination des connaissances est l'un des plus remarquables apanages d'*Homo sapiens sapiens*.

L'information numérisée sous forme de sons et d'images sera bientôt au bout des touches du téléphone portable. L'électricité a supplanté la mécanique, encore qu'il faille toujours lancer des fusées pour qu'elles mettent en place les satellites de communication. Qu'un message téléphonique fasse un aller-retour de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres pour une conversation locale entre deux locuteurs distants de quelques kilomètres étonnerait même Marconi. Cette couverture satellitaire élimine la distinction entre conversations locales et éloignées, et donnera à l'*Internet* une vitesse raisonnable (voir le dossier Télécommunications, pages 47 à 75).

Ce sont les ingénieurs qui ont fondé la science des communications, définissant les concepts fondamentaux tels le rapport signal sur bruit, l'écriture numérique des données et la bande passante (l'ensemble des fréquences nécessaires à la transmission du signal). Sous cet angle, l'écrit est supérieur à la parole : les locuteurs les plus rapides ne peuvent prononcer que 100 mots par minute, alors que le lecteur en assimile 300. La bande passante de l'écrit est trois fois supérieure à celle du langage, mais, grâce aux ingénieurs, cet écrit est aussi véhiculé par les ondes.

Philippe BOULANGER

Le génie n'a pas de bouteille

Certains sociologues rejettent le terme de «génie scientifique». Selon eux, la recherche est une affaire trop complexe pour que pareil terme ait un sens. Mêlant ambitions, chance, jeux de pouvoir, jeux d'influences, jeux d'argent, la recherche est un processus collectif.

Cette théorie a sa pertinence. Mais ceux qui en déduisent que la notion de génie est vide de sens me convainquent qu'ils ont peu l'expérience du travail scientifique. Quelle est en effet l'aventure la plus banale pour un chercheur ? C'est de sécher longuement, puis de voir, écoeuré, un autre surmonter la difficulté en un tour de main. Plus vexant encore : si le premier demande au second comment diable lui est venue l'idée qui débloquent la situation, le second est souvent incapable de répondre. L'intuition ne peut pas être enseignée ou expliquée, comme on expose une méthode. Elle ne sert qu'une fois : face à un autre problème, une tout autre intuition sera décisive.

Comme ce serait agréable, si on pouvait prouver l'inanité de la notion de génie ! Rêvons un instant. Aucun chercheur ne risquerait d'être tenu pour médiocre scientifique. Et les sociologues triompheraient, puisque la sociologie expliquerait tous les phénomènes au sein de la cité scientifique.

Hé bien non, désolé. L'intuition qui pulvérise l'obstacle scientifique, certains l'ont

plus souvent que d'autres, et cela ne relève pas du jeu social. La notion de génie est peut-être ringarde ; elle n'est pas correcte politiquement, car elle reconnaît l'existence d'inégalités entre individus ; elle n'explique pas pourquoi certains ont, entre les oreilles, une meilleure matière grise que d'autres. Elle a mille défauts, mais ils n'autorisent pas à la ranger au magasin des accessoires.

L'ennui cryptographique

Wiles est en train de passer dans l'histoire comme un grand théoricien des nombres. En réalité, la contribution majeure qu'on lui doit n'est pas dans ce domaine, mais dans celui de la cryptographie.

En 1993, Wiles pensait avoir démontré le théorème de Fermat. Pour dépister une éventuelle erreur, il choisit son collègue Nick Katz. «Ce que Wiles devait expliquer était si énorme qu'il ne lui aurait pas été possible de me l'expliquer dans son bureau de manière informelle. Pour une entreprise de cette importance, nous avions besoin de la structure d'entretiens hebdomadaires programmés, sans quoi nous nous serions égarés. C'est pourquoi nous avons décidé d'organiser une série de cours.» Seulement Wiles, redoutant la concurrence, voulait garder un secret absolu tant qu'il n'était pas sûr de

lui. Comment faire ? Il eut une idée de génie : il annonça sa série de cours sous un titre anodin, puis se lança «bille en tête» dans des calculs «incroyablement techniques et ennuyeux» (ce sont les termes de Katz). Seul Katz, sachant où ils menaient, put suivre. Les autres auditeurs, chassés par l'ennui, quittèrent le cours pour ne plus jamais y remettre les pieds. Ainsi, semaine après semaine, Wiles exposa son travail à Katz en public – et dans le plus parfait secret (Simon Singh, *Le dernier théorème de Fermat*, Éditions Lattès, 1998).

On s'échine à inventer des méthodes de cryptographie sophistiquées. Efforts superflus ! Wiles a magistralement démontré que, pour rendre un document impénétrable aux regards indiscrets, il n'est rien de tel que l'ennui, le bon vieux ennui. Évidemment, comme toutes les méthodes puissantes, celle-ci a son revers. Wiles avait fait une erreur devant Katz. Et ce dernier ne s'en est pas aperçu...

Où es-tu donc, Julie Larousse ?

À l'occasion, passez donc au numéro 21 boulevard du Montparnasse, à Paris. Un spectacle curieux vous y attend, sous les espèces d'une plaque fixée dans le mur, ainsi rédigée : «Les Éditions Larousse sont au 17-21 rue du Montparnasse. Vous êtes ici au 21 boulevard du Montparnasse» (souligné sur la plaque).

Ainsi, depuis que la maison Larousse est là où elle est, des dizaines de coursiers tenaillés par l'urgence du message à délivrer, des centaines d'auteurs prestigieux donc pressés, des milliers de confrères surmenés donc hyperpressés ont dû – selon leur caractère – tempêter, pleurer, hurler, interroger les passants, ont relu le papier portant l'adresse sans remarquer qu'il disait rue et qu'ils étaient à boulevard puis ont en désespoir de cause appuyé sur n'importe quelle sonnette, ou se sont au contraire frappé le front en se traitant de tous les noms, ou ont cru à un canular, voire à l'inexistence de la maison Larousse ! Combien sont-ils, les gaillards qui ne savent pas faire la différence entre rue et boulevard ? Assez pour que Larousse ressente la nécessité de visser la plaque susdite.

D'ordinaire, les plaques ont de quoi intimider. Tel fait d'arme héroïque s'est déroulé ici, tel grand homme a habité là. Celle-là, au moins, est reposante.

Existe-t-il d'exacts synonymes ?

Beau sujet de conversation pour les dîners. Il se trouve toujours un convive, plus subtil que les autres, pour faire une distinction entre «sembler» et «paraître» ou entre «craindre» et «redouter», et il s'en trouve toujours un pour assurer que, n'étant pas correct, «par contre» ne peut donc pas être synonyme de «en revanche». D'ailleurs, synonyme a-t-il un vrai synonyme ?

Des synonymes exacts, il en existe pourtant d'indiscutables. Mais il faut les chercher là où ils sont. Par exemple, dans une science exacte ! En mathématiques, il n'y a pas et il ne peut pas y avoir l'ombre d'une nuance entre «la fonction tend vers 0» et «la fonction a 0 pour limite» ; il n'y en a aucune entre «A est inclus dans E», «A est un sous-ensemble de E», «A est une partie de E» ; il n'y en a pas non plus entre «ce système de vecteurs est indépendant» et «ces vecteurs forment une famille libre». Ces expressions jettent exactement le même regard sur le même objet. (Ce qui n'est pas le cas d'expressions comme «un triangle ayant deux côtés égaux» et «un triangle ayant deux angles égaux», lesquelles n'attirent pas l'attention sur la même propriété de l'objet désigné.)

Ces synonymes parfaits ajoutent une difficulté à l'enseignement. Il n'est pas rare de lire dans des copies : «la fonction tend vers 0, donc elle a 0 pour limite». Formellement, ce «donc» est irréprochable ; néanmoins, il peut donner l'impression que l'étudiant croit progresser dans son raisonnement en passant de la première formulation à la seconde. Si vous rayez ce «donc», l'étudiant viendra protester : «Mais c'est juste, ce que j'ai écrit !» Oui, c'est juste. Pourtant, c'est peut-être l'indice d'une pensée fautive...

Billard et simulation

Peut-on écrire un logiciel qui modélise le jeu de billard avec tous les phénomènes décrits par Régis Petit dans *La pratique du billard* (voir *Pour la Science*, avril 1998)?

Jean-Luc FRANTZ

Réponse de Régis PETIT

Concevoir un logiciel de simulation réaliste pour le jeu de billard à trois billes (et plus) n'est pas très complexe du point de vue algorithmique. Les équations vectorielles publiées sur le site Internet (<http://www.pourlascience.com>) le prouvent : elles synthétisent les équations de Coriolis généralisées à des bandes de hauteur quelconque, à des billes de rayons différents, pouvant sauter en l'air suite à un choc ou rouler sans glisser. Parmi les logiciels disponibles, on peut citer les logiciels 3D *VirtualPool* et *VirtualSnooker* de la Société *Interplay*, qui sont téléchargeables, en version démonstration, à partir des sites Internet (<http://www.accessone.com/~mavlon/>) et (<http://www.interplay.com>), et le logiciel 2D *Bilman6* de Guy Grasland (ggrasland@mail.codix.fr), en version prototype, qui est un des seuls à fonctionner avec les équations exactes de Coriolis.

Claude Bernard et Dieu

Dans sa critique du livre de Mirko Grmek *Le legs de Claude Bernard* (voir *Pour la Science*, mai 1998), Michèle Febvre écrit que «Bernard a toujours été agnostique et matérialiste : "La science n'a pas pour objet de prouver ni désapprouver Dieu. Elle est indépendante de cette question."» Il n'y a pas de relation de causalité entre le fait noté par Bernard (l'absence de lien entre la science et la religion) et son éventuel matérialisme. En outre, quoique Bernard ne fût pas un pilier d'église, il se confessa et reçut l'extrême onction à sa demande. Il prit aussi vigoureusement à parti le matérialisme et le positivisme, omniprésents à son époque.

Christian FAYAT, Rennes

Réponse de Michèle FEBVRE

Après la lecture de manuscrits inédits publiés par Mirko Grmek, il n'est plus possible de douter du matérialisme de Claude Bernard. En effet, dans une ébauche de son discours à l'Académie française, il dit avec sincérité : «...je suis matérialiste comme savant, et je ne suis que savant. Si j'étais philosophe, je serais spiritualiste, mais je ne suis pas philosophe.» Les commentateurs de C. Fayat soulignent à juste titre les ambiguïtés de la personnalité du grand physiologiste.

Un matérialiste qui rédige «une profession de foi théiste et spiritualiste» pour gagner une élection est un opportuniste ; s'il appelle un prêtre au moment de mourir, c'est un être humain assailli de doutes tardifs!

Labours en question

L'article *La fin des labours* (voir *Pour la Science*, avril 1998) laisse penser que le système de culture décrit est applicable partout sous les tropiques. Ce n'est pas le cas là où la pluviométrie mensuelle dépasse beaucoup l'évapotranspiration pendant un mois ou plus et où il faut drainer l'excès d'eau, ni dans les régions où la saison sèche est trop longue. Ce système de culture n'est économiquement supportable que sur des sols très fertiles ou très fertilisés.

En outre, dans de nombreux pays tropicaux, la demande solvable en produits agricoles est faible et les prix des produits agricoles sont bas. Les rapports entre le prix des produits agricoles et celui des engrais ou des herbicides sont faibles aussi. Le système de culture «sans labours» n'est alors pas soutenable économiquement. Il ne l'est que si l'agriculture est mécanisée et utilise des herbicides, comme au Brésil, ou si l'agriculture est manuelle et qu'aucun herbicide n'est employé, comme au Bénin.

Jacques GILLAIN, Bouzigues

Réponse de Lucien SÉGUY, du CIRAD

Les techniques de semis direct permettent la mise en culture permanente de terres jugées impropres à l'agriculture à cause de leurs fortes pentes, de la pauvreté du sol ou de sa faible épaisseur. Là où la pluviométrie est très supérieure à l'évapotranspiration, le drainage de l'excès d'eau est inutile. Ainsi, le Centre-Ouest du Mato Grosso, au Brésil, au Sud du bassin amazonien, où plus d'un million d'hectares sont cultivés en semis direct, était en voie de désertification avec les techniques de travail du sol entre 1976 et 1990 : c'est aujourd'hui l'une des régions les plus productives du Brésil. Le semis direct est pratiqué sur des cultures fortement productrices de biomasse. Le sol est toujours couvert et sa porosité s'accroît grâce aux systèmes racinaires des plantes de couverture. De même, sur les hauts plateaux malgaches, les techniques de semis direct, en culture manuelle, montrent une bonne maîtrise du ruissellement et un arrêt total de l'érosion.

Là où la saison sèche est supérieure à six mois, les techniques de semis direct sont les meilleures options technico-économiques. Les résultats de la recherche menée depuis quatre

ans dans le Sud-Ouest malgache, où la saison sèche dure huit à dix mois, le démontrent.

Enfin, sur des sols très pauvres, les exemples brésiliens et malgaches montrent que les systèmes de culture en semis direct sont les plus productifs en présence d'un minimum d'engrais minéraux ou organiques. Les nutriments sont recyclés, le sol est rechargé en carbone, de l'azote est fixé par les cultures de couverture.

Cladistique et phylogénie

Dans son analyse de *L'Histoire de la paléontologie*, d'Éric Buffetaut (voir *Pour la Science*, mai 1998), Michel Martin écrit que si le cladisme «a imposé plus de rigueur dans la définition des caractères primitifs et évolués, il donne une impression de rigueur absolue qui camoufle la subjectivité». L'un des mérites de l'analyse cladistique est toutefois de mettre la subjectivité en évidence, lors d'une analyse de caractères, de cerner les domaines où elle est présente, d'en être conscient, afin de ne pas «faire dire n'importe quoi» à un fossile.

Par ailleurs, contrairement à ce qu'affirme M. Martin, l'apprentissage de l'analyse cladistique ne fait pas partie des connaissances que les professeurs de sciences de la vie et de la terre doivent exposer à leurs élèves. Certains manuels y font référence, mais ils ne répondent pas aux instructions officielles.

Bruno CHANET, Brest

Réponse de Michel MARTIN

Que tous les manuels ne fassent pas état du cladisme revient à jouer sur les mots : des lycéens m'ont déjà interrogé à ce propos, à cause de leurs manuels. Il en est du cladisme comme d'un fromage : il peut être bien fait ou mal fait. Lorsque le spécialiste d'un groupe travaillant sur du matériel en bon état obtient des résultats cohérents, c'est très bien. Toutefois, que penser de cladogrammes obtenus après des compilations de caractères auxquels on ne comprend rien? Certes, chez les vertébrés inférieurs, le cladisme a précisé la phylogénie. Mais il s'agit souvent de matériel assez complet. Simultanément, si je vois «faire du cladisme» avec des phalanges ou des métapodes de dinosaures isolés, je hurle casse-cou. Je pourrais multiplier les exemples. Le paléontologue doit connaître les limites de son matériel d'étude. Il ne peut éviter la subjectivité qu'à ce prix, et encore. L'expérience montre que bien des auteurs pensent être objectifs, car l'outil, dans l'absolu, est objectif alors que l'homme, qui utilise l'outil, introduit, consciemment ou non, une part de subjectivité.

JEU-CONCOURS N° 48

PIERRE TOUGNE

Éclipses joviennes

La planète Jupiter possède de nombreux satellites (au moins 16) dont quatre ont été découverts par Galilée en 1610. Io, le plus proche des satellites galiléens, a une période de révolution autour de Jupiter T_I de 1,769 jour. À chaque passage de Io dans le cône d'ombre de Jupiter, il y a une éclipse de Io. Quelle relation existe-t-il entre la période T de ces éclipses et les périodes T_J de rotation de Jupiter autour du Soleil et T_I de rotation de Io autour de Jupiter ? On suppose que les orbites de Jupiter autour du Soleil et de Io autour de Jupiter sont circulaires et dans un même plan, et l'on considère que le Soleil est ponctuel.

De fait, l'observation de ces éclipses s'accorde assez bien avec la relation trouvée sur une courte période. Cependant si l'on calcule les dates des éclipses de Io au moment où Jupiter est proche

de la conjonction (c'est-à-dire où la distance Terre-Jupiter est maximum) à partir des dates d'observation des éclipses au moment où Jupiter est proche de l'opposition (c'est-à-dire où la distance Terre-Jupiter est minimum), les dates des éclipses au voisinage de la conjonction semblent toutes être en retard d'environ 16,5 minutes par rapport au calcul. Comment expliquer ce phénomène et que peut-on en déduire connaissant la variation de la distance Terre-Jupiter entre l'opposition et la conjonction, soit $2u - a = 3 \times 10^8$ kilomètres ?

Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à Pour la Science, 8, rue Férou, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de juin 1998, dix gagnants tirés au sort recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 46

Par hasard, l'article de J.-P. Delahaye sur les fractions, dans le même numéro, avait quelque rapport avec le problème des fractions curieuses. Examinons la solution «manuelle» de recherche du nombre se terminant par 2 pour le facteur 2. Le produit par 2 étant le multiplicande dont on a fait passer le chiffre des unités en tête du nombre, le chiffre des dizaines est un 4 ($2 \times 2 = 4$), de même, le chiffre des centaines est un 8 ($2 \times 4 = 8$), le chiffre des milliers un 6 ($2 \times 8 = 16$, retenue 1), le chiffre des dix-mille un 3 ($2 \times 6 + 1 = 13$, retenue 1), etc. Quant peut-on s'arrêter ? Au moment où l'on retrouve le chiffre des unités, ici 2 sans retenue. Cela se produit au 19^e chiffre, soit le nombre 105 263 157 894 736 842. Si l'on prend 3 comme chiffre des unités, on trouve 157 894 736 842 105 263. En procédant de même avec le facteur 7, il faut 22 chiffres, comme par exemple 1 014 492 753 623 188 405 797 ou 1 159 420 289 855 072 463 768. Mais est-on certain que le processus s'arrêtera ? Oui, car si $N = a_{n-1} \dots a_0$ est le nombre de n chiffres cherché pour le multiplicateur k , la multiplication s'écrit $a_{n-1} \dots a_0 \times k = a_0 a_{n-1} \dots a_1$, soit $Nk = a_0 10^{n-1} + (N - a_0)/10$, que l'on peut

réécrire $N = a_0(10^n - 1)/(10k - 1)$, c'est-à-dire qu'une condition suffisante est l'existence de n tel que $10^n - 1$ soit divisible par $10k - 1$. Or pour tout k , il existe une plus petite valeur de n ayant cette propriété (voir l'article de J.-P. Delahaye), mais celle-ci est très variable ainsi pour $k = 2 \dots 9$, $n = 18, 28, 6, 42, 58, 22, 26, 44$. Enfin, la condition $N \geq 10^{n-1}$ implique $a_0 \geq k$ (explication du coup de pouce).

Quelques remarques au sujet de ces nombres : La concaténation d'un nombre avec lui-même possède la même propriété, donc une infinité de multiplications curieuses ; si $10k - 1$ est premier pour les différentes terminaisons possibles, ces nombres sont des permutations particulières de l'un quelconque d'entre eux.

Pour un multiplicateur k donné, les nombres de longueur minimum ont en général le même nombre de chiffres selon la terminaison, sauf pour le facteur 5, auquel cas ces nombres ont 42 chiffres, à l'exception de la terminaison 7 qui conduit à 142 857 (parce que $a_0 = 7$ a un facteur commun avec $10k - 1 = 49$). Enfin, le problème se généralise à un déplacement de plus d'un chiffre, mais les calculs sont pénibles.



La dette publique

BERNARD GUERRIEN • FRANCISCO VERGARA

Les Français seraient-ils de «mauvais parents» qui laisseraient à leurs enfants une grosse dette ?

L'existence d'un déficit budgétaire et sa conséquence directe – l'augmentation de la dette publique – seraient moralement répréhensibles, car elles alourdiraient la «charge» que nous laissons à nos enfants. Cette constatation a été formulée par Jacques Chirac (discours du 14 juillet 1997), par Dominique Strauss-Kahn et par Jean-Claude Trichet, gouverneur de la Banque de France. Les références d'autorité ne sanctifient pas l'erreur : la dette publique est une créance des Français sur l'État, qui leur rapporte des intérêts.

Le déficit budgétaire est la différence entre les dépenses et les recettes de l'État (celles-ci provenant des impôts et taxes). Pour pouvoir le financer, l'État émet des titres qui sont achetés – par l'intermédiaire des banques et des institutions financières – par des particuliers (ménages et entreprises) ; ces titres, qui ont l'avantage d'être sans risque (ou presque : les cas de faillite de l'État sont exceptionnels), rapportent des intérêts. La dette des administrations publiques est formée par l'ensemble des titres qui ont été émis par l'État, et qui sont encore en circulation. Ainsi, les critères de Maastricht fixent à 3 pour cent et à 60 pour cent du PIB (valeur de la production annuelle d'un pays) le maximum autorisé pour, respectivement, le déficit budgétaire et la dette publique. Pourquoi de tels seuils ? Il n'est pas de réponse précise à cette question. Comme par hasard, ils correspondent à peu près à la situation prévalant dans les deux pays les plus importants, la France et l'Allemagne.

PAS DE DETTE SANS CRÉANCE

Revenons à notre question initiale, sur la «charge» que la dette de l'État ferait peser sur les générations futures.

Si Jacques Chirac et Dominique Strauss-Kahn achètent des bons du trésor, qu'ils lèguent ensuite à leurs enfants, ils leur donnent un droit sur des ressources futures. Ils sont donc «de bons parents», même si par

ailleurs leur politique budgétaire laisse une dette publique plus élevée que celle qu'ils ont trouvée en arrivant au pouvoir. Le seul effet direct de la dette et de la créance correspondante est de modifier la répartition des ressources disponibles à un moment donné entre les membres d'une même génération. Si les enfants de J. Chirac et de D. Strauss-Kahn ont des revenus suffisamment élevés pour que les impôts qu'ils payent compensent les intérêts et le remboursement des titres d'État qu'ils détiennent, alors l'État leur prendra d'une main ce qu'il leur donnera de l'autre !

Bien entendu, le niveau du déficit des administrations publiques n'est pas sans importance. Mais il ne peut être envisagé sans une réflexion sur la forme et les conséquences des dépenses de l'État à l'origine de ce déficit. Car si l'État s'endette en construisant des routes et des stades, en réhabilitant des cités délabrées ou en rénovant l'infrastructure scolaire des banlieues défavorisées, alors il contribue au bien-être des «générations futures», qui ne peuvent qu'être reconnaissantes devant des «parents» aussi prévoyants.

Il est vrai que ceux-ci leurissent le soin de régler la question de la redistribution d'une partie du revenu qu'implique tout système de dettes et de créances, ce qui n'est pas simple : les enfants de Chirac et de Strauss-Kahn seront contents de toucher des intérêts ou de se faire rembourser les titres qu'ils détiennent, mais pas du tout d'avoir à payer des impôts

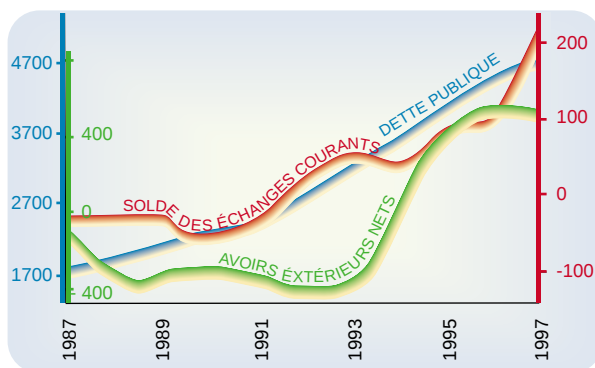
pour cela ! Ainsi, la perspective d'une hausse des impôts peut avoir un effet négatif – désincitation au travail ou à investir, fuite des capitaux ou même de certaines personnes –, dont doit tenir compte toute réflexion sur les conséquences des déficits budgétaires.

LA «MAISON FRANCE»

Si l'on veut garder la métaphore des «mauvais parents», on doit considérer la France entière comme «une grande famille», la «maison France». Si celle-ci a des dettes, ce ne peut être que par rapport à des entités autres qu'elle-même, c'est-à-dire par rapport aux résidents d'autres pays. Sa dette ne peut augmenter que si elle consomme plus qu'elle ne produit – si elle importe plus qu'elle n'exporte ; si tel est le cas, ses enfants («la France de demain») devront alors produire plus qu'ils ne consommeront, pour rembourser la dette laissée par leurs parents, dont on peut dire qu'ils sont «mauvais» (ou «moralelement répréhensibles»).

La dette publique ne joue là aucun rôle. Quant à la «maison France», en tant qu'entité globale, elle n'est nullement endettée ; bien au contraire, puisque les échanges de biens et services de la France avec l'étranger sont, depuis plusieurs années, largement excédentaires (la «maison France» exporte bien plus qu'il n'importe), comme le proclament d'ailleurs les mêmes qui cherchent à nous culpabiliser. Ce que «notre génération» est en train de laisser à «ses enfants», ce sont des créances et non des dettes : grâce à nous, à notre travail, ils pourront consommer plus qu'ils ne produiront...

Tel n'est pas le cas des États-Unis où le déficit annuel du commerce extérieur est de l'ordre de deux pour cent du PIB, et s'accumule depuis plus de dix ans : les «parents» américains vivent au-dessus de leurs moyens. L'État américain n'est peut-être plus en déficit, mais la «maison États-Unis» laisse à ses enfants une facture. Les «mauvais parents» ne sont pas là où on le dit...



Dette publique française, solde des échanges courants et avoir extérieur net français, en milliards de francs.



Ingénieurs et entrepreneurs

YVES FARGE

Comment aménager, en connaissance de cause, le tissu social et éducatif, pour augmenter les chances de succès des nouvelles entreprises ?

La formation des ingénieurs les prépare-t-elle à créer une entreprise ? Mal. L'ingénieur passé par les Grandes écoles est prêt à travailler dans les grandes entreprises, à augmenter la productivité, éventuellement à innover, mais toujours dans le sein de l'entreprise ; rares sont les jeunes ingénieurs qui abandonnent la sécurité du salariat pour se lancer dans la mêlée industrielle et commerciale en fondant leur propre société. Attitude dommageable pour l'emploi : c'est par le foisonnement de multiples entreprises de haute technologie que les États-Unis ont, en partie, résolu le problème du chômage.

L'entrepreneur et l'ingénieur ont des cultures et des tempéraments distincts. L'entrepreneur est singulier, caractériel, monomane, d'une énergie farouche. Comme les très bons sportifs, c'est un conquérant qui fonde sa carrière sur la performance individuelle. Le malheur est que les entrepreneurs français qui ont ces qualités partent à Cambridge ou dans la Silicon Valley au lieu de développer leurs talents en France. Les sirènes de la délocalisation ne chantent pas que pour les pays du tiers-monde...

Cela étant, il est heureux que tous les ingénieurs ne soient pas des entrepreneurs, dans une certaine mesure inaptes au travail en équipe et au suivi des programmes indispensables à la survie des grandes sociétés industrielles.

Revenons sur un point d'importance : l'innovation n'est pas que technique. Le *Club Méditerranée*, le *Livre de poche*, les *Eaux de table* ont été des créations génératrices d'emplois sans base technique particulièrement novatrice. La création d'entreprises ne passe pas nécessairement par une merveille innovante, et toutes les nouvelles sociétés performantes ne sont pas fruits de la recherche. Le lobby de la recherche tente de nous faire accroire qu'en dehors d'elle, point de salut. Ce discours est biaisé. Même quand elles ont pour moteur une invention, les entreprises

nouvelles n'ont parfois pour assise qu'une incrémentation dont la commercialisation est menée au son du canon par un entrepreneur astucieux. La quasi-totalité des innovations correspondant à des améliorations incrémentables, et la création d'entreprises peuvent surgir d'un petit perfectionnement. *Moulinex* est un exemple de l'après-guerre. Il en est bien d'autres.

La grande entreprise est mal adaptée à l'innovation radicale : elle ne recrute pas d'entrepreneurs en son sein, car ils pourraient perturber son équilibre. Comme un lourd navire qui court sur son aire, les changements de cap sont lents, et les diversifications rares. Périodiquement, elle se recentre sur ses activités de base et a pour objectif d'être parmi les premières entreprises mondiales. Ses soucis sont la gestion, l'incrémentation des améliorations techniques, le suivi technique de ce que fait la concurrence. Ses petites innovations dans le commercial, le marketing, les produits et les procédés de fabrication permettent de gratter mètre par mètre les augmentations du chiffre d'affaires et des bénéfices.

L'innovation rentable, où qu'elle soit développée, n'est pas nécessairement une avancée révolutionnaire. Or, la culture française n'incite pas les ingénieurs à s'inspirer des avancées de ses compétiteurs, et parallèlement, elle ne leur enseigne pas assez à protéger leurs inventions par des brevets ou des marques. L'ingénieur français, remarquable technicien et dont la formation est l'une des meilleures au monde, pêche par individualisme et par esprit de clocher. Moi tout seul, disent les enfants et trop d'ingénieurs français : il n'est rien qui ne soit inventé ailleurs dont je n'ai pas eu l'idée, pensent-ils, souvent sans le dire. Hélas, cette attitude narcissique a empêché les ingénieurs de saisir au vol les innovations qui flottent dans l'air embaumé des succès industriels. Dans les gels absorbants des couches pour bébé, dans les cristaux liquides pour les écrans,

dans les micro-ordinateurs, les ingénieurs français n'ont pas pu ou su mettre en œuvre leurs avancées. Cela parce que nous n'avons pas toujours su remettre en cause nos méthodes de travail.

Dans la nature, les nouvelles espèces apparaissent grâce à une invention qui est le fruit du hasard, et elles prospèrent quand elle sont adaptées à un changement de l'environnement. Entre deux changements notables, les espèces se perfectionnent à l'intérieur d'un biotope inchangé. Il n'en va pas autrement des changements technologiques.

D'où notre incapacité à évaluer un perfectionnement en termes économiques : l'URSS est morte en partie de ses réussites techniques qu'elle n'a pas transformées en succès économiques. Le goût de la technique pour la technique peut perdre une entreprise. Combien de destructions d'emplois engendrées par le *Concorde* ? Il faut soutenir les projets qui créent de la valeur, car ce sont eux qui créent de l'emploi. Trop peu de gens ont conscience qu'une activité qui détruit de la valeur finit toujours par détruire de l'emploi.

Peut-on enseigner la culture de l'entreprise à l'école, doit-on changer parallèlement le tissu social ? Grandes questions non résolues. Les faits sont là : les méthodes d'enseignement sont trop axées sur le vrai et le faux et pas sur le pratique. Les habitudes sociales, trop frileuses, ne récompensent pas le succès à la hauteur des risques, le monde marchand est méprisé par les techniciens comme le dédaignaient les nobles du Grand siècle. En cela, les doctorales qui initient à l'économie d'entreprise les futurs docteurs ès science sont une remarquable initiative, qui, avec le temps, donnera des résultats, si leur action se poursuit dans la durée...

Yves FARGE est directeur scientifique auprès du directeur général au CNRS.



Informatique et société

MAX DAUCHET

Faut-il qu'un système soit ouvert ou fermé ?

Les nouvelles techniques de l'information se constituent en «système nerveux de la société», aime à clamer Bill Gates, le célèbre fondateur de la Société *Microsoft*. Dans cette révolution numérique en cours, deux conceptions des logiciels s'affrontent. Cette lutte n'est pas seulement technique : ce sont deux approches de la société qui sont opposées. D'un côté, les systèmes informatiques commerciaux, encore dits fermés, ou propriétaires, ont pour champion *Windows*, de *Microsoft* ; le logiciel est une boîte noire pour l'utilisateur. De l'autre, les systèmes ouverts, ou libres, souvent gratuits, dont le champion est *Linux*, qui compte ses adeptes principalement dans les milieux scientifiques ; l'utilisateur a ici accès aux «programmes sources» qu'il peut contrôler et modifier à sa guise.

Les deux approches correspondent à deux visions du monde. La Société *Microsoft*, par sa position hégémonique, focalise les critiques. Elle garde ses clients captifs en créant des relations exclusives entre ses systèmes d'exploitation et ses programmes d'application. Cette stratégie rend l'éditeur seul maître du développement de l'informatique et impose aux clients de *Microsoft* de le rester, malgré les défauts des programmes commercialisés.

Au contraire, le système d'exploitation *Linux*, diffusé gratuitement sur le réseau Internet, est perfectionné par les efforts permanents et bénévoles de milliers de spécialistes, qui ont tous intérêt à disposer du meilleur système. Cette seconde approche mène à une qualité supérieure, même si ses produits demeurent moins conviviaux que leurs homologues fermés. Elle est promue en France par l'AFUL (Association francophone des utilisateurs de *Linux* et des logiciels libres). Des chercheurs, tels Bernard Lang et Roberto Di Cosmo, ont bien expliqué comment des services décentralisés et concurrentiels d'adaptation et de maintenance locales de logiciels libres peuvent se développer, conjuguant activité économique, qualité et évolution des produits, et indé-

pendance. L'approche permet un darwinisme informatique qui est gage de diversité, donc de robustesse.

L'enjeu n'est pas seulement l'utilisation des programmes, mais la formation des étudiants. La Société *Microsoft* propose notamment un programme de formation nommé «Compétences 2000» pour «le grand public, l'éducation et les entreprises». Il propose des «cours officiels *Microsoft*» dispensés «uniquement par des instructeurs qui ont passé avec succès les examens MCP» (*Microsoft Certified Professional*), sur la base des supports de cours «conçus selon une méthodologie rigoureuse par les équipes d'experts techniques et pédagogiques de *Microsoft*» et dont on n'est «pas autorisé à supprimer des passages». Voici donc des professeurs d'informatique contrôlés par une société privée ! La Société *Microsoft* édite également des CD-ROM historiques : à quand les professeurs d'histoire certifiés *Microsoft* et qui dispenseront les «cours officiels *Microsoft*» dont on ne sera «pas autorisé à supprimer des passages» ?

L'actuelle opposition entre les systèmes ouverts et fermés est plus qu'un avatar de la sempiternelle opposition entre le monde des savants et celui des marchands ; elle est exemplaire des interrogations de société, que nos repères traditionnels appréhendent mal, face à cette informatique qui, avec ses produits immatériels, duplicables à coût nul, commande un monde bien concret. Le dernier des nombreux rapports sur l'informatique, celui du sénateur RPR René Trégouët, cherche la lumière dans l'histoire. Intitulé éloquentement «Des pyramides du pouvoir aux réseaux de savoirs», il conclut au «trop d'État», ce qui est devenu un lieu commun. Et s'il s'agissait surtout d'un «mal État» ? J'ai le sentiment qu'il y a «mal État» quand Dominique Strauss-Kahn déclare au début de 1998 : «Nous avons décidé de coordonner nos efforts avec *Microsoft* en matière de recherche, de formation, de financements conjoints en capital-risque» ; il y a également un «mal État» quand

l'Élysée accueille Bill Gates en sauveur. En revanche, il y a un «trop peu d'État», quand ni le ministère de l'éducation nationale, ni le ministère de l'industrie ne proposent de perspectives et de débats face aux problèmes que pose l'enseignement de l'informatique.

Dans cette éprouvette du futur que sont les techniques de l'information se dessinent de nouveaux rapports de l'homme au travail, du public au privé, des sciences à la société. Aux États-Unis un emploi créé sur deux est dans ce secteur, où les ingénieurs feront pourtant défaut, en l'an 2000 ; en France, la faiblesse de l'industrie informatique inquiète autant que les offensives de *Microsoft* déjà évoquées. C'est ainsi que l'association française des universitaires et chercheurs en informatique (SPECIF) œuvre pour un dialogue permanent avec les différents acteurs : nous revendiquons, dans la formation initiale des étudiants, un équilibre entre l'enseignement des systèmes ouverts et des systèmes fermés, mais aussi une adaptation des flux d'étudiants et des contenus des programmes ; nous voulons adapter aux sollicitations du marché de l'emploi des actions de formation élaborées avec les professionnels et les tutelles. L'indépendance de la France et de l'Europe, la pérennité des emplois, exigent aussi des ambitions publiques et privées en matière de recherche et de développement technique.

Des initiatives associatives élargissent la réflexion aux problèmes de société posés par l'explosion du traitement planétaire d'informations. C'est peut-être à ce niveau de réflexions et de propositions que l'État doit hisser son rôle.

Utopie ? Notre vieux continent en a besoin, pour espérer, dans la révolution numérique qui est en cours, autre chose qu'un rôle de second plan.

Max DAUCHET est professeur d'informatique au Laboratoire d'informatique de Lille et président de SPECIF.



Le beurre, un faux solide

HERVÉ THIS

Comment le rendre tartinable.

Le beurre est un solide étrange : quand on le sort du réfrigérateur, on doit parfois attendre une quinzaine de minutes avant de le tartiner facilement. Pourquoi ? Comment éviter cette attente ? Pourrait-on fabriquer un beurre tartinable dès sa sortie du réfrigérateur ?

La question se pose depuis 1988 : la législation accorde l'appellation de beurre aux produits qui, comme le beurre, sont des dispersions de gouttelettes d'eau dans la matière grasse laitière, à condition que ces produits aient été séparés par des méthodes physiques. Aussi pouvait-on concevoir de vendre des beurres de qualités variées, préparées par mélange de diverses fractions qui auraient été d'abord isolées du beurre.

Comment séparer ces fractions ? Comment les recombinaison ? En 1992, le groupe de recherche de l'industrie laitière *Arilait* a confié à plusieurs laboratoires la tâche d'analyser la matière grasse laitière et d'identifier des règles de composition des beurres tartinables. L'étude était difficile, parce que les molécules qui composent la matière grasse laitière sont variées et « polymorphes » : chaque type de molécules cristallise de plusieurs façons, selon le type de traitement qu'il a antérieurement subi, et les cristaux n'adoptent leur forme d'équilibre qu'après un long repos.

Dans le lait, cette matière grasse est sous la forme de gouttelettes dispersées dans de l'eau ; chaque gouttelette, de quelques micromètres de diamètre, est enrobée de micelles de caséine, chaque micelle étant un assemblage de plusieurs protéines, cimentées par du phosphate de calcium. Des arômes sont dissous dans les matières grasses des gouttelettes, tandis que des molécules variées (vitamines, sucres, tels que le lactose, sels minéraux, protéines) sont en solution dans l'eau.

L'équipe commanditée par *Arilait* a d'abord étudié la matière grasse, dont la composition change même selon les saisons. En revanche, une unité règne : les matières grasses du lait sont essentiellement des molécules de triglycérides, composées d'une molécule de glycérol à laquelle sont liées trois molécules

d'acides gras. Le lait contient plus de 500 acides gras différents. Comme chaque acide gras peut être lié à n'importe quel atome de carbone du glycérol, le nombre de triglycérides possibles est supérieur à plusieurs milliers.

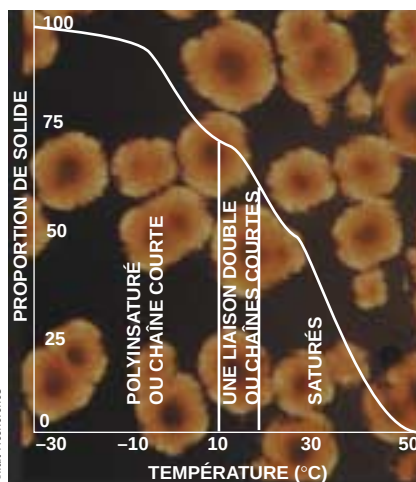
Une des conséquences majeures de cette diversité est le comportement étrange du beurre à la fusion : contrairement à un corps pur tel que l'eau, qui fond à une température fixe (0 °C), la fusion du beurre

née : on refroidit lentement le beurre fondu et l'on isole les cristaux qui apparaissent à une même température, tous composés des mêmes types de molécules.

Ayant ainsi isolé des fractions qu'ils ont identifiées, Frédéric Lavigne, Michel Ollivon et leurs collègues ont alors cherché un moyen de former des mélanges tartinables dès la sortie du réfrigérateur : ils préconisent de mélanger des triglycérides à température de fusion élevée, qui restent donc solides à la température ambiante, avec une proportion appropriée de triglycérides à basse température de fusion, liquides à température ambiante. On obtient ainsi un corps apparemment solide qui, comme le beurre classique, contient une proportion de molécules sous la forme de liquide (même dans le lait, les « gouttelettes » de matière grasse sont partiellement solides : la proportion de solide atteint 70 pour cent à 4 °C, mais seulement 10 pour cent à 30 °C). L'enrichissement en molécules à basse température de fusion facilite le tartinage. Les fractions à point de fusion élevé sont utilisées en pâtisserie (encore sous le nom de beurre, puisque la réglementation l'autorise) notamment pour la réalisation de pâtes feuilletées.

Pourquoi un solide qui contient du liquide reste-t-il apparemment solide ? À cause des cristaux qui s'enchevêtrent quand ils croissent. Raclé par un couteau, le beurre semble s'amollir non pas parce qu'il s'est échauffé, mais parce que les cristaux sont séparés.

Comment utiliser ces découvertes en cuisine ? Je vous propose de tester la cristallisation fractionnée : fondez le beurre et récupérez la partie solide à mesure qu'elle se forme, tout comme l'ont fait les physico-chimistes. Vous aurez ensuite la possibilité de composer votre beurre, par des mélanges, et d'obtenir les textures appropriées au plat où vous voudrez placer votre produit.



Les diverses molécules de la matière grasse du lait cristallisent (en fond) en trois étapes principales.

commence dès -50 °C, et elle s'achève vers +40 °C. Les divers triglycérides du lait fondent par familles chimiques homogènes en trois étapes principales : de -50 °C à 10 °C, on observe la fusion des molécules dont les acides gras sont courts ou comportent des liaisons chimiques doubles, entre les atomes de carbone ; puis, entre 10 °C et 20 °C, vient le tour des molécules ne contenant qu'une seule liaison double ou bien une chaîne courte ; entre 20 °C et 40 °C, fondent les molécules où les trois acides gras sont saturés (avec seulement des liaisons chimiques simples entre les atomes de carbone).

Les physico-chimistes ont plutôt étudié le phénomène inverse de la fusion : la cristallisation, à partir de beurre fondu. Pour séparer les diverses fractions, on effectue ainsi une « cristallisation fraction-

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 25 juin 1998, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

