

Pour la Science

■ POUR LA

SCIENCE

Septembre 1997

édition française de

SCIENTIFIC
AMERICAN

Les sursauts
gamma

La migraine

L'amiante

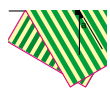
Les greffes
d'organes animaux

Les voiles des bateaux
de course

Engrais
et démographie

**Les trésors de
la Chine bouddhiste**

Bloc-notes de Didier Nordon

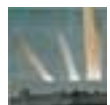


Jeu-concours

Comment étendre sa serviette de bain?

par Pierre Tougne

Tribune



Les inattendus de la science

Les inattendus de l'astronomie

par André Brahic

Métier de l'ingénieur

Vers des ingénieurs entrepreneurs

par Jean-Claude Lehmann

Science et finance

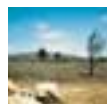
Les nombres-indices

par Christian Walter

Science et gastronomie

Cuisine rénovée

par Hervé This



Perspectives scientifiques : 20

Prévoir les feux de forêts

La fureur de vivre

Cristal livresque

Les oiseaux menacés

La musique des mers

Des embryons de dinosaures carnivores

Les petits corps du Système solaire

Parasites indicateurs



L'expérience du mois

Sablier inversé...

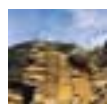
par Pierre Évesque



Logique et calcul

Les ordinateurs mathématiciens

par Jean-Paul Delahaye



L'image du mois

Cheminées de sable

par Roland Paskoff

Savoir technique

Les fibres optiques

par John Mac Chesney



Analyses de livres

– Biologie des coléoptères chrysomélides

– Îles, vivre entre ciel et mer

– L'origine des espèces aujourd'hui. L'espèce existe-t-elle? L'impasse ponctualiste

– L'évolution a-t-elle un sens?

– Sir Christopher Ingold, a Major Prophet in Organic Chemistry

La migraine

32

par Marie-Germaine Bousser,
Hélène Massiou et Anne Ducros

Les mécanismes de cette maladie aux multiples facettes s'éclairent et les composantes génétiques se précisent ; des médicaments mieux ciblés devraient naître des découvertes récentes.

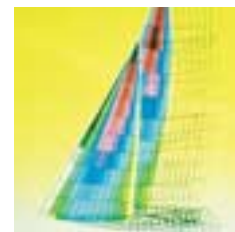


Les voiles de course

40

par Brian Doyle

Les tissus en matériaux composites mis au point pour les voiles des bateaux de course pourraient être utilisés pour les parachutes et les ballons stratosphériques.



Grandeur et décadence de l'amiante

48

par James Alleman
et Brooke Mossman

Minéral aux applications universelles, des mouchoirs à la pâte dentifrice en passant par les matériaux de construction, l'amiante est aujourd'hui prosaïque. On ne lui connaît toutefois pas de remplaçant.



Amiante : le dossier français

54

par J.-P. Favre-Trosson

Avant d'interdire complètement l'utilisation de l'amiante, la France en était l'un des plus gros consommateurs.

Les trésors du bouddhisme chinois de Dunhuang

58

par Neville Agnew et Fan Jinshi

Les temples creusés dans la roche, le long de l'ancienne route de la soie, témoignent des transformations culturelles et religieuses d'un millénaire. Les archéologues tentent de préserver les statues et les peintures menacées.



Les poissons lumineux fossiles des carpates

66

par Ruzena Gregorova

Les organes émetteurs de lumière permettent aux poissons de vivre dans les ténébreuses profondeurs abyssales. Cette merveilleuse adaptation est révélée par des fossiles vieux de 35 millions d'années.

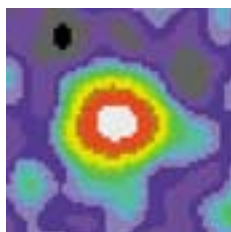


Les sursauts gamma

72

par Gerald Fishman
et Dieter Hartmann

Des observations récentes de ces explosions mystérieuses font espérer que l'on en connaîtra bientôt les sources. On envisage notamment des collisions d'étoiles à neutrons.



Les xénotransplantations

80

par Robert Lanza, David Cooper
et William Chici

Depuis plusieurs dizaines d'années, le nombre d'organes prélevés sur des donneurs décédés est insuffisant pour tous les patients qui attendent de bénéficier d'une transplantation. Des organes humanisés provenant d'animaux deviendront peut-être une source d'organes salvateurs.



ENGRAIS ET DÉMOGRAPHIE

86

par Vaclav Smil

Pour nourrir la population du Globe, on doit utiliser tant d'engrais azotés que la répartition de l'azote sur la Terre a été modifiée de manière spectaculaire, voire dangereuse.



Sur notre site Web (<http://www.pourlascience.com>), vous trouverez des compléments bibliographiques à propos des articles de *Pour la Science*.

Un monde de contraires

Scintillements quotidiens, les étoiles imprègnent de leurs ordonnancements cultures, traditions, religions. Cette régularité céleste est ponctuée d'extraordinaires manquements : les étoiles filantes et les comètes signalaient, pensait-on, l'exceptionnel catastrophique ou divin. Une comète aurait guidé les rois mages vers Bethléem ; une autre aurait, la tapisserie de Bayeux l'atteste, signalé la conquête de l'Angleterre.

Les étoiles paraissent toutes identiques, à de minimes différences de coloration près... Trompeuse uniformité. Les instruments de la physique ont ouvert des fenêtres sur un monde divers (voir *Les inattendus de l'astronomie*, par André Brahic, page 8).

Mais ce monde est compréhensible par extrapolation des lois terrestres. La science unifie : les mêmes phénomènes nucléaires, gravitationnels et électromagnétiques sont à l'œuvre dans les étoiles ; la science explique ainsi des comportements divers, des quasars aux pulsars... Les objets cosmiques sont de la science éparpillée dans l'Univers.

Certaines expressions cosmiques gargantuesques restent énigmatiques. Comment élucider les flambées de rayonnements gamma (voir *Les sursauts gamma*, par Gerald Fishman et Dieter Hartmann, page 72), qui consomment en quelques minutes l'énergie émise par le Soleil en dix milliards d'années ?

Le futur de la physique est l'astrophysique. Les physiciens pallieront les limites des accélérateurs de particules en analysant les particules de fabuleuses énergies envoyées par les lointaines machines stellaires.

La tête dans les étoiles : attitude du fou, du poète, du mystique et de l'astronome... Alors quelle tristesse, quelle colère, que de retomber sur Terre pour voir fleurir à l'arrière des autobus les mérites d'un nouveau jeu fondé sur les signes... astrologiques. Il n'est de superstition si mal fondée et si stupide qui ne puisse être exploitée par les marchands du temple.

Philippe BOULANGER

Poésie matricielle

Voici le poème le plus stupide qu'il m'ait été donné de lire. Il est reproduit dans le dossier consacré à l'Oulipo par la revue *Écrire & Éditer* (Vitry, mai-juin 1997).

Haletant sur les flots
Le **t**ronc du pin sourit
Tendu d'un sombre sang...
Sûrs **p**inçons rhapsodiques,
Les **s**oubresauts haineux
Florissant d'ichneumons.

Pourquoi stupide, ce poème ? Pas parce qu'il ne veut rien dire. À ce compte-là... Mais il a dû exiger un travail invraisemblable. Il jouit en effet d'une propriété extraordinaire, qui fait de lui ce qu'on nomme un diagonnet. Lisez verticalement la première syllabe de chaque vers : vous retrouvez exactement le premier vers. Lisez verticalement la seconde syllabe de chaque vers : vous retrouvez exactement le second vers. Ainsi de suite jusqu'à la sixième syllabe et le sixième vers. Autrement dit, si l'on dispose les syllabes de ce poème sous forme de matrice, on obtient ce que les mathématiciens appellent une matrice (6, 6) symétrique.

Comme disent les bidasses, le type qui a fait ça, tant qu'il a fait ça, il n'a pas fait autre chose...

Comme un lieu commun...

Curieuse topologie que celle des lieux communs : quand on s'écarte d'un lieu commun, on ne fait que rester dedans.

Il y a quelque chose d'émouvant dans les contorsions d'un auteur qui répète un lieu commun, tout en soulignant qu'il le prend pour tel : «On a beaucoup dit que... Comme chacun sait... Faut-il rappeler que...?» Ces formules de distanciation, par lesquelles l'auteur marque qu'il a conscience de la banalité du propos qu'il va reprendre, sont émouvantes en ce sens qu'elles valent avec d'échec. Ces formules, en effet, sont elles-mêmes toutes faites, véritables lieux communs de la prose ! Preuve que le lieu commun est un piège dont on ne se sort pas si facilement.

Que ce soit pour l'adopter ou pour le critiquer, le simple fait qu'un auteur cite un lieu commun révèle qu'il s'est déterminé par rapport à lui. Autrement dit, même s'il prétend s'en dissocier, voire le repousser, il n'y est pas étranger et, en cela, y reste soumis. Une pensée originale, quant

à elle, se meut dans son univers propre, à l'écart de tout lieu commun. L'originalité exige une indifférence si souveraine aux lieux communs qu'elle en vient à oublier jusqu'à leur existence.

Note de gueule

Yves-Alain Fontaine n'est pas convaincu que tout soit à rejeter dans la morphopsychologie (appelée aussi physiognomonie) – laquelle a tenté d'associer certains traits du visage à des sortes de directives psychiques. «Même si ces considérations sont passées de mode, j'y suis sensible, [ayant vu à l'œuvre un ami peintre portraitiste] capable de décoriquer en quelques minutes les tendances caractérielles d'une personne parfaitement inconnue auparavant. Je me demande donc si ces idées n'ont pas été considérées avec trop de mépris. Est-il vraiment inconcevable que des ensembles de gènes puissent jouer un rôle de directives internes à la fois vis-à-vis de caractères morphologiques et de tendances "sentimentales" ?» (Yves-Alain Fontaine, *L'évolution sentimentale*, Odile Jacob, 1996, p. 96).

Peut-être en effet s'agit-il là d'un exemple – un de plus ! – de l'incapacité des hommes à penser autrement qu'en allant trop loin, dans un sens puis dans l'autre. Choqués des excès auxquels a mené la physiognomonie (dans le domaine

judiciaire, par exemple, ou comme «argument» raciste), nous la rejetons totalement, sans imaginer que ce rejet puisse nous mener à notre tour à des excès que, peut-être, on nous reprochera à l'avenir. «Le Progrès est l'injustice que chaque génération commet à l'égard de celle qui l'a précédée», disait Cioran (*De l'inconvénient d'être né*, VIII).

La marée n'attend pas

Les lois de la physique sont-elles universelles ? Sont-elles les mêmes depuis le début des temps ? Plutôt que de spéculer sans fin sur ces questions, mieux vaudrait lire les témoignages des voyageurs – et leur faire confiance, bien sûr. La réponse est nette et définitive. C'est non.

«La théorie newtonienne des marées ne se vérifie pas à Tahiti où, toute l'année, les eaux commencent uniformément à refluer à midi et à minuit, et montent vers le coucher du soleil et le point du jour. D'où l'expression Tuiraa-Pô, employée à la fois pour désigner la marée haute et le minuit.» (Herman Melville, *Omoo*, I, XXVII, Pléiade, p. 393.)

De deux choses l'une. Ou les observations modernes confirment celles de Melville ; en ce cas, les lois de la physique ne sont pas universelles. Ou elles les contredisent ; en ce cas, les lois de la physique ont changé depuis Melville.

Ô temps, suspends ton vol...

En ces temps où nombre d'éditeurs pâtissent de la mévente générale du livre, republier un dithyrambe de Lamartine à la gloire de Gutenberg est héroïque. L'éditeur qui fait cela (Folle Avoine) est aussi crâne qu'un pendu entreprenant l'éloge de la corde qui le tient...

Mais lisons plutôt. Lamartine commence ainsi (p. 9-10) : «L'imprimerie rapproche et met en communication immédiate, continue, perpétuelle, la pensée de l'homme isolé avec toutes les pensées du monde invisible, dans le passé, dans le présent et dans l'avenir. On a dit que les chemins de fer supprimaient la distance ; on peut dire que l'imprimerie a supprimé le temps. [...] On peut hésiter à prononcer si une presse n'est pas autant un véritable sens intellectuel, révélé à l'homme par Gutenberg, qu'une machine matérielle.» Et il conclut (p. 91-2) : «Dans quelques années, un mot prononcé et reproduit sur un point quelconque du globe pourra illuminer ou foudroyer l'univers. La parole par le procédé perfectionné de Gutenberg sera redevenue, par la matière, aussi immatérielle que quand elle était seulement pensée. [...] L'esprit se trouble d'admiration devant les conséquences futures de ces inventions et devant ce règne prochain de l'idée par la parole.»

Quelle actualité ! Quelques mots à peine à changer ça et là, et ce texte pourrait être signé de n'importe quel thuriféraire d'Internet ou du cyberspace. Les enthousiastes sont gens peu imaginatifs : d'un siècle à l'autre, la technique accélère, mais leurs commentaires piétinent.

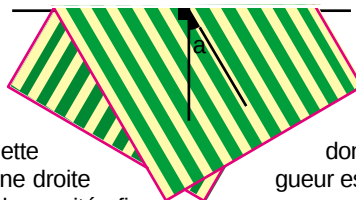
JEU-CONCOURS

PIERRE TOUGNE

N° 39

COMMENT ÉTENDRE SA SERVIETTE DE BAIN ?

Ce mois, un problème pratique : comment faire sécher le plus rapidement possible sa serviette de bain quand on n'a pas de pinces à linge et que la corde à linge est très glissante. Plus précisément, on supposera qu'il n'y a aucun frottement entre la corde et la serviette et, par conséquent, que la serviette doit être pliée autour d'une droite passant par son centre de gravité afin qu'elle ne tombe pas. D'autre part, pour que la serviette sèche le plus rapidement possible, on doit chercher à minimiser la surface des parties de la serviette qui se recouvrent. Dans le cas d'une serviette carrée, il n'est pas difficile de montrer que l'on doit la plier autour d'une droite faisant



un angle de $\pi/8 = 22,5$ degrés avec une diagonale de la serviette. Pour une serviette rectangulaire, le problème est plus délicat. Sauriez-vous déterminer l'angle α de la normale au pli avec l'axe de symétrie dans le sens de la longueur de la serviette (voir la figure) pour des serviettes dont le rapport largeur sur longueur est, soit 0,5, soit 0,838 ?

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 septembre 1997, dix gagnants tirés au sort recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N°37

Remarquons qu'ajouter à droite d'un nombre binaire un 0 ou un 1 revient à multiplier le nombre décimal correspondant par deux et lui additionner respectivement 0 ou 1. D'autre part, le critère d'arrêt du jeu étant la divisibilité ou non du nombre décimal par un nombre premier p , ce n'est pas le nombre lui-même qui nous intéresse, mais le reste de sa division par p qui obéit à la même loi de transformation que le nombre lui-même en calculant simplement modulo p . Ainsi si p est un nombre premier de la liste, Marc devra éviter le reste 0 (évident) et le reste $(p-1)/2$, car Benoît, en ajoutant un 1, conduira au nombre décimal dont le reste de la division par p est $2 \times (p-1)/2 + 1 = p \equiv 0 \pmod{p}$, donc divisible par p . Prenons l'exemple de la liste (5, 7) : Marc doit éviter le reste 2 pour la division par 5 et le reste 3 pour la division par 7. Au départ, les deux restes sont 1 et 1, ce qui est noté (1, 1) ; s'il ajoute un 0 ceux-ci deviennent (2, 2), position perdante pour la division par 5, et s'il ajoute un 1, les restes sont (3, 3), position perdante pour la division par 7, donc Benoît gagne. Pour la liste (7, 11), Marc doit éviter les restes respectifs 3 et 5, d'où son meilleur jeu :

(1, 1) $\xrightarrow{0}$ (2, 2) $\xrightarrow{0}$ (4, 4) $\xrightarrow{0}$ (1, 8)

mais, au coup suivant, il ne peut donner que les deux positions perdantes $\xrightarrow{0}$ (2, 5) ou $\xrightarrow{1}$ (3, 6), et Benoît gagne.

Dans le cas de la liste (5, 11), la suite des coups forcés de Marc est (1, 1) $\xrightarrow{1}$ (3, 3) $\xrightarrow{0}$ (1, 6) $\xrightarrow{1}$ (3, 2) $\xrightarrow{0}$ (1, 4) $\xrightarrow{1}$ (3, 9) $\xrightarrow{0}$ (1, 7) $\xrightarrow{1}$ (3, 4) $\xrightarrow{0}$ (1, 8) $\xrightarrow{1}$ (3, 6) $\xrightarrow{0}$ (1, 1), et, comme (1, 1) est une position précédente, Marc gagnera en recommençant la même suite, c'est-à-dire la stratégie notée 1 10.

La liste (7, 11) est plus intéressante, car l'arbre binaire des possibilités de Marc a plusieurs branches et il y a 12 stratégies possibles dont la plus immédiate est (1, 1) $\xrightarrow{0}$ (2, 2) $\xrightarrow{0}$ (4, 4) $\xrightarrow{1}$ (2, 9) $\xrightarrow{1}$ (5, 8) $\xrightarrow{1}$ (4, 6) $\xrightarrow{1}$ (2, 2) soit 10 0111 et la plus simple 10 01 (vérification laissée au lecteur). L'analyse de la liste (7, 11, 13, 17) ne présente pas de difficulté, si ce n'est sa longueur, et l'on montre que Marc en jouant au mieux perdra au 16^e coup après la suite 100 101 111 010 00 {0/1}.

À propos du Jeu-Concours n° 35, une erreur s'est glissée dans la réponse. Il fallait lire $I = \sqrt{119^2 - 105^2} = 56$. D'autre part, J. Marot a réussi la gageure de donner une expression algébrique (!) de la longueur I séparant les deux murs (on le trouvera sur le site WEB de *Pour la Science*).

Effondrement

L'article de Maurice Mattauer *La faille du tunnel de Toulon* (voir *Pour la Science*, avril 1997) comporte des appréciations inexactes. La complexité de la structure géologique du site avait été identifiée dès les premières études du projet de traversée souterraine de Toulon. Le grand chevauchement signalé par M. Mattauer a donc bien été pris en compte.

À chacun des stades d'avancement des études, des sondages de reconnaissance ont été réalisés pour dresser la coupe géologique complète du tunnel : un sondage tous les 40 mètres en moyenne. Deux galeries de reconnaissance ont été creusées. Les géologues de l'administration ont, en outre, fait appel aux spécialistes de l'Université de Marseille pour l'interprétation de toutes ces données.

De même, les caractéristiques mécaniques des terrains ont été appréciées par des essais en laboratoires, des essais *in situ* et l'analyse classique du comportement des galeries de reconnaissance (étude de la déformation de la galerie, des tassements, et mesure des contraintes). Ce n'est donc pas dans la méconnaissance des terrains et de leurs caractéristiques qu'il faut rechercher les causes de l'effondrement du tunnel de Toulon.

C. LEYRIT, Ministère de l'équipement, du logement, des transports et du tourisme

Réponse de M. Mattauer

À lire la réponse de C. Leyrit, on pourrait croire que les études ont été très bien menées et que tout a été pris en compte. Et le tunnel lui-même ne sait pas pourquoi il s'est si bêtement écroulé en pleine ville.

La réalité est hélas bien différente. Il est faux de dire que le grand chevauchement de la nappe du Cap Sicié avait été envisagé et localisé sur le tracé du tunnel. En effet, le dossier géologique mis à la disposition des entreprises, dans la phase de consultation avant travaux, proposait deux hypothèses structurales, fort éloignées l'une de l'autre, pour expliquer la géologie complexe du sous-sol toulonnais. La première hypothèse, la plus argumentée dans le dossier, mettait en avant une tectonique simple à composante verticale, avec failles sub-verticales, tout à fait irréaliste et en contradiction totale avec le contexte régional.

La deuxième hypothèse envisageait l'existence d'une nappe de charriage, mais d'une façon théorique et seulement en quelques lignes, sans la moindre localisation sur le terrain et sans aborder les conséquences possibles sur la qualité des terrains intéressés par le tunnel.

Ce n'est que trois mois avant l'effondrement que des sondages profonds ont été réalisés sous le niveau du tunnel ; c'est l'intervention d'un très bon expert en géologie structurale qui, un mois avant, a permis la mise en évidence de ce chevauchement, sans équivoque, et qui a découvert l'empilement de plusieurs écaillés de charriages apparaissant en série inverse, les terrains les plus jeunes se trouvant sous les plus anciens. Il est piquant de constater que c'est l'entreprise, à juste titre inquiète, qui est à l'origine de la consultation d'un géologue indépendant et de la mise en évidence de la nappe, et non pas les responsables du projet.

On peut donc bien affirmer que «l'interprétation de toutes les données», faite par ces responsables dans différents rapports entre 1989 et 1991, et maintenue jusqu'après l'éboulement, est toujours restée simpliste et sommaire ; elle n'a pas été capable de déchiffrer la structure complexe de la région qui avait pourtant fait l'objet de plusieurs articles dans la presse spécialisée depuis 1963. Cela est bien compréhensible, car ces différentes personnes ont été consultées pour donner un avis sur un problème tectonique difficile qui relevait de la compétence de spécialistes en géologie structurale.

On a ainsi réussi l'exploit de dépenser 60 millions de francs sans s'être rendu compte qu'on se trouvait en plein dans une nappe de charriage. Il est vrai, que pour la découvrir, il aurait fallu réaliser des sondages traversant la nappe, donc bien plus profonds que le radier du tunnel.

Si on peut se contenter de reconnaître les terrains dans l'environnement immédiat d'un tunnel, en contexte géologique simple, éloigné des zones perturbées par la tectonique, il est évident qu'à Toulon il fallait ratisser beaucoup plus large pour mettre en évidence la grande faille responsable du laminage et du broyage des terrains où est creusé l'ouvrage. Si ce contexte géologique avait été mis en évidence dès l'origine des travaux de reconnaissance, le soutènement du tunnel aurait certainement été dimensionné autrement.

On cherche aujourd'hui à prouver qu'il n'y a pas de responsable ; afin de sauver la face, de se couvrir pour que les surcoûts, engendrés par un projet mal adapté aux réalités géologiques, soient pris en charge par tous les payeurs et les assurances. Finalement ce tunnel coûtera probablement près de un milliard de francs, alors qu'il a été négocié à l'origine à moins de 300 millions de francs.

Mettons en place un Comité technique des tunnels qui rendra obligatoire l'intervention d'experts compétents, et qui rappellera systématiquement que les études géologiques sérieuses sont évidemment un préalable à toutes les consi-

dérations géotechniques, ces dernières devant découler des premières, et non l'inverse, comme le croit encore C. Leyrit. D'ailleurs, il ne nous dit pas encore pourquoi le tunnel s'est effondré... il y a plus de 17 mois.

Division euclidienne

Considérons l'ensemble des restes de la division euclidienne d'un nombre premier par son rang. Cet ensemble est-il majoré ? Si la réponse est non, cet ensemble est-il égal à celui des entiers naturels ? Peut-on trouver trois (ou plus) nombres premiers consécutifs ayant même reste pour cette division ?

Abdoulah VAVODA, Saint-Laurent du Maroni

Réponse de M. Balazard, de l'Université Bordeaux 1

La troisième question est la plus simple. Grâce au logiciel MAPLE, j'ai constaté que :

$$1181 = 6 \times 194 + 17$$

$$1187 = 6 \times 195 + 17$$

$$1193 = 6 \times 196 + 17$$

La réponse à la première question est négative. Voici la démonstration.

Lemme 1 : soit α, β, a, b quatre nombres réels tels que $0 < \alpha < \beta < 1$, $a - b < \beta - \alpha$, et u_n une suite de nombres réels tendant vers l'infini telle que $u_{n+1} - u_n$ tende vers 0 quand n tend vers l'infini. Alors, il existe un nombre entier K tel que, pour tout nombre entier $k \geq K$, on puisse trouver n vérifiant :

$$k + \alpha \leq u_n - a, \text{ et } u_n - b \leq k + \beta$$

Lemme 2 : Si on note p_n le n -ième nombre premier, quand n tend vers l'infini, $p_n/n - \log$ $n - \log(\log n)$ tend vers -1 .

C'est une version forte du théorème des nombres premiers.

D'après le lemme 2, on a pour $n \geq n_0$:

$$n(u_n - 5/4) \leq p_n \leq n(u_n - 3/4)$$

où $u_n = \log n + \log(\log n)$, suite qui vérifie l'hypothèse du lemme 1. Par le lemme 1, on trouve K tel que, pour tout $k \geq K$, il existe $n \geq n_0$ tel que $k + 1/5 \leq u_n - 5/4$ et $u_n - 3/4 \leq k + 4/5$

$$\text{d'où } kn + n/5 \leq p_n \leq kn + 4n/5$$

d'où par conséquent, si on note $f(n)$ le reste de la division de p_n par n :

$$n/5 \leq f(n) \leq 4n/5.$$

Quand on fait tendre k vers l'infini, on voit que cet encadrement se produit pour une infinité d'entiers n , ce qui montre bien que l'ensemble des valeurs de f n'est pas borné.

On peut sans doute préciser considérablement cet énoncé, et peut-être montrer que l'ensemble des valeurs de f est de densité 1. En revanche, je n'ai pas trouvé s'il contient ou non tous les entiers naturels.

Les inattendus de l'astronomie

ANDRÉ BRAHIC

Excepté les étoiles à neutrons et les trous noirs, aucun objet cosmique n'était prévu. Uranie, muse pudique, dévoile avec parcimonie ses attraits.

Le monde céleste est peuplé d'êtres extraordinaires d'une diversité difficile à imaginer *a priori* : des quasars consommant de formidables quantités d'énergie, des pulsars émettant des rayonnements avec la régularité des meilleures horloges, des galaxies aux proportions fabuleuses, des étoiles de diverses tailles et de divers types, des mondes sans retour comme les trous noirs.

UNE DIVERSITÉ EXPLICABLE

Le grand «inattendu» est que nous avons les moyens de comprendre cette diversité : chaque fois que nous avons découvert une nouvelle loi de la physique, nous avons trouvé un astre où elle s'appliquait ; sans cette loi, nous n'aurions pas compris la nature de cet astre. Ainsi les physiciens ont découvert les masers au laboratoire avant de les observer dans le ciel. Dans le silence des laboratoires, les scientifiques découvrent des principes qui s'appliquent à des milliards d'années-lumière.

Il y a 2 600 ans, les Grecs pensaient autrement : ils élaboraient une physique propre à la Terre, être à part. Pour eux, en revanche, le ciel était le monde des dieux, qui ne pouvait être que le siège de mouvements «parfaits» ; donc les astres tourment, pensaient les Grecs, selon des trajectoires circulaires avec un mouvement uniforme. Aujourd'hui les physiciens pensent que les lois physiques sont universelles, et ils le vérifient : la loi de la gravitation de Newton est vérifiée au moins sur un dixième de l'Univers. Sur les neuf dixièmes restants, c'est une extrapolation.

Au fur et à mesure des progrès de la physique et des mathématiques, de nouveaux êtres sont apparus : au début de ce siècle, en 1900, nous ne connaissions que les étoiles – les galaxies n'étaient pas identifiées à l'époque – et les planètes.

En 1880, le bilan a été fait dans les merveilleux ouvrages de Camille Flammarion. Si Flammarion était encore parmi nous, et j'aimerais bien qu'il y soit parce qu'il avait un talent extraordinaire, il diffuserait avec passion les dernières nouvelles, et nous apprécierions mieux combien notre connaissance du monde s'est enrichie.

LA PROSPECTIVE N'A AUCUN FUTUR...

Les découvertes en science ne sont pas une succession de hasards. La vision d'un monde magique dont des savants en longues robes déchiffrent quelques mystères n'est que trop répandue. Si les découvertes ne résultaient que de hasards, notre vision serait celle d'un monde chaotique à l'orchestration incompréhensible. Les recherches scientifiques sont dirigées par des idées *a priori*.

La science avancerait-elle alors selon des rails bien tracés ? Non plus. Je vous engage à lire les rapports de prospective des organismes de recherche du monde entier. Vous y découvrirez en gros ce qui ne s'est pas passé. La prospective n'a pas un futur prometteur en science.

Par nature, les découvertes sont bien difficiles à prévoir. L'astronome a des surprises aussi intenses que celles de Christophe Colomb découvrant «des Indes» très différentes de celles qu'il avait imaginées. Des Amériques, ils s'en découvrent tous les ans, aussi inattendues, aussi imprévisibles.

J'ai eu le bonheur d'être un des scientifiques associés à la mission *Voyager* qui a exploré Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune : avant chaque rencontre avec une planète, nous faisons des paris sur ce que nous allons voir, et tout le monde perdait. Si vous voulez savoir à quoi ne ressemblent pas les paysages et les

planètes, feuillotez les ouvrages de science-fiction des années 1880 à 1950.

LE DIRIGISME EST PEU PRODUCTIF

Comme la prospective est difficile, le dirigisme, son corollaire, est inadéquat. Si vous voulez guérir le cancer ou le SIDA, ce n'est pas uniquement en créant un programme de recherches contre le cancer ou contre le SIDA que vous y parviendrez : les faits importants jaillissent sans cesse de directions inattendues.

À quoi sert l'astronomie ? J'ai la faiblesse de penser que c'est une activité culturelle essentielle. Mais, en dehors de cet aspect, et comme toutes les sciences, les progrès en astronomie ont des retombées économiques. Les astronomes ont mis au point des programmes de calcul des formes à partir d'observations à deux dimensions. Ainsi ils reconstituent le ciel sur la base de visées à deux dimensions. Quand les physiciens ont inventé le scanner avec lequel il faut représenter l'intérieur du corps à trois dimensions à partir de mesures d'absorption par tranches, ils ont utilisé les programmes des astronomes. Le fâcheux est que le brevet est maintenant américain : quand on achète un scanner en France, on paie des redevances qui auraient pu rester dans notre escarcelle.

Autre exemple, l'optique adaptative : les astronomes ont su s'affranchir des déformations optiques dues à l'atmosphère. Quand nous regardons un astre, nous le voyons à travers une espèce de rideau atmosphérique. L'étoile, dont l'image devrait être un point, est une «patate». En faisant l'opération inverse sur les photographies du ciel, opération qui nous fait repasser de la «patate» au point, nous éliminons les perturbations atmosphériques. Un Français, François Roddier, a mis au point cette technique... aux États-Unis. En France, l'effort a été moindre. L'optique adaptative a des prolongements en chirurgie oculaire pour les examens où il faut effacer les défauts des lentilles de l'œil.

HIÉRARCHIE ET FRAGMENTATION

Toutefois, le plus passionnant en astrophysique, reste l'astrophysique. Parce qu'elle pose les questions importantes sur l'existence de l'Univers. A-t-il commencé un jour ? Quand ? Est-il éternel ? Est-il limité ? D'où venons-nous ? Où allons-nous ? Qui sommes-nous ? Il n'est guère de sujet plus prenant ! Nous avons, pour la première fois dans l'histoire, des ébauches de réponses aux questions précédentes.

Deux aspects inattendus de l'évolution de l'Univers restent inexpliqués : son organisation hiérarchique et la fragmentation d'un milieu *a priori* homogène en objets individuels.

L'Univers est organisé de façon hiérarchique dont les premiers éléments sont les étoiles ; 80 pour cent de ces étoiles vivent en couples. Puis il y a des amas d'étoiles, et ces amas d'étoiles

sont réunis en galaxies. La galaxie est à l'astronome ce que la molécule est au chimiste, l'élément de base ; elle comprend des étoiles, de la poussière, du gaz, des particules de haute énergie. Notre Galaxie, la Voie lactée, comprend une centaine de milliards d'étoiles ; des galaxies comme la nôtre, il en existe quelques centaines de milliards...

Les galaxies sont regroupées dans des amas de galaxies. Dans notre petit amas local, nous avons une trentaine de galaxies voisines, les plus proches étant les nuages de Magellan et la galaxie d'Andromède. Ensuite, il y a des amas d'amas, et peut-être des amas d'amas d'amas. Jusqu'où ira-t-on ? Chaque fois que l'on passe d'un niveau de la hiérarchie au niveau supérieur, la densité de



Jean-Loup Charmet

1. CAMILLE FLAMMARION (1842-1925), popularisateur et visionnaire, n'avait, pour stimuler son imagination cosmique, que les observations de l'époque. Il rendit compte d'une rarissime aurore boréale à Paris, en 1868, et représenta un monde désolé avec quatre soleils et quatre lunes. Pas plus que les éminents prospectivistes actuels, Flammarion n'a pu imaginer les êtres cosmiques que les astronomes allaient découvrir avec les nouveaux moyens d'observation.



matière diminue; donc, si la hiérarchie se poursuivait indéfiniment, la densité de l'Univers serait quasi nulle. Cela est important, car, selon la valeur de sa densité, l'Univers est en expansion indéfinie ou, au contraire, retombe sur lui-même.

Le Soleil a une densité de l'ordre de l'unité, mais, si l'on considère cette masse dans le volume du Système solaire, la densité correspondante est très faible. La densité de la galaxie est encore inférieure, car les étoiles sont distantes. Et ainsi de suite. Pour savoir ce que devient la densité à l'infini, il faut faire un inventaire qui n'est pas terminé.

La fragmentation est le second inattendu inexplicable : à partir d'un univers homogène au moment du Big Bang, comment se fait-il que des entités -étoiles, galaxies, amas- se soient constituées? Comment ces objets de masse très particulière se sont-ils isolés? Grand mystère. Toutes les galaxies ont des masses du même ordre de grandeur ; il faut donc savoir comment ces objets se sont individualisés.

L'ÉVOLUTION DES ÊTRES STELLAIRES

Un autre sujet d'étonnement est la variabilité du monde céleste. Les étoiles, comme chacun de nous, pauvres hères, naissent, vivent et meurent. Tout évolue dans l'Univers. Évidemment, pas beaucoup à l'échelle humaine, mais, en regardant finement, les astronomes savent rendre compte de cette évolution. Ce n'est qu'à la fin des années 1930 et au milieu des années 1940 que l'on a compris pourquoi les étoiles brillaient et pourquoi elles évoluaient en épuisant leur combustible.

La durée de vie d'une étoile dépend de sa masse. Une étoile massive, par exemple dix fois la masse du Soleil, vit bien ; elle fait la fête tous les jours, elle est très lumineuse, elle rayonne beaucoup, mais ne dure pas longtemps. À l'inverse, une petite étoile, par exemple un dixième de la masse solaire, fait des économies, ne dépense pas beaucoup, n'émet pas beaucoup d'énergie, vit tristement, mais longtemps. Ces scénarios n'expliquent toutefois pas la répartition actuelle des masses des étoiles ni la fragmentation initiale. Nous sommes limités au constat de l'évolution.

Ce constat n'allait pas de soi : avant 1644, avant Descartes, le dogme était la fixité d'un monde créé par un dieu. Dans le ciel, seuls les nuages évoluaient. Dogme fort, car les contradicteurs, comme Giordano Bruno, finissaient sur le bûcher. Newton aurait pu imaginer une évolution du monde en raison de l'attraction des masses, mais, conservateur prudent,

n'osa pas franchir le pas. 1644 est la date clef. Descartes écrit que le Système solaire a dû être formé à un moment donné et évoluer. Pendant presque deux siècles, deux écoles anglaise et française se sont combattues.

L'école anglaise disait : le Système solaire a été formé par une catastrophe. Une étoile s'est approchée du Soleil, a arraché de la matière qui a constitué les planètes. La probabilité qu'une étoile passe près d'une autre dans la Galaxie est extrêmement faible, l'événement doit se produire une fois tous les 7 à 8 milliards d'années. Cela signifiait que le Système solaire est unique. Conclusion : nous sommes unique(s)!

Les Français, derrière Laplace, raisonnaient différemment : quand une étoile se forme, argumentaient-ils, la périphérie de l'étoile est un milieu plus froid où se forment les planètes. Pour une fois, les Français auront raison : pas de catastrophisme, une évolution banale, et donc nous ne sommes pas uniques : il doit y avoir des planètes autour d'autres étoiles.

Bien plus tard, une autre polémique a opposé les écoles soviétique et américaine : les Américains soutenaient qu'une planète se forme par la contraction d'une protoplanète géante ; les Soviétiques affirmaient qu'elle se constitue par accumulation de corps plus petits. La suite a donné raison aux Soviétiques : une planète se forme par agglomération de planétoïdes, de petits objets de 500 mètres de dimension en moyenne. Quand le choc de deux planétoïdes est violent, les objets se cassent et redonnent de la poussière. Quand le choc est doux, les objets fusionnent. De cette succession de divorces et de mariages sont nées les planètes du Système solaire. Là encore, selon ce raisonnement, il doit exister des planètes hors du Système solaire.

La difficulté est que l'on ne peut expérimenter. L'astronome ne peut casser la Terre en deux, tordre le plan de la Galaxie, ni augmenter la température du Soleil. Heureusement l'exploration spatiale supplée, dans une certaine mesure, à nos manques. Grâce à elle, nous voyons des objets qui sont plus gros que la Terre, d'autres plus petits, d'autres plus chauds, d'autres plus froids, certains plus denses, d'autres moins denses. Cette variation des paramètres physiques, impossible à reproduire en laboratoire, existe naturellement dans la variété des objets observés.

Ainsi le volcanisme n'est pas spécifique de la Terre, et l'on peut mesurer les paramètres sur les autres planètes pour mieux comprendre les mécanismes qui le régissent. Autre exemple, la climatologie. On sait mal modéliser les échanges océan-atmosphère et l'effet de la rotation

rapide de la Terre sur le climat. Sur Vénus, il n'y a pas d'océan, et la rotation de l'astre est lente. En étudiant Vénus, on isole les paramètres importants sur Terre.

Ce n'est pas en restant le nez au niveau des marguerites qu'on comprend les problèmes : relevons la tête, la diversité des objets de l'Univers est la richesse de demain.

Un progrès qui a été à la source de découvertes inattendues est l'observation à d'autres longueurs d'onde que le visible. Le rayonnement électromagnétique couvre un large spectre, et les informations captées dans chaque domaine de longueur d'onde sont d'égale importance. Mais nous n'avions que nos yeux pour voir, et les observations se sont, pendant des siècles, cantonnées au visible. L'histoire de notre reconstitution de l'Univers ressemble au monde perçu par un enfant qui, à la naissance, serait affublé de lunettes vertes. Il n'aurait vu que les feuilles et n'aurait pas imaginé que les arbres ont un tronc. Imaginez sa joie quand, débarrassé de ses lunettes, il verrait le bleu, le rouge, le marron, découvrirait que les feuilles s'accrochent aux branches, qu'il existe des voitures rouges.

LES QUASARS

Les astronomes ont vécu cet émerveillement au cours des 20 dernières années : ils ont découvert l'Univers en rayons X, en rayons gamma, en ultraviolets, en infrarouges et vu que le visible ne rend compte que d'une partie de l'Univers. Les quasars ont été découverts par un tel élargissement de notre champ de vision.

Nombre de techniques mises en œuvre en astronomie sont des retombées des recherches militaires. Les astronomes sont de grands récupérateurs de matériel de guerre : la lunette astronomique de Galilée en est le premier exemple. De même, les Anglais, durant la Seconde Guerre mondiale, avaient remarqué que les radars chargés de détecter les avions de la *Luftwaffe* étaient troublés quand on les pointait en direction du Soleil : le Soleil est un émetteur radio.

Les astronomes ont récupéré les radars militaires et ont cartographié les sources radio de l'Univers. Certaines sources sont très violentes, très brillantes, très puissantes, mais la technique de résolution des radiosources n'était pas bonne et leur localisation imprécise. Un jour, une de ces sources est occultée par la Lune, dont on connaît la position à 14 décimales près, et l'on obtient ainsi sa position. À cet endroit, on trouve une petite source visible, de magnitude 14, et ce que les

Anglais appelaient un *quasy stellar object*, un quasar, dont l'essentiel de l'énergie est émise dans les longueurs d'onde radiométriques.

Des théories, des scénarios s'échafaudent pour expliquer la nature de ce nouvel être stellaire. La meilleure explication du moteur des quasars, c'est un immense trou noir, un Gargantua qui mange la matière qu'il attire. Ces quasars sont jeunes parce qu'ils sont loin, et que plus on regarde loin, plus on regarde dans le passé, la vitesse de la lumière étant limitée à 300 000 kilomètres par seconde ; certains quasars sont à neuf milliards d'années-lumière. Nous avons des nouvelles qui datent de neuf milliards d'années. Comment est cet objet aujourd'hui ? Nous le saurons dans neuf milliards d'années.



2. Les arcs des anneaux de Neptune, découverts en 1984. On distingue à droite, de bas en haut, les arcs nommés Liberté, Égalité, Fraternité. Certains astronomes avaient prédits qu'en raison des perturbations du satellite Triton, il ne pouvait pas y avoir d'anneaux autour de Neptune. Tous les astronomes pensaient que des arcs seraient rapidement détruits. Comprendre leur formation et leur stabilité est une des tâches prioritaires des astronomes.

LES ANNEAUX DES PLANÈTES

La structure et la physique des anneaux autour des planètes sont des problèmes ouverts qui datent de Galilée, le premier à avoir vu les anneaux de Saturne. La loi de Kepler énonce qu'un objet tourne d'autant plus vite autour d'un corps central qu'il est plus proche ; l'objet éloigné tourne moins vite. La partie interne d'un petit objet irrégulier dans un anneau tournant plus vite que la partie externe, cet objet s'étale et redonne un anneau bien circulaire. L'extraordinaire inattendu est qu'il y ait des arcs de matière autour de Neptune. J'ai eu la chance de les découvrir en 1984 avec William Hubbard, et cette découverte a été confirmée par les observations de la sonde spatiale *Viking*. Ces arcs sont fort intéressants : ils sont peut-être le siège de processus de confinement qui ont joué un rôle important dans la formation des planètes. Soit ces arcs sont instables et, telles les vagues au bord du rivage, ils sont détruits et recréés sans arrêt, mais comment et pourquoi ? Soit ils sont stables, ce que nous ne savons pas encore expliquer.

Nous avons inventé des accélérateurs de particules de plus en plus puissants ; hélas, le jour se pointe où les États n'auront plus assez d'argent pour les construire. Les crédits pour l'accélérateur américain a été coupé et le superaccélérateur qui sera en place au CERN, à Genève, en 2005 n'aura peut-être pas de successeur immédiat.

Le futur de la physique est l'astrophysique, et une nouvelle discipline vient de naître : la physique des astroparticules. La compréhension de la physique subatomique passe par les messages du ciel, les rayons cosmiques qui nous arrivent gratuitement. Il n'est donc pas toujours nécessaire de construire des accélérateurs, là où des détecteurs d'astroparticules appropriés suffiraient.

En même temps, nous espérons découvrir le mécanisme de production d'énergie de ces sources extrêmement puissantes. Il faut continuer l'inventaire du magasin astronomie. Une des difficultés est d'intéresser le contribuable et ses élus pour une discipline qui n'est pas enseignée à l'école.

LES PULSARS

Un autre inattendu total fut la découverte des pulsars. Jocelyne Bell, étudiante en stage, découvre un petit parasite dans un signal. Son patron de stage n'y croit guère. Jocelyne insiste, et le parasite continue à se manifester. Les astrophysiciens de Cambridge sont émus, certains pensent à des signaux envoyés par des petits hommes verts : les extraterrestres nous téléphonent-ils ? On a très

vite compris que la source du signal était une étoile à neutrons en rotation rapide, et que son rayonnement balayait la Terre comme le faisceau d'un phare balaie les flots. Hélas pour la morale, les deux patrons de Jocelyne ont eu le prix Nobel, et la jeune fille n'a pas obtenu de poste immédiatement. Toutefois, l'humanité se souviendra que c'est Jocelyne Bell, étudiante très consciencieuse, qui a fait une découverte fondamentale. Beaucoup d'astronomes l'envient.

Les trous noirs n'ont pas grand-chose d'inattendu, du moment où vous comprenez la loi de Newton. Pour un objet de masse et de rayon donnés, il y a une vitesse d'évasion : elle est de 11 kilomètres par seconde pour la Terre. Pour un rayon très petit et une masse très grosse, cette vitesse de libération atteint la vitesse de la lumière. Donc un trou noir ne laisse rien échapper, même pas la lumière ; en revanche, il avale tout ce qui passe à sa portée.

Laplace savait cela, et dans sa deuxième édition du *Système du monde*, il imagine ces trous noirs. C'était pendant la Révolution française ; quand la réaction revient au pouvoir, ce passage hardi est supprimé.

La grande difficulté est d'observer ces objets invisibles. On voit les disques d'accrétion de la matière en train de tomber, on voit les trous noirs en train de manger et l'on voit les plats qu'on leur apporte, mais on ne voit pas le convive. Actuellement, les présomptions d'existence sont tout de même assez fortes.

Finalement, rares sont les objets que l'on a imaginés avant de les observer ; plus rares encore ceux qui sont prévus, comme les trous noirs, et que l'on n'a pas vus. Et la plupart des êtres astronomiques sont imprévus : Uranie, muse de l'astronomie, ne dévoile que lentement ses attraits.

André BRAHIC est professeur à l'Université de Paris VII-Denis Diderot et astrophysicien à l'Observatoire de Paris et au CEA Saclay.

Ce texte est une transcription par la revue du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France Culture, le 10 septembre 1997, à 9h05.

Vers des ingénieurs entrepreneurs

JEAN-CLAUDE LEHMANN

L'ingénieur moderne doit se préoccuper de marchés pour créer des emplois.



En cette fin de siècle, il est patent que les techniques évoluent plus vite en France que l'enseignement. L'échelle de temps d'une évolution technique importante est de l'ordre de dix ans, parfois beaucoup moins. Cette accélération de l'histoire a un corollaire : les entreprises demandent aux ingénieurs de créer la vague des innovations plutôt que la suivre.

Ainsi le métier de l'ingénieur moderne ne consiste plus seulement à perfectionner des produits existants afin d'améliorer leurs performances et de les fabriquer à moindre coût. Les entreprises les plus dynamiques, grandes ou petites, souhaitent que leurs ingénieurs retrouvent le goût d'entreprendre, comme à l'époque où des Gustave Eiffel, des Fulgence Bienvenüe, des Georges Claude, portés par leur imagination technique, imposaient leur dynamique, allant même souvent jusqu'à créer leur propre entreprise. Plus proche de nous, un Bernard Maitenaz a su développer *Essilor*, à partir d'un remarquable exploit technique, la lentille à focale progressive.

Les grandes écoles françaises forment de bons professionnels, le plus souvent de bons gestionnaires, mais forment-elles des entrepreneurs ? S'il est souhaitable que, dans un premier emploi, un ingénieur « apprenne le métier » en faisant tourner une usine ou en améliorant les techniques, cette solide formation théorique (à l'école), puis pratique (dans l'entreprise) doit être le socle sur lequel asseoir ensuite son essor créateur. Hélas, cet « épaulé-jeté » n'est pas souvent la marque des ingénieurs français. Bons techniciens, bons gestionnaires, il leur manque le plus souvent la volonté de faire bouger leur entreprise ou, mieux encore, d'en créer une eux-mêmes. Les ingénieurs français seraient-ils mieux formés à supprimer des emplois qu'à en créer ? Quelle école d'ingénieurs, en

France, peut se comparer, toutes proportions gardées, à un Institut de technologie du Massachusetts, qui vient de publier le résultat d'une enquête estimant à plus de un million le nombre d'emplois existant dans des entreprises créées par d'anciens élèves ?

Comment faire passer la culture d'entreprendre dans la formation de nos ingénieurs ? On devra probablement commencer l'action très tôt, dès l'enseignement secondaire, où les connaissances de base doivent s'accompagner d'un apprentissage de l'initiative personnelle. Plus tard, les élèves ingénieurs devraient être mieux à même de mesurer ce qu'une véritable carrière d'entrepreneur, quel que soit le sens exact que l'on accorde à ce terme, peut leur apporter d'enrichissement et de satisfaction personnels. Cet apprentissage devrait notamment donner aux ingénieurs le goût de s'intéresser au marché : c'est là où le marché peut se développer, là où il manifeste de nouvelles demandes, là où naissent également de nouveaux marchés, que se trouvent les possibilités de croissance interne des entreprises (par opposition à la croissance géographique ou par acquisition), de création de valeur pour les actionnaires et de créations d'entreprises nouvelles ; c'est là où de nouveaux emplois peuvent être créés... et c'est là que le goût de l'ingénieur-entrepreneur peut trouver le mieux à s'exprimer.

Comment expliquer que notre pays soit en grande partie passé à côté des extraordinaires dynamiques de création d'emplois qu'ont été les marchés de la communication, de l'informatique, des biotechnologies... alors que les idées et les techniques étaient présentes en France ? Les structures de financement, le rôle de l'État, les contraintes administratives et fiscales ont certainement joué un rôle, mais, avant tout, c'est

la volonté d'entreprendre de nos ingénieurs qui manquait ; c'est d'elle que l'on doit attendre une évolution de la situation.

S'il fallait illustrer cette dynamique par l'exemple d'un grand groupe, comme *Saint-Gobain*, et pour se limiter à l'un de ses métiers, celui du verre pour le vitrage des bâtiments et des automobiles, on peut dire que la technique de base, dite du verre flotté (*float glass*), si elle est de plus en plus complexe et perfectionnée, a tendance à se banaliser. C'est donc en regardant vers le marché que l'on trouvera des opportunités pour enrichir ce métier, le développer et créer plus de valeur ajoutée, et donc d'emplois. Vitrages à transparence variable, protections solaires et thermiques variables, vitrages autonettoyants, répartissant la lumière dans l'intérieur des bâtiments... Voilà autant d'idées nouvelles qui offrent aux ingénieurs à la fois des défis techniques et des marchés à développer et à conquérir.

Les ingénieurs de demain ne devront pas être simplement des ingénieurs gestionnaires. Il faut retrouver le moule de fabrication des ingénieurs-entrepreneurs.

Jean-Claude LEHMANN est directeur de la recherche du Groupe Saint-Gobain.

À l'occasion de son Forum de l'anticipation, le Conservatoire national des arts et métiers organise dix carrefours « emploi-formation » pour aider ses futurs élèves à définir leur projet de formation en fonction des besoins de compétence des entreprises : EDF (16 septembre), Saint-Gobain (17 septembre), La Poste (18 septembre), Axa (19 septembre), Ministère de la défense (22 septembre), Air liquide (23 septembre), Renault (25 septembre), Accor (26 septembre), Elf (29 septembre), Thomson (1^{er} octobre). Entrée libre de 14 heures à 17 heures (renseignements au 01 40 27 29 16).