

■ POUR LA SCIENCE

Avril 1996

édition française de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

L'ENSEIGNEMENT
DES SCIENCES
PAR C. ALLÈGRE,
P.-G. DE GENNES,
J.-M. LEHN, J.-C. YOCCOZ

TCHERNOBYL,
UN AVENIR INCERTAIN

TÉLOMÈRES
ET CANCER

LES EXPLOSIONS
GALACTIQUES

VARIATIONS
DU NIVEAU DE LA MER

BACTÉRIES ET ULCÈRES



LA LOCALISATION
PAR SATELLITE

Bloc-notes de Didier Nordon	7
Tribune des lecteurs	8
Les impossibles en physique des particules par Michel Spiro	10
Point de vue <i>Les comités d'éthique servent-ils la démocratie?</i> par Philippe Lazar	14
 Présence de l'histoire <i>Les tables astronomiques</i> par Denis Savoie	16
Science et gastronomie <i>La cuisson des pâtes</i>	20
L'enseignement des sciences par Pierre-Gilles de Gennes, Jean-Marie Lehn, Claude Allègre et Jean-Christophe Yoccoz	23
Jeu-concours : Billards de mathématicien	37
Perspectives scientifiques :	
<i>Le trait retrouvé</i>	30
<i>Gènes anciens</i>	32
<i>Striga et lutte biologique</i>	33
<i>Le Grand Attracteur débusqué?</i>	34
<i>Un bruit précieux</i>	35
<i>Dopamine et comportement</i>	36
<i>La pollution radio</i>	38
<i>Vitamines : pas d'abus</i>	39
<i>Art et culture préhistorique</i>	40
<i>Surfaces minimales</i>	41
<i>Les tornades de la turbulence</i>	42
 Visions mathématiques <i>Quads et quazars</i> par Ian Stewart	100
 L'expérience du mois <i>Des pois sans poids</i> par Shawn Carlson	102
L'image du mois <i>Du mouvement dans la roche</i> , par Domingo Aerden	104
 Analyses de livres	108
– <i>L'art juif</i> , par Gabrielle Sed-Rajna	
– <i>L'inscription corporelle de l'esprit</i> , par F. Varela, E. Thompson et E. Rosh	
– <i>La chimie dans la société</i> , sous la direction de G. Bram, F. Chamozi, A. Fuchs, A. Grelon, C. Lanciano-Morandat et L. Mordenti	

Tchernobyl : avenir incertain 44

par Daniel Robeau

Les effets sur l'environnement et la santé de cette catastrophe nucléaire, qui précipita la chute du régime communiste, restent difficiles à évaluer, ce qui alimente les débats entre alarmistes et optimistes.



Les variations passées du niveau des mers 52

par Jacques Rey
et René Cubaynes

Les nouvelles méthodes d'analyse des couches sédimentaires nous révèlent les montées et les descentes du niveau de la mer au cours des temps géologiques.



La localisation par satellite 60

par Thomas Herring

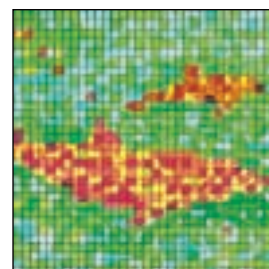
À quelques milliers de kilomètres au-dessus de nos têtes, 24 satellites permettent une localisation à un millimètre près.



L'imagerie acoustique dans l'océan 66

par Michael Buckingham,
John Potter et Chad Epifanio

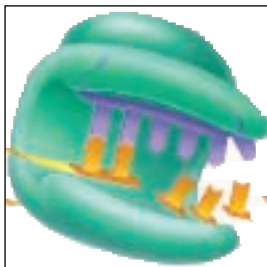
En enregistrant les réflexions et les diffusions des bruits de la mer sur les objets immergés, on forme des images en couleurs de ces objets sans recourir à des sonars.



Télomères, télomérase et cancer 72

par Carol Greider
et Elizabeth Blackburn

La télomérase est une enzyme qui agit sur les extrémités des chromosomes. Détectée dans de nombreux cancers humains, elle serait une cible nouvelle pour les traitements.



Des explosions au cœur des galaxies 78

par Sylvain Veilleux,
Gerald Cecil et Jonathan
Bland-Hawthorn

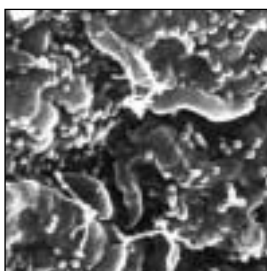
Les flots de gaz brûlants qui s'échappent du centre des galaxies proches seraient à l'origine des étoiles et du milieu intergalactique.



L'origine bactérienne des ulcères 86

par Martin Blaser

La bactérie *Helicobacter pylori* infecte l'estomac d'une personne sur trois de par le monde ; elle déclenche souvent des ulcères et des cancers.



Quarks et simulation numérique 92

par Donald Weingarten

Des années de calculs numériques ont confirmé la théorie qui décrit les quarks. Simultanément les physiciens ont identifié une nouvelle particule dans des enregistrements anciens.



L'enseignement des sciences

Les moyens modernes de transmission de l'information aident-ils l'enseignement des sciences? Dès qu'un nouveau média apparaît, téléphone, radio, télévision, ordinateur, vidéo, CD rom, etc., l'espoir naît : ces nouveaux supports amélioreront, pense-t-on, la transmission des connaissances. Espoir toujours déçu. Qu'est devenue l'Université mondiale imaginée aux premiers temps de la radio et de la télévision? Une utopie. Nous continuons à enseigner par cours magistral, et à apprendre par la lecture.

En revanche, le savoir scientifique augmente. Et nous nous y adaptons. À la Renaissance, pour apprendre les techniques de la multiplication, il fallait aller à l'Université de Bologne suivre les cours des spécialistes de la multiplication. Aujourd'hui les bambins, dès l'école primaire, savent multiplier deux nombres. Toutefois certains résultats se transfèrent moins bien : les lois de la dynamique, léguées par Newton, restent non maîtrisées.

Les théories élaborées par les sciences de la connaissance sont des constats. Leur contribution à une meilleure maîtrise de l'apprentissage n'est pas déterminante.

Aussi la question reste entière. Pouvons-nous optimiser l'enseignement scientifique et faciliter l'assimilation des progrès scientifiques? Nous est-il possible d'améliorer le contenu de la matière enseignée? Quels choix faire? Nous avons interrogé les brillants scientifiques qui ont renouvelé leur discipline, Claude Allègre, Pierre-Gilles de Gennes, Jean Marie Lehn et Jean-Christophe Yoccoz. Les scientifiques améliorent la connaissance en bouleversant les habitudes de pensée ; ils ne procèdent pas autrement dans leur vision d'un renouvellement de l'enseignement, et leurs points de vue sont source d'inspiration. Toutefois la méthode scientifique, par essais et erreurs, peut être douloureusement pénalisante : nous avons vécu ce traumatisme avec l'enseignement des «mathématiques modernes». Les scientifiques interrogés le savent : leur point commun, à travers leurs différences, est le pragmatisme.

Philippe BOULANGER

Le cas favorable

Le crocodile, si habile à happer ce qui bouge et passe à sa portée, semble incapable de voir ce qui est immobile. D'où l'efficacité de la tactique consistant à faire le mort, plutôt qu'à fuir.

On ne sait jamais quelles rencontres on peut faire : ce renseignement, tiré de *L'empreinte des sens* de Jacques Ninio (réédition Odile Jacob, 1996) est bon à retenir. Pourtant, le livre de J. Ninio n'est pas à mettre entre toutes les mains. Imaginons qu'un théoricien tombe dessus. On peut être théoricien et ignorer la zoologie, mais on ne peut pas être théoricien et lire un ouvrage sans en tirer une méthode. Méthode, donc, pour déterminer si tel animal est ou non un crocodile. Allongez-vous à côté, et abstenez-vous de tout mouvement. De deux choses l'une.

– Ou l'animal vous laisse tranquille. Il peut alors s'agir d'un crocodile. Mais il peut s'agir d'un autre animal, un animal inoffensif par exemple. La méthode ne permet pas de conclure. Le théoricien appellera donc ce cas «le cas douteux».

– Ou l'animal vous mange. C'est alors une certitude : l'animal n'est pas un crocodile. Là, la méthode aboutit à une conclusion sûre, montrant ainsi toute sa puissance. Le théoricien appellera donc ce cas «le cas favorable».

Mauvais caractères

Bien plus précis que le nombre de pages, c'est en nombre de signes que les éditeurs mesurent la taille d'un ouvrage. «Un million et demi de signes !», diront-ils par exemple, pour désigner ce que le langage courant appelle un pavé. Curieusement, un espace entre deux mots compte pour un signe, au même titre qu'une lettre ou un... signe de ponctuation. C'est que saisir sur ordinateur une lettre, une virgule ou un espace demande exactement le même travail. Or le signe est une unité de travail.

Dans une grande librairie, quelque 50 milliards de signes vous attendent, vous entourent, tentent chacun d'attirer le regard. Parmi eux d'ailleurs, plusieurs centaines de milliers sont faux, les techniques modernes n'ayant certes pas rendu caduque l'antique et mélancolique constatation des éditeurs : un livre sans coquille, c'est plutôt rare. Cinquante milliards de signes ? Vingt ou trente années de lecture ininterrompue. À eux seuls, les espaces vides entre les mots doivent bien exiger une année.

Une librairie est un temple où de lourdes étagères laissent parfois sortir de confuses paroles. L'homme y passe à travers des forêts de signes qui l'observent avec des regards familiers...

Et cela continue !

Au cours de telle ou telle période, diront par exemple les journaux, la courbe du chômage a été continue. Cette formulation signifie que la croissance n'a pas connu d'interruption. En cela, le terme «continu» n'est pas complètement inapproprié. Cependant, en toute rigueur scientifique, on ne peut pas dire que la courbe du chômage soit continue. Il s'agit d'une courbe monotone.

Faut-il alors se battre pour que les journaux renoncent à l'habitude fautive de dire «continu» ? Non. Il faut se résigner : il n'y a pas de mot satisfaisant. Car le mot «monotone», à son tour, a tout à la fois un sens savant et un sens courant. À supposer que le nombre de chômeurs se mette à diminuer sur une longue période, personne n'aurait le cœur d'appliquer à ce phénomène heureux un qualificatif chargé, par le langage courant, de connotations aussi négatives que celui de monotone.

Quant aux enseignants, qu'ils continuent de lutter contre la tendance estudiantine à confondre «continu» et «monotone».

L'ère du temps

Un nouveau virus a été découvert chez les théoriciens du cybermonde : le N.E.D. La revue *Écrire & Éditer* (janv.-fév. 1996) l'a mis en évidence.

Le N.E.D., c'est le tic de langage – et de pensée – qui consiste à dire à tout bout de champ «Nous Entrons Dans...» Exemples, tirés de l'échange entre J. Attali et A. Finkelkraut («La guerre du virtuel et du réel», *Le Nouvel Observateur*, 9-15 novembre 1995) :

Nous entrons dans une société du nomadisme des objets, des valeurs, du travail.

Nous entrons dans l'ère de la mobilisation totale.

Nous entrons dans un monde de masques et de labyrinthes.

Nous entrons dans un village planétaire.

Nous entrons dans l'ère de l'écran total.

Nous entrons dans un monde d'une plus grande diversité que par le passé.

Au cours de ce brillant échange, A. Finkelkraut a battu J. Attali par 6 N.E.D. à 4. Qu'importe. Ces penseurs sont l'un et l'autre à la pointe des modes intellectuelles. Je démontre donc que nous entrons dans l'ère du N.E.D. Q.E.D.

Le darwinisme selon singeant

Comment préférez-vous Darwin : à la sauce américaine, ou à la française ? L'Amérique mêle une conception victorienne du couple à un réductionnisme pur et dur : tout est dans les gènes. Dans *L'Animal moral*, de R. Wright, la bande du livre («L'infidélité est-elle inscrite dans nos gènes ?») en exprime déjà les obsessions :

«Aucun comportement humain n'affecte autant la transmission des gènes que la sexualité. Commandées par les différents états qui gouvernent le sexe, les pulsions propres aux individus du monde entier, Charles Darwin compris, sont arrivées à maturité. Quand Darwin quitte l'Angleterre, il a 22 ans. Comme tous les jeunes gens, il est doté d'une certaine quantité d'hormones.»

«Si, pour l'homme, le grand péril darwinien est le cocufiage et, pour la femme, l'abandon, alors leurs jalousies respectives ne doivent pas être de la même nature.»

Vous préférez les saveurs de chez nous ? Les Français ont réussi à croiser Lacan avec Darwin. Cela a donné naissance à un hybride viable, qui a reçu le nom de Patrick Tort. Il s'exprime ainsi dans l'avant-propos du *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution* (PUF, 1995).

«Le *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution* n'a pas d'antécédent. Aucun essai d'encyclopédie historique et critique embrassant le darwinisme et l'étendue presque inassignable de ses résonances extra-biologiques n'a jusqu'ici été tenté.»

«Cette "condition d'inexistence" rendait souhaitable une telle synthèse, mais ne fut pas toutefois l'instance première à signaler l'urgence de son passage à l'être.»

«La conscience du manque à savoir sur ces matières fut en effet seconde par rapport à celle de la pléthore, devenue insupportable, des convictions vulgaires attachées au nom, à la personnalité scientifique, au discours et à l'œuvre de Darwin.»

LA BOTANIQUE REDÉCOUVERTE



Un ouvrage d'une conception neuve, qui permet à tous d'accéder à la compréhension du monde végétal.

La Botanique redécouverte montre l'acquisition progressive de la diversité et du succès biologique des végétaux modernes.

De nombreux dessins et documents originaux contribuent à faire de *La Botanique redécouverte* un instrument indispensable pour les botanistes, les biologistes, et tous les esprits curieux.

A. Raynal-Roques est professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

512 pages – 170 F
Code 1610



Bon de commande en p. 98

Spin et particules

L'illustration de l'article *Le spin du proton* (voir *Pour la Science*, octobre 1995) montre, à l'intérieur d'un proton, trois quarks et dix gluons, dont cinq ont un spin orienté comme celui du proton et cinq ont un spin en sens inverse. Combien y a-t-il réellement de gluons dans un proton ? Comment connaît-on le spin d'un quark ou d'un gluon ?

Bernard POUIT, Soues

Réponse de Vincent Breton

Dans un proton, des gluons sont produits, sont absorbés ou se désintègrent en permanence. L'expérience permet seulement de mesurer des densités moyennes de gluons. Par ailleurs, les quarks ont eu une existence théorique avant que des expériences ne vérifient leur existence. Dans le cadre théorique, le spin des quarks avait nécessairement la valeur 0,5 pour constituer les briques élémentaires des protons ou des neutrons. L'interprétation des expériences qui, à la fin des années 1960, ont révélé les quarks, reposait sur cette hypothèse, confirmée par les expériences ultérieures. Le gluon n'a été mis en évidence dans des expériences qu'à la fin des années 1970. Son spin a été déduit indirectement : il vaut 1.

Science et conscience

David Chalmers compare un cerveau humain et un réseau de puces électroniques (voir *Qu'est-ce que la conscience ?*, *Pour la Science*, février 1996). C'est absurde, car, dans un cerveau, de nouvelles connexions s'établissent sans arrêt, ce qui n'est pas le cas dans un réseau de puces artificielles. En outre, un humain n'est pas seulement un cerveau. Il a de nombreux autres organes : il serait réducteur d'affirmer que la conscience vient seulement du cerveau. La conscience est l'organisme tout entier et tous les phénomènes physiologiques et chimiques qui s'y déroulent.

Cédric ROUX, Montreuil

La première erreur de D. Chalmers est de penser que la science peut rendre «pleinement compte» d'un phénomène. L'épistémologie a depuis longtemps dépassé la position positiviste en reconnaissant le caractère approché et temporaire de toute théorie. Les scientifiques ont abandonné l'espoir de dire la réalité telle qu'elle est et se contentent aujourd'hui de penser qu'ils en donnent une description plus ou moins conforme à l'expérience.

On ne peut pas réduire la charge électrique à quoi que ce soit de plus fondamental : cela signifie qu'on ne peut rien dire de sa nature. La charge électrique est simplement un paramètre de la théorie qu'il est indispensable d'introduire pour reproduire les constatations expérimentales. En revanche, lorsque D. Chalmers introduit la conscience comme paramètre d'une théorie psychophysique, il précise qu'elle n'interfère pas avec les lois physiques. C'est donc l'opposé d'une grandeur physique, analogue aux attributs métaphysiques.

La conscience n'est pas un phénomène objectivement mesurable. Elle n'est que perçue subjectivement, et nous inférons la conscience des autres par la similitude de nos comportements. Quelle conscience a un chimpanzé qui répond à son nom ? Il n'y a aucun moyen de le savoir, puisque la notion n'est pas définie par un phénomène extérieur : c'est affaire de conventions. La sensation subjective de la conscience n'apparaît que lorsque le sujet et l'objet coïncident, ce qui est, par essence, hors du propos de la science. En revanche, se demander à quelles conditions un système physique produit des phénomènes objectifs que nous attribuons à la conscience (des paroles qui expriment des sensations ou des créations artistiques) est du plus haut intérêt. Les «problèmes faciles» de D. Chalmers sont de vrais problèmes, mais ils sont difficiles à résoudre. Ce qu'il nomme le «problème difficile» est, en revanche, impossible à résoudre, parce qu'il est posé en termes non scientifiques.

Gilles HENRI, Crolles

Pour l'allaitement

Comme Jack Newman l'évoque dans son article *L'allaitement maternel protège le nourrisson* (voir *Pour la Science*, février 1996), l'Organisation des Nations unies pour l'enfance et l'Organisation mondiale de la santé se mobilisent depuis plus de 20 ans pour redonner à l'allaitement maternel la place perdue au profit du lait artificiel. En France, à l'heure où les réductions des dépenses de santé semblent prioritaires, une action en ce sens serait salutaire (48 pour cent seulement des enfants de huit jours sont allaités par leur mère, au moins partiellement). De nombreux textes, tels le Code international de commercialisation des substituts du lait maternel et une directive européenne, demandent aux états signataires (dont la France) d'encadrer rigoureusement les pratiques commerciales des industries d'aliments infantiles et de s'assurer de l'information des familles des avantages et de la supériorité de l'allaitement maternel.

Nathalie ROQUES, Lyon

Les impossibles en physique des particules

MICHEL SPIRO

À mesure que se poursuit la quête de particules toujours plus élémentaires, la preuve de l'existence de ces particules devient de plus en plus abstraite.

Démocrite, au IV^e siècle avant notre ère, pensa, pour des raisons diffuses, qu'il existait des constituants insécables de la matière. L'idée de Démocrite était bonne, mais il ne savait pas que les particules ultimes sont élusives. Toujours est-il que, dans le langage de la chimie moderne, on a baptisé atomes les éléments chimiques de la classification périodique des éléments.

Revenons un peu en arrière pour mieux définir ce qu'est cette élémentarité. Boyle, au XVII^e siècle précise que les "éléments" (il parle en chimiste) sont des corps d'une telle simplicité que les efforts de l'art sont insuffisants pour les décomposer. Hélas pour la simplicité, l'art du physicien progresse. À mesure que l'on explore la matière, on s'aperçoit que les atomes sont formés d'électrons et de noyaux ; que ces noyaux sont formés d'autres particules, les neutrons et les protons. Que les protons et les neutrons sont constitués de quarks de types différents. Peu de physiciens pensent sérieusement aujourd'hui que les quarks sont les constituants définitivement insécables de la matière.

De plus, Einstein a démontré l'équivalence de la matière et de l'énergie et, en conséquence, toute énergie est potentiellement riche de particules matérielles. À de très hautes énergies, on sait créer des particules fugaces qui ne vivent que quelques milliardièmes de seconde en laboratoire.

Pour identifier une particule, on a longtemps cru qu'il fallait l'isoler de ce à quoi elle était liée. Or, il semble que les quarks soient à jamais emprisonnés dans la cage qu'ils constituent eux-mêmes : aussi les indices de leur présence sont-ils indirects. Au contraire, les neutrinos ne se lient à rien, ou presque, et leur étude est très difficile. Imaginez une particule qui n'interagit avec aucune substance connue : comment pourrait-on l'identifier ? Peut-on même penser qu'elle existe ?

Ainsi la recherche des particules élémentaires se heurte-t-elle à deux difficultés : les particules qui se lient trop et celles qui ne se lient pas assez.

QU'EST DEVENUE L'ANTIMATIÈRE ?

Quand l'énergie se matérialise, il se crée des quantités égales de matière et d'antimatière. Près de l'instant zéro du Big Bang, la température était extrême-

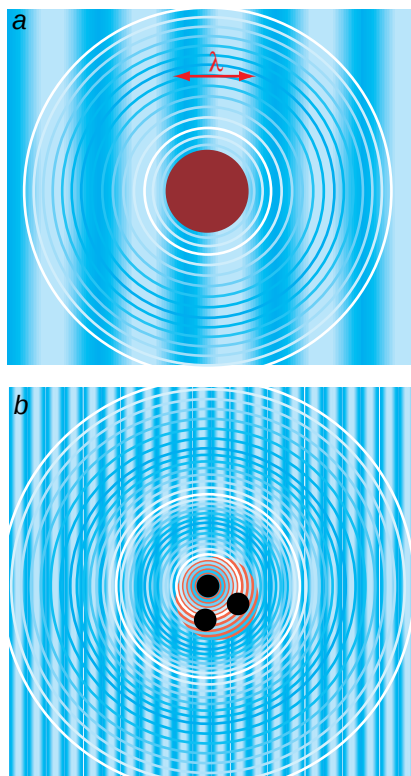
ment élevée et tout était énergie. Lorsque celle-ci s'est condensée matériellement, des masses égales de matière et d'antimatière se sont formées. Le problème est : où est l'antimatière ? Si elle n'est nulle part, pourquoi et comment a-t-elle disparu ?

Neuf atomes d'anti-hydrogène, grand miracle, viennent d'être fabriqués et observés au CERN. Cette réussite est le dernier épisode, en date, d'une longue histoire. Notre vision de l'antimatière est issue des équations : Paul Dirac, à la fin des années 1920, élabore une équation qui unifie, dans une certaine mesure, la théorie de la relativité et la mécanique quantique. Les solutions de cette équation font apparaître la matière ordinaire, mais pour chaque particule de matière, il existe une solution symétrique, une antiparticule, c'est-à-dire une image dans le monde de l'antimatière. Ces antiparticules ont des caractéristiques «miroirs» des particules : elles ont la même masse, mais toutes les charges, les charges électriques ou les charges quantiques plus abstraites, sont opposées ; lorsqu'une particule et une antiparticule se rencontrent, elles s'annihilent et leur matière se transforme en énergie. Aussi la matière, dont semble fait l'Univers, ne peut coexister avec l'antimatière sous peine d'annihilation.

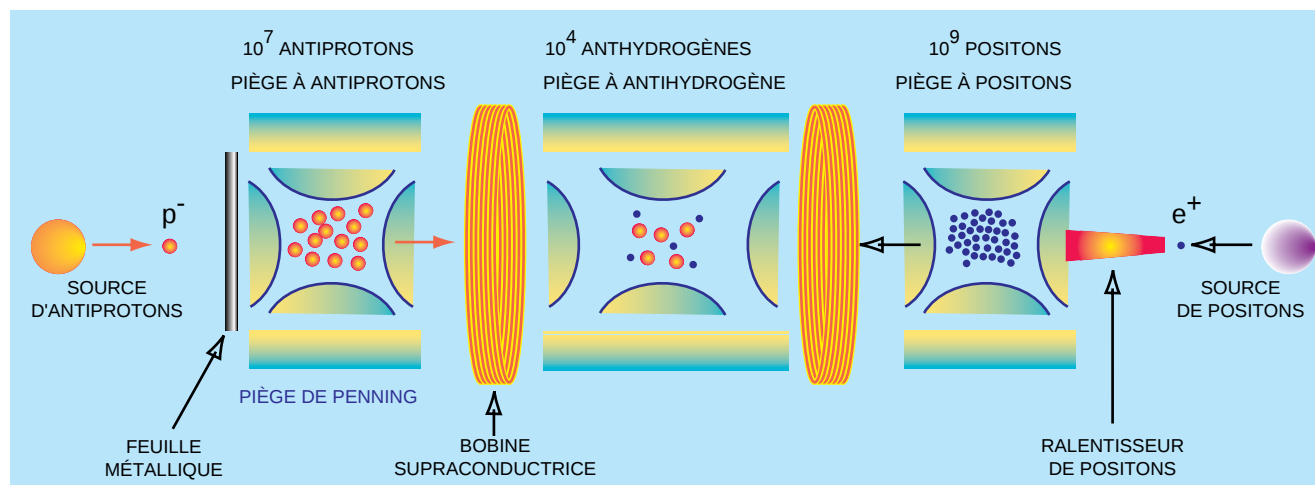
Les physiciens ont alors cherché si ces antiparticules existaient dans l'Univers. La recherche porte d'abord sur les rayons cosmiques, ces particules d'origine extragalactique : dans les années 1930, on y trouve des anti-électrons, baptisés positons, et leurs propriétés correspondent à ce que prévoit la théorie. En effet, placés dans un champ magnétique, les électrons des rayons cosmiques tournent dans un sens par rapport au champ magnétique ; les positons ont exactement les mêmes caractéristiques, sauf leur charge, et ils tournent dans l'autre sens.

Dans les années 1950, on détecte l'antiproton. Comme les physiciens ne le voient pas dans les rayonnements cosmiques, il faut le créer. Pour ce faire, ils envoient un proton de très grande vitesse sur un autre proton ; l'énergie de la collision se transforme en énergie, puis cette énergie se retransforme en matière à travers la relation d'Einstein $E = mc^2$, produisant un antiproton et un proton.

La course aux antiparticules se poursuit ensuite, et les physiciens repèrent l'antineutron, dans les années 1960, puis l'antidéutérium formé d'un antiproton et d'un antineutron, et bien d'autres antinoyaux. Les mesures indiquent que les forces nucléaires entre les constituants de l'antimatière sont les mêmes qu'entre les constituants de la matière.



À chaque particule on associe une onde, de longueur d'onde inversement proportionnelle à son énergie. On voit qu'une particule cible est «ponctuelle» par rapport à la longueur d'onde avec laquelle on l'éclaire si elle diffuse les ondes incidentes. Les quarks à l'intérieur du proton diffusent les ondes pénétrant dans le proton (b). Encore faut-il pour cela que les ondes soient suffisamment pénétrantes, sinon le proton fait écran (a).



Pour déceler les différences spectroscopiques entre la matière et l'antimatière, les physiciens du CERN proposent de stocker dans un piège à anti-hydrogène environ 10 000 atomes d'anti-hydrogène. Grâce aux techniques optiques ultrafines, les niveaux d'énergie du positon

en orbite autour de l'antiproton seraient mesurés à une précision de 10^{-18} , effet d'une éventuelle disparité matière-antimatière. Ces mesures, à la frontière du possible, élucideraient peut-être les énigmes liées à l'omniprésence de la matière dans l'Univers.

En est-il de même des lois de l'électromagnétisme ? Dans les atomes, des électrons orbitent autour du noyau. L'atome le plus simple, c'est l'atome d'hydrogène, avec un proton et un électron. Pouvait-on créer un anti-atome d'hydrogène fait d'un antiproton et d'un anti-électron ? La difficulté est qu'on ne sait fabriquer ces antiparticules qu'en très petit nombre, et la réalisation de neuf anti-atomes n'a été possible que grâce à toute la machinerie qui existe au CERN.

Cet exploit n'est-il qu'un premier pas vers la réalisation d'antimatière ? Un gramme d'antimatière correspond à 6.10^{23} atomes et le saut quantitatif est considérable, peut-être impossible. Les physiciens espèrent produire suffisamment d'anti-atomes d'hydrogène, quelques milliers, et les piéger dans des puits électromagnétiques avec des faisceaux laser pour étudier en détail les niveaux d'énergie de ces atomes d'anti-hydrogène. Alors nous verrons si les niveaux d'énergie des anti-atomes d'hydrogène sont les mêmes que ceux des atomes d'hydrogène.

L'énigme de l'antimatière créée au début de l'Univers est persistante : c'est une des plus importantes questions cosmologiques. Si dans l'Univers, il y a des anti-étoiles ou de la matière interstellaire faite d'antimatière, il y aurait des annihilations caractéristiques et on verrait les produits de ces annihilations ; on ne les a jamais observés.

Certains astrophysiciens pensent qu'il pourrait exister des antigalaxies «quelque part», totalement isolées des autres galaxies. Un satellite va être lancé : il verra si, dans les rayons cosmiques, il existe des traces d'anticarbone ou d'anti-oxygène. Comme ce sont les étoiles qui fabri-

quent le carbone et l'oxygène, ni le Big Bang ni les rayons cosmiques n'ont engendré de quantités appréciables de carbone et d'oxygène. Donc si l'on observait des rayons cosmiques faits d'anticarbone ou d'anti-oxygène, on saurait qu'ils ont été fabriqués par des anti-étoiles et cela serait la preuve de l'existence d'anti-étoiles.

La brisure de symétrie, une petite fluctuation initiale, qui aurait fait basculer l'Univers à sa création dans le camp de la matière, est inconnue. C'est pour cela qu'il est important de fabriquer des milliers et des milliers d'atomes d'anti-hydrogène ou d'anti-atomes pour voir s'il n'y a pas une petite différence dans les lois de physique entre l'antimatière et la matière ? Un tel écart constituerait une piste pour éclairer pourquoi l'Univers est fait de matière et non pas d'antimatière.

Il suffirait d'une toute petite dissymétrie, de l'ordre du milliardième, entre les quantités de matière et d'antimatière formées lors du Big Bang pour expliquer à la fois l'absence d'antimatière et la faible abondance de la matière par rapport au rayonnement. La majeure partie des protons et des antiprotons se seraient annihilés, donnant cet excès de photons et il ne resterait qu'un petit résidu de matière. Nous serions un résidu. S'il n'y avait pas ce tout petit excès de matière par rapport à l'antimatière, toute la matière et l'antimatière se seraient annihilées, et il n'y aurait que des photons dans l'Univers.

QU'EST-CE QUE VOIR UNE PARTICULE ?

Une particule élémentaire est une particule qui résiste à toute analyse en termes de sous-structures : même avec les micro-

scopes géants que sont les accélérateurs de particules, on ne distingue pas de sous-structures à l'intérieur. Les microscopes géants, au lieu d'utiliser des photons, utilisent des électrons ou d'autres particules ; ils ont permis dans les 30 dernières années de mettre en évidence les quarks au sein des protons et d'étudier leurs interactions. L'accélérateur d'électrons de 27 kilomètres de circonférence au CERN permettra de sonder les protons et leur intérieur, les quarks ; un jour ou l'autre on trouvera peut-être une sous-structure à ces quarks.

Le sens du mot «voir», en physique des particules, prend une extension à mesure que l'on diminue la longueur d'onde des particules, massives ou non, qui permettent d'éclairer la structure interne de la matière. On ne peut voir une particule que si on la sonde par une longueur d'onde de l'ordre de grandeur de sa taille. C'est ainsi que l'on voit les quarks à l'intérieur des protons : les électrons très énergétiques, produits dans les accélérateurs de particules, pénètrent à l'intérieur des protons et sont diffusés par les quarks. Cette diffusion dénote la présence de ces particules.

On ne voit pas les objets par eux-mêmes, mais ce qu'ils produisent lors de certains types d'impact. Les quarks peuvent être tellement secoués par les particules incidentes qu'ils produisent des jets de particules et «voir les quarks» signifie alors mesurer l'émission de particules issues de ces quarks. Le sens du mot «voir» devient plus abstrait.

L'idéal pour voir les quarks serait de constituer des jets de quarks et les précipiter sur d'autres quarks. Hélas cela semble impossible avec les théories actuelles de confinement des quarks : selon la chromodynamique quantique,

plus vous tirez sur un quark pour le faire sortir du proton, plus la force de rappel est grande. Mais à des énergies extrêmes ou dans les conditions de densité ou de température très grandes, il se pourrait que les quarks soient libérés. Au début de l'Univers, les quarks et les gluons n'étaient pas confinés à l'intérieur des protons.

Toutefois, pour qu'une particule existe, pour qu'on puisse la voir, il faut qu'elle interagisse. Si des particules n'interagissent pas, ou très peu, elles peuvent échapper à toute observation et le sens du mot «exister» devient très compliqué. Ainsi les propriétés des neutrinos, qui n'interagissent que très peu avec la matière, nous sont inconnues. Voir une particule, c'est aussi déterminer ses propriétés...

LA MASSE MANQUANTE

Une énigme de l'Univers est liée à cette observation de particules. Les mouvements des objets les uns par rapport aux autres dans l'Univers obéissent à la loi de la gravitation universelle ; à partir de la dynamique des objets, elle détermine la quantité de masse nécessaire pour que les objets restent liés. Ainsi, dans notre Galaxie, les étoiles tournent autour du centre de la galaxie ; en utilisant les lois de Newton et de Kepler, on calcule la masse totale de notre Galaxie. Or dans notre Galaxie, la masse visible des étoiles et de la poussière interstellaire n'est que dix pour cent de la masse qu'il faut pour maintenir les objets ensemble : 90 pour cent de la masse de notre Galaxie échappe à toute détection.

Peut-être cette masse n'interagit-elle pas, mais alors elle ne permettrait pas d'expliquer pourquoi les objets stellaires sont liés. Il se pourrait que la masse manquante soit constituée de planètes encore invisibles. Il n'est pas exclu non plus que la masse manquante soit le fait de particules élémentaires qui n'interagissent essentiellement que par les forces gravitationnelles. Ce pourraient être les neutrinos s'ils ont une masse, ou des particules que l'on n'a pas encore découvertes dans les accélérateurs... Les trous noirs, une autre possibilité, ne sont détectables que par des effets indirects, par exemple un effet de lentille gravitationnelle, c'est-à-dire de courbure des rayons lumineux. Tout ce qui pourrait avoir une masse est un candidat.

LA NAISSANCE DE LA MASSE

Les masses des particules restent un grand mystère : pourquoi les particules ont-elles une masse ? Et comment la pré-

voir ? La théorie la plus satisfaisante actuellement, le modèle standard, rend compte de toutes les propriétés observées des particules : leurs interactions et leur comportement lorsqu'elles entrent en collision.

Toutefois on ne sait pas calculer leur masse. La solution viendra peut-être d'un chaînon manquant, prévu par le modèle standard, qui s'appelle la particule de Higgs, du nom du physicien anglais Peter Higgs. Aux tout premiers instants de l'Univers, les particules sont sans masse et c'est lorsque leur énergie décroît en dessous d'une valeur liée à la masse de la particule de Higgs (probablement une centaine de giga-électronvolts), un dixième de seconde après la création de l'Univers, que les particules acquièrent leur masse. Le modèle standard prévoit aussi comment cette particule de Higgs doit se désintégrer en des particules connues, par exemple les bosons Z et W. L'étude de ces désintégrations permettra à la fois de se convaincre de l'existence de cette particule et de mesurer sa masse.

Il n'est pas certain que le modèle standard soit l'explication définitive. Il se pourrait que la structure des particules de Higgs soit un peu plus complexe que celle prévue dans le modèle standard minimal, et qu'il existe plusieurs particules de Higgs, mais dans l'ensemble, on sait assez bien comment on doit les rechercher. Heureusement qu'on le sait assez bien parce qu'on s'attend à ce que sur les milliards de collisions que produira le futur collisionneur à hadrons du CERN on puisse n'extraire que quelques particules de Higgs : une aiguille dans une meule de foin. Pour cette recherche, quelques deux à trois mille physiciens travaillent sur la détection de la particule de Higgs dans un effort mondial sans précédent.

LA GRANDE UNIFICATION, AVEC LA MASSE

Un vrai impossible actuel est l'unification de la gravitation aux trois autres forces d'interaction. Le médiateur de la gravitation est le graviton que l'on n'a pas trouvé ; peut-être ne le trouvera-t-on jamais. On essaie actuellement de voir les ondes gravitationnelles. Un projet franco-italien, Virgo, devrait voir le jour vers l'an 2000 pour détecter des ondes gravitationnelles qui viendraient de catastrophes dans l'espace, de collisions de trous noirs ou d'étoiles à neutrons par exemple.

Une onde gravitationnelle induit des changements des longueurs dans l'espace. La longueur d'un objet varie légè-

rement, très légèrement, quand passe une onde gravitationnelle. Imaginez un objet d'une longueur égale à la distance entre la Terre et la Lune : la variation de la longueur au passage de l'onde de gravitation sera inférieure à la taille d'un atome...

Cette notion de masse d'une particule ne traduit que notre ignorance de ce qui se passe à l'intérieur. Pour la charge électrique il n'en est pas autrement. La théorie de la renormalisation montre qu'à chaque niveau de complexité, on arrive à dégager des lois physiques pratiquement indépendamment de ce qui se passe en dessous. On sait bien que derrière cette complexité, il y a des constituants plus élémentaires, mais on arrive à se débarrasser de cette physique en prenant un petit nombre de paramètres, dégagés des lois, qui résument ce qui se passe à des échelles plus petites. Ainsi la température et la pression intègrent notre connaissance des lois qui régissent les collisions entre atomes. Similairement la masse, la charge électrique d'une particule élémentaire, cache notre ignorance des phénomènes à une échelle plus petite.

LA DÉRAISONNABLE EFFICACITÉ DES MATHÉMATIQUES

Nos connaissances sur les particules élémentaires reposent sur des modèles mathématiques d'une grande finesse. Yang, prix Nobel de Physique, a écrit : «On ne sait pas comment, mais la Nature choisit un petit sous-ensemble des magnifiques mathématiques créées par l'Homme. C'est ce sous-ensemble que les théoriciens de la physique essaient d'exploiter».

Plus les siècles passent, plus l'efficacité conjointe de la physique et des mathématiques semble se consolider à travers des expériences dont on prévoit le résultat et qui font apparaître d'autres choses, lesquelles ouvrent des pistes pour aller encore plus loin dans la recherche mathématique. La déraisonnable efficacité des mathématiques reste une énigme, un mystère, du domaine de la métaphysique.

Michel SPIRO est Chef du service de physique des particules au Commissariat à l'Énergie Atomique à Saclay.

Ce texte est la retranscription du débat enregistré avec Émile Noël, qui sera diffusé sur France Culture le 10 avril 1996, à 9 heures.

Les comités d'éthique servent-ils la démocratie?

PHILIPPE LAZAR

À la suite de la première fécondation *in vitro* pratiquée en France, les pouvoirs publics ont pris, en 1983, la décision de créer un Comité consultatif d'éthique des sciences de la vie et de la santé, chargé de «donner son avis sur les problèmes moraux soulevés par la recherche dans les domaines de la médecine, de la biologie et de la santé». Parmi ses modalités d'intervention, il devait – responsabilité tout à fait originale pour une instance officielle – organiser chaque année une conférence publique sur «les questions importantes se rapportant à ses travaux». Un pas important était ainsi accompli dans le sens de l'association de la population tout entière à la réflexion éthique. Le comité s'est fort bien acquitté de la mission qui lui était ainsi confiée d'informer les citoyens, prenant notamment l'heureuse initiative d'inviter des élèves et des étudiants à assister aux Journées annuelles d'éthique et faisant à cette occasion un remarquable effort de présence dans plusieurs villes autres que la capitale.

Onze années plus tard, la loi du 29 juillet 1994 recrée, à peu près dans les mêmes termes, un comité portant le même nom que le précédent. Mais, différence majeure, cette loi stipule que le comité doit désormais non seulement exprimer des avis, mais aussi «publier des recommandations». Il est donc chargé – et cela de sa propre initiative! – de guider les citoyens sur ce qu'il convient de faire et de ne pas faire en matière d'utilisation des découvertes biomédicales. Par une subtile nuance de rédaction, un pas vers ce qu'il faut bien appeler une certaine forme de normalisation a été ainsi accompli, sans que l'on en mesure parfaitement, semble-t-il, toutes les implications.

Personne ne peut nier qu'il est, dans une société, des situations dans lesquelles il convient que la collectivité nationale établisse le droit, c'est-à-dire définisse ce que sont les transgressions de comportement non admises et passibles de sanctions. La loi est l'instrument démocratique qui permet de le faire, sous l'autorité de la représentation nationale. Confier la tâche de préparer ces interdits à un comité de Sages constitue indéniablement une



Philippe Lazar.

atteinte, même si elle n'est que partielle, aux prérogatives légitimes du Parlement.

On peut se demander si, plus profondément encore, l'initiative en question ne contredit pas la notion même de réflexion éthique *en tant que telle*. Qu'est-ce, en effet, qu'une réflexion collective de cette nature? N'est-elle pas, avant tout, la confrontation de points de vue *différents* face à une situation nouvelle, engendrée par des progrès de la connaissance qui suscitent des interrogations d'ordre moral? Et n'est-ce pas la *maïeutique* qui permet, à partir de ces interrogations, de parvenir à des décisions individuelles ou collectives qui constituent le cœur même de cette réflexion partagée?

Dès lors, est-il judicieux de gommer, pour partie, le processus social qui permet, à partir d'opinions quelquefois radicalement opposées, de parvenir à des compromis acceptables entre les citoyens, à une tolérance réciproque fondée sur un effort de compréhension en profondeur du point de vue de l'autre? N'y a-t-il pas un grave danger pour la démocratie à atténuer ainsi le rôle du *débat* entre les citoyens, cet élément fondateur du contrat social?

POUR UNE ÉTHIQUE PAR LE DÉBAT

D'autres évolutions étaient-elles possibles et sont-elles encore concevables? Il faudrait pour cela que le Comité national d'éthique change délibérément de modalités de fonctionnement et revienne à ce qui devait constituer sa fonction essentielle : éclairer les citoyens sur les *problèmes* posés et non leur «souffler» des solutions toutes faites. Il suffirait, à cette fin, qu'il fasse *systématiquement* instruire de façon contradictoire chaque dossier par au moins deux groupes indépendants de rapporteurs, puis qu'il rende publiques leurs conclusions respectives en mettant en valeur à la fois leurs probables convergences et leurs inévitables divergences. Il créerait ainsi, pour les citoyens et leurs représentants légitimes, un espace de libres débats, issu de ses propres réflexions, à l'image même des nouvelles libertés potentielles de pensée et d'action qu'apporte en permanence le mouvement de la science.

Le débat d'éthique n'a pas pour objet de «contenir» les avancées du savoir. Il offre, tout au contraire, une exceptionnelle occasion de faire partager par les citoyens les joies, les difficultés et les responsabilités qu'elles engendrent. Il peut contribuer à la promotion de l'ambitieux projet de société que nous assignait naguère Jacques Monod : promouvoir une véritable «éthique de la connaissance». Il ne saurait, dans cette perspective, être institutionnellement accaparé par des «spécialistes», quels que soient leur compétence et leur désir de bien faire.

Est-ce là une utopie? On peut certes le penser, mais les utopies de cette nature ne sont-elles pas le fondement même de l'espace politique et social que l'on appelle, précisément, la *démocratie*?

Philippe LAZAR est directeur général de l'INSERM.

Philippe LAZAR, *L'éthique biomédicale en question*, éditions Diana Lévi.