

D'AUTRES TERRES CÉLESTES • LA FUSÉE VASIMR • IMPUISSANCE ET VIAGRA

■ POUR LA

Pour la Science

SCIENCE

Janvier 2001

édition française de

www.pourlascience.com

SCIENTIFIC
AMERICAN

Réussites et échecs du clonage



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

M 2687 - 279 - 38,00 F



BLOC-NOTES

de Didier Nordon

TRIBUNE DES LECTEURS

SCIENCE ET ÉCONOMIE

Voyage à Bast(i)a!

par Ivar Ekeland

POINT DE VUE

Les médecins face au clonage humain

par Laurent Degos



SCIENCE ET GASTRONOMIE

Curieux jaune

par Hervé This



PRÉSENCE DE L'HISTOIRE

La constante de Planck

par Giulio Peruzzi



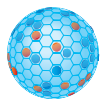
PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

■ Un loir dort depuis 50 millions d'années
■ La fièvre de la vallée du Rift ■ Premières orbites
autour d'un trou noir ■ Colle de verre ■ Michel-Ange, maître
d'anatomie ■ Les tiques du python ■ Une banque de café arabica
■ 220 millions d'années, 23 mètres de long... ■ Prairies sous
dioxyde de carbone ■ Le mystère du fond diffus ■ Le puffin cendré
■ La mer en éprouvette ■ La vigne du Collège ■ Les termitières,
engrais naturels ■ Quand les poissons avaient des dents...
■ Nouvelles armes contre le paludisme

LOGIQUE ET CALCUL

Les nombres infinis vers la gauche

par Jean-Paul Delahaye



VISIONS MATHÉMATIQUES

Hex : le jeu des hexagones

par Ian Stewart



IDÉES DE PHYSIQUE

Des ondes dans les artères

par Roland Lehoucq et Jean-Michel Courty



ART ET SCIENCE

Schiste et camisard

par Maurice Mattauer



ANALYSES DE LIVRES

■ *Terre d'inventeurs*, de Alain Frerejean ■ *Généalogie
de la matière*, de Michel Cassé ■ *La théorie des jeux*,
de Gaël Giraud ■ *Théorie des jeux et modélisation économique*,
de David Kreps.

Deux encarts d'abonnement entre les pages 18 et 19, un encart broché service lecteurs et une carte
d'abonnement entre les pages 98 et 99. Un encart parrainage pour les exemplaires destinés aux abonnés.
Un dépliant trois volets «Pour la Science vous recommande» sur tous les numéros.

Chaque mois, retrouvez le sommaire complet
de la revue **en ligne** avec pour chaque article
une bibliographie et un complément d'information.

www.pourlascience.com

5

6

8

10

12

14

20

100

106

108

110

110

L'harmonie des cœurs d'atomes

32

par Ph. Chomaz, Y. Blumenfeld
et J.-A. Scarpaci

À la fois élastiques et rigides, les
noyaux des atomes sont des res-
sorts microscopiques : ils vibrent
et entrent en résonance.



Le clonage : état de l'art

40

par Jean-Paul Renard et Xavier Vignon

Objet de curiosité ou source d'inquiétude, le clo-
nage animal par reprogrammation d'une cellule adulte
est un outil que les biologistes maîtrisent de mieux
en mieux, mais le taux de réussite reste faible.

Le clonage de l'arche de Noé

46

par Robert Lanza, Betsy Dresser et Philip Damiani

Grâce au clonage, les biologistes disposent d'un moyen
d'éviter que les espèces animales menacées ne dis-
paraissent à tout jamais.

La fusée VASIMR

50

par Franklin Chang Díaz

Un nouveau type de fusées com-
bine les avantages des anciennes :
forte poussée et rendement élevé.



Les premières sociétés d'Égypte 60

par Barbara Barich
et Enrico Barich

Quand la sécheresse a chassé les premiers agriculteurs du Sahara, ils ont migré vers le Nil, berceau de la grande civilisation égyptienne.



La représentation de l'esprit chez l'enfant 66

par Anne-Marie Melot

Vers cinq ans, les enfants commencent à concevoir que chacun a sa propre représentation de la réalité physique et sociale.



Jeûner l'estomac plein 74

par Michel Gauthier-Clerc,
Yvon Le Maho et Yves Handrich

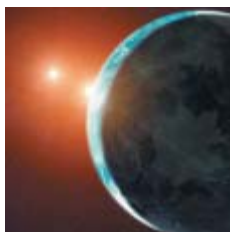
Le manchot royal conserve de la nourriture dans son estomac pendant l'incubation de l'œuf pour pouvoir nourrir le poussin à l'éclosion.



À la recherche d'autres terres 78

par Laurance Doyle, Hans-Jörg
Deeg et Timothy Brown

Les astronomes ont découvert des dizaines de planètes en dehors de notre Système solaire, mais ils n'ont pas réussi à capturer de sœur jumelle de la Terre... pour l'instant.



Les circuits du sexe 86

par Irwin Goldstein

Loin d'être indépendant, le pénis est sous l'influence de multiples centres nerveux qui le commandent.



La création d'une Académie des technologies repose les questions liées aux applications de la Science et à la responsabilité conjointe des scientifiques, des industriels et des décideurs politiques. Comme dans la maréchaussée composée de bons et de méchants, les rôles étaient autrefois partagés : le gentil scientifique faisait progresser les connaissances, le méchant industriel tirait profit de ces percées en faisant courir des risques à la Société. Le politique gérait ces intérêts conflictuels.

Le communiqué de presse annonçant la création de l'Académie, comporte des phrases soulignées afin que les journalistes comprennent bien la portée des propos. Figurent évidemment les grandes idées comme la nécessité de favoriser le transfert de technologie et la création d'entreprises innovantes, et la volonté de repolitiser la science. Excellentissime, quoique un peu vague. L'Académie des technologies pourrait aussi enseigner au politique le statut de la connaissance.

La création d'entreprises innovantes n'est pas encouragée (litote) par les peurs liées à l'ignorance. Imaginons la position du jeune ingénieur qui a inventé un nouvel appareil : peut-il le commercialiser dans une nouvelle entreprise avant de s'être assuré qu'il est absolument inoffensif ? Le principe de précaution aurait interdit à Prométhée de donner le feu aux hommes, à Pasteur de vacciner Joseph Meister, aux chirurgiens de tenter des greffes.

Il n'y a plus de méchants et de bons, il y a des inquiets. Le politique doit prendre des décisions en fonction de son évaluation de ce que le scientifique sait. Et le scientifique ne parlera avec franchise que si le politique accepte que sa culture est incomplète. En sciences, et tout particulièrement en Sciences de la vie, une question n'amène pas une réponse, mais une chaîne d'autres interrogations (voir *Le clonage : état de l'art*, page 40). L'opinion publique apprend aujourd'hui à accepter les incertitudes multiples.

Si l'homme politique accepte ces indéterminations, sa représentation mentale du savoir scientifique en sera améliorée. Lors de son développement, on sait que c'est vers l'âge de cinq ans (voir *La représentation de l'esprit chez l'enfant*, page 66) que l'enfant sait ce que les autres savent. La connaissance du savoir des autres, et la représentation mentale que l'on s'en fait, sont des étapes importantes de la culture.

Philippe BOULANGER



BLOC-NOTES

DIDIER NORDON

La soustraction divise

La soustraction étant complémentaire de l'addition, ces deux opérations reviennent au même. Recourir à l'une plutôt qu'à l'autre est question de goût. Voici un exemple. Imaginons une soirée. Tout en s'activant aux préparatifs, les hôtes comptent le nombre d'invités. Ils procèdent par addition, en s'y perdant un peu, bien sûr : il y aura les Untel avec leurs deux enfants, plus les Untel avec un enfant, plus Untel, etc. Ils trouveraient exactement le même résultat en partant du nombre total d'hommes vivant sur terre, et en en soustrayant le nombre de gens qui ne sont pas invités à la soirée.

Ce qui précède n'est pas qu'une plaisanterie. Dans certaines affaires criminelles, on a vu la justice agir de la sorte, ou presque, lorsque, incapable de trouver l'assassin, elle s'est résolue à faire subir systématiquement la recherche des empreintes génétiques à toute une population. Supposons que tous les tests soient négatifs et qu'il reste un seul individu non testé : c'est sûrement lui le coupable, mettons vite la main dessus.

Les techniques puissantes, comme les opérations élémentaires, sont utilisables de façon saugrenue.

Le temps de la nouveauté

Le progrès technique prouve que les hommes ne sont pas paresseux. Non seulement les inventeurs enfiévrés sacrifient loisirs et santé pour quelque perfectionnement, mais la masse suit. Car une technique nouvelle ne peut se répandre que si les gens sont prêts à faire l'effort de s'initier. S'ils étaient paresseux, avant de s'astreindre à acquérir tant et tant de nouveaux savoir-faire, ils se demanderaient si tous en valent la peine. Pareille attitude ne serait peut-être pas plus mauvaise, d'ailleurs.



Contrairement aux dires des publicités, une technique nouvelle ne sert pas tant à faire gagner du temps qu'à en faire perdre : avant que l'initiation, avec ses cafouillages et ses énervements, soit rentabilisée, une nouvelle technique surgira et, à son tour, exigera une familiarisation plus ou moins longue et pénible.

Cela dit, perdre son temps tout en se croyant en train de préparer un avenir meilleur est un des exercices favoris de l'humanité. De fait, c'est une excellente façon de ne pas souffrir de la vacuité du présent, de ne même pas la percevoir. Alors, vive le progrès technique!

La double mort du poète

Mort d'un écrivain. La presse, décrivant son enterrement à grand renfort de clichés, énumère les personnalités «venues rendre un dernier hommage au disparu». Pauvre défunt! Le cliché, passe encore! La presse y a droit. Ce qui est terrible, c'est la vérité qu'il exprime. *Dernier* hommage. Fini. Après, l'écrivain n'en aura plus. À quoi bon tant d'efforts de sa part pour éviter les clichés, justement, et nourrir son œuvre d'images hardies, de pensées puissantes, d'intrigues originales? Évanoui, l'espoir que son enterrement marque le premier jour de sa gloire immortelle. Nouveau Virgile? Nouveau Shakespeare? Eux n'ont pas encore connu leur *dernier* hommage. Illusion! La presse, hélas, n'est jamais plus créative que quand elle recourt aux clichés éculés.

Le plagiat : thérapie sociale

«J'ai hais comme la mort l'état de plagiaire», écrivait Musset, qui ne passe pourtant pas pour avoir été très délicat en la matière. Son aveu révèle le problème posé par les plagiaires. La situation dans laquelle ils se mettent ne peut que les faire souffrir. Non parce qu'ils jouissent d'un bien dérobé (cela, ils s'en accommoderaient), mais parce qu'ils reçoivent des compliments qu'ils savent immérités. Ce drame-là leur est propre. La violence avec laquelle, en leur for intérieur, ils ressentent leur insuffisance est d'autant plus dévastatrice qu'on les croit plus grands. Pourquoi n'avouent-ils pas la vérité, mettant fin au supplice d'être félicités pour des qualités qu'ils n'ont pas?

C'est que l'aveu serait pire. Perdre la face, d'abord. Mais, surtout, se retrouver seuls, sans personne pour les solliciter. Ce qu'ils fuient avant tout, c'est le vide. À l'époque de Musset, être reçu dans les salons ; aujourd'hui, passer à la télévision ; en toutes époques, fréquenter



les académies, cela occupe, cela distrait. Le mobile des plagiaires n'est pas de voler des bravos, c'est de ne pas rester seuls aux prises avec la vacuité du temps. La peur, ô Pascal, de s'ennuyer quand on est livré à soi-même, voilà la source de bien des friponneries.

La beauté, il l'a dans l'œil

Beaucoup de scientifiques, émerveillés par la beauté de leur discipline, s'en étonnent et lui attribuent une signification extrême : la preuve éclatante que leur discipline met le doigt sur des vérités profondes.

C'est l'étonnement de ces chercheurs qui est étonnant. Leur situation est en fait la plus banale qui soit. S'ils agissaient sans aucun souci de beauté, là, il y aurait de quoi s'étonner. Car le besoin de beauté est, pour ainsi dire, inhérent à l'homme. Quoi qu'il fasse, il y met de la beauté, s'il peut. Il y a gros à parier que même les bourreaux ont des critères esthétiques pour commenter une exécution.

Les conceptions de la beauté sont très personnelles. Là-dessus, l'ironie de Voltaire est imparable. «Demandez à un crapaud ce que c'est que la beauté. Il vous répondra que c'est sa femelle avec deux gros yeux ronds sortant de sa petite tête, une gueule large et plate, un ventre jaune, un dos brun.» (*Dictionnaire philosophique*, article «Beau, beauté»).

Trouver belle la démarche qu'il choisit est une nécessité psychologique impérieuse de l'être humain, pas une preuve que cette démarche atteigne à une vérité.



TRIBUNE DES LECTEURS

Le corail

Votre article «Le récif corallien de Tahiti» (voir *Pour la Science*, août 2000) m'amène à apporter les précisions suivantes.

Premièrement, les zooxanthelles sont de minuscules algues endosymbiotes (intracellulaires). Diverses sources estiment qu'il peut y en avoir jusqu'à dix millions par centimètre cube de tissu : elles ne peuvent donc se trouver dans la cavité stomacale des coraux que de façon transitoire, lorsque ces derniers sont au plus mal et les expulsent de leurs tissus. Cette expulsion accompagne le grave phénomène du blanchiment des coraux attribué, en première approximation, aux températures excessives dues au réchauffement global en cours.

Deuxièmement, la partie volcanique d'un futur atoll s'enfonce effectivement, comme l'avait supposé Charles Darwin (aux îles Keeling, ou Cocos, dans l'océan Indien), car la croûte océanique qui le porte se refroidit (subsidence thermique) et parce qu'en plus, actuellement, le niveau général de l'océan s'élève (eustatisme) ; mais le récif ne se soulève pas naturellement, il grandit vers le haut et vers l'intérieur, car c'est tout ce qu'il peut faire, accroissant la taille du lagon (récif frangeant, récif barrière). En effet, du côté de la haute mer (tombant récifal), où il se protège avec ses formes sphériques les plus résistantes, sa croissance horizontale est bloquée par les dégâts de la houle, des tempêtes et des cyclones : il ne s'écarte donc pas de la côte du cône volcanique.

Les coupes fournies (avec une très forte exagération verticale) le montrent parfaitement ; l'écartement entre les pointes désignées, ou non, par les flèches obliques, ne change pas dans les trois figures : 3,2 millimètres. En fait, faute de possibilité d'expansion horizontale, la taille de l'anneau initial est imposée, d'une part par la profondeur maximale où les coraux peuvent vivre (100 mètres maximum), d'autre part, par la pente du cône volcanique, en général très faible.

Enfin, les récifs qui se soulèvent existent, mais sont rares, et il en meurent. Ils deviennent alors des îles calcaires criblées de grottes, à bordure typique en marches d'escalier. Le meilleur exemple est celui des îles Loyauté, près de la Nouvelle-Calédonie ; d'autres sont connus au Nord d'Haïti ou à la pointe Est de Cuba. Tous sont associés à des phénomènes tectoniques : aux Loyauté, il s'agit d'un grand bombement, dit ride des Loyauté ; à Cuba et à Haïti, il s'agit de l'influence d'un grand décrochement compressif Est-Ouest.

Tous les récifs n'ont donc pas la chance de pouvoir grandir indéfiniment, même s'ils sont épargnés par la tectonique. Si leur vitesse de croissance verticale ne parvient pas à compenser l'effet combiné de la subsidence et de

l'élévation du niveau marin, ils meurent privés de lumière et de l'apport nutritif de leurs zooxanthelles qui ne «fonctionnent» plus (les sédimentologues disent qu'ils ne parviennent pas à combler l'espace disponible). Alors, l'ensemble de l'atoll se noie, comme on en connaît de très nombreux exemples dans l'océan Pacifique, où les plus vieux ont au moins 115 millions d'années : dans le monde, leur nombre atteint environ 10 000.

C'est pour cela que la démarche de Guy Cabioch et de ses collègues est particulièrement intéressante, car 18 millions de kilomètres carrés d'espaces récifaux sont concernés. Leurs résultats recoupent parfaitement ce que l'on savait des édifices coralliens les mieux connus, notamment ceux où ont eu lieu des essais nucléaires : Bikini, Eniwetok, Mururoa.

Jean-Marie VILA, Toulouse

De l'algorithme

En lisant l'excellent article de Gilles Dowek «L'infini et l'univers des algorithmes» (voir *Pour la Science*, décembre 2000), je constate une fois de plus que les auteurs qui définissent les algorithmes oublient souvent de préciser qu'une procédure ne mérite d'être considérée comme un algorithme que si elle est rigoureusement déterministe et, lorsqu'elle fournit un résultat, que si celui-ci est unique. C'est ainsi qu'aucune instruction ne doit faire appel à un processus aléatoire comme : «Lancer alors un dé et ajouter le chiffre obtenu.» Je suppose que, pour ces auteurs, cette restriction est évidente, mais elle ne l'est pas pour tout le monde : un scientifique de haut niveau de mon entourage ne l'admettait pas.

Parfois même, ces auteurs parlent de logiciel, alors que ce terme est réservé aux ordinateurs réels et qu'ils devraient dire qu'un algorithme est équivalent à une «machine de Turing». Et ce parce que les ordinateurs sont essentiellement interactifs, sans quoi ils auraient peu d'intérêt, alors qu'une machine de Turing est rigoureusement non interactive (elle n'a ni clavier ni même de bouton «marche/arrêt» ; si elle en avait un, la démonstration du théorème de l'arrêt s'effondrerait). Cette restriction correspond à la définition d'une «application» en mathématiques : l'élément «cible» doit être unique et déterminé, alors qu'il peut y avoir plusieurs «sources» pour une seule cible.

En revanche, sur un ordinateur, un opérateur indiscipliné peut saisir sur le clavier, lors d'un arrêt au cours de l'exécution d'un logiciel, l'heure qui apparaît sur sa montre ou le résultat du lancement d'un dé, au lieu de la donnée qui figure sur son livre de consignes.

C'est en raison de cette interactivité que les ordinateurs ne sont des machines algorithmiques

que par intermittence, et qu'ils ne satisfont pas au théorème de l'arrêt. C'est pour la même raison que notre cerveau, relié en permanence à l'univers extérieur, ne peut pas non plus avoir un fonctionnement strictement algorithmique, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer l'indétermination quantique au niveau des synapses, comme a cru devoir le faire le mathématicien Penrose.

J.-P. SCHWAB

Deux absurdes

Dans l'article «Les mathématiques, science de l'infini» (voir *Pour la Science*, décembre 2000), un encadré détaille un exemple fameux de raisonnement par l'absurde : celui qui établit l'irrationalité du nombre «racine carrée de deux».

Dans le même numéro, l'article intitulé «L'infini, pierre de touche des constructivistes» explique que les mathématiciens constructivistes rejettent la loi du tiers exclu, «sans laquelle il n'est évidemment pas de preuve par l'absurde». Doit-on en conclure que les constructivistes rejettent la démonstration de l'irrationalité de «racine carrée de deux»? Non!

La difficulté vient de ce que les mathématiciens confondent souvent sous la même appellation de «raisonnement par l'absurde» deux types bien distincts de raisonnement. Parlons d'abord du «faux» raisonnement par l'absurde : il s'agit, pour établir la négation d'une certaine proposition P , de supposer P et d'en tirer une contradiction. On peut considérer que c'est la définition même de la négation qui est mise en œuvre dans ce raisonnement, auquel les constructivistes ne voient en général aucune objection. Ils ne mettent donc pas en doute que le nombre «racine carrée de deux» est irrationnel, ni même que l'ensemble des nombres réels est indénombrable.

Le «vrai» raisonnement par l'absurde, celui que les constructivistes rejettent et qui est équivalent au principe du tiers exclu, consiste à établir une proposition P en montrant la négation de la négation de P . Sans lui, on ne peut plus considérer qu'une proposition donnée est automatiquement la négation d'une autre : le «vrai» raisonnement par l'absurde est donc plus puissant que le «faux». Il est d'ailleurs assez rarement indispensable dans les mathématiques élémentaires.

Pierre AGERON, Université de Caen

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. L'adresse de *Pour la Science* sur Internet est : tribune@pouirlascience.fr. Découvrez d'autres contributions de lecteurs sur le site Web www.pouirlascience.com.



Voyage à Bast(i)a!

IVAR EKELAND

Il est difficile de comprendre la stratégie économique qui a pour conséquence l'exaspérant manque de ponctualité des vols d'Air France.

Le lundi 13 novembre, je me suis rendu à Orly pour prendre le vol *Air France* de 9 h 25 pour Bastia. L'avion n'a décollé qu'à 11 h 05, soit dix minutes après l'heure d'arrivée prévue. Mes compagnons d'infortune m'ont assuré que ce retard n'avait rien d'inhabituel ; je sortais d'ailleurs d'une expérience similaire sur Paris-Clermont, toujours avec *Air France*. De fort méchante humeur – j'avais dû me lever à 7 heures pour me présenter à temps à l'embarquement –, j'ai tenté d'apaiser ma colère en réfléchissant sur les raisons qui faisaient que j'allais perdre ma journée dans des avions et des aéroports, pour un voyage qui devenait sans objet à mesure que le temps passait.

La première raison qui s'est offerte à moi, alors que le pilote assurait pour la quatrième fois aux passagers sanglés dans la carlingue que le départ était imminent, a été la théorie classique du monopole. C'est le résultat le plus vénérable et le mieux assuré de la modélisation mathématique en économie : lorsqu'il y a un seul vendeur pour un produit, le prix que paieront les consommateurs est plus élevé que lorsqu'il y a plusieurs vendeurs en concurrence.

De fait, *Air France* est la seule compagnie à desservir Paris-Bastia. Toutefois, la théorie du monopole ne collait pas exactement à la situation présente : je ne me plaignais pas que le prix du billet soit trop élevé, mais, du fait que la compagnie se permette une heure et demie de retard pour un vol d'une heure et demie. D'ailleurs, *Air France* a perdu la situation de monopole qu'elle exerçait sur les lignes intérieures (via *Air Inter*), et l'on peut penser que le prix pratiqué n'est pas trop loin d'un prix concurrentiel, sinon une autre compagnie ouvrirait une ligne concurrente. Ce n'était pas un problème de prix, mais un problème de qualité.

L'avion décolle enfin et, en vol, je me dis que le problème est que la qualité du bien vendu, à savoir Paris-Bastia-Paris, ne peut être contrôlée *a priori*. Dans le jargon des économistes, il s'agit d'un bien d'expérience. Si j'achète un œuf, je sais à peu près à quoi m'attendre : il peut

être plus ou moins frais, mais il est rare qu'il ne soit pas mangeable. En revanche, si j'achète un Paris-Bastia décollant d'Orly à 9 h 25, je n'ai aucun moyen de savoir s'il partira avec deux ou trois heures de retard. En d'autres termes, la qualité du produit ne peut être constatée au moment de l'achat, ce qui fait que la théorie classique du monopole ne s'applique pas : si j'avais su que l'avion partirait avec un tel retard, je n'aurais pas pris le billet. Comme la compagnie ne me remboursera pas pour autant, cela permet au monopoleur une nouvelle stratégie : vendre à un prix concurrentiel un produit de qualité prétendument concurrentielle, mais en réalité de qualité inférieure, sachant que le consommateur est incapable de discerner celle-ci à l'achat.

Le puzzle prend forme. *Air France* essaie de détourner le cours de mes réflexions avec un Nescafé tiède et un croissant gluant, mais je résiste sans grande difficulté. Le talon d'Achille de la stratégie pratiquée est que le client apprend : après un certain nombre d'expériences, je finirai bien par comprendre la réalité du service offert. Peut-être n'aurai-je pas le choix (on ne peut pas aller à Bastia en train), mais je trouverai que c'est cher payé. Le monopoleur peut donc pratiquer cette stratégie sur la clientèle occasionnelle, mais elle lui aliénera les voyageurs fréquents, spécialement ceux d'entre eux pour lesquels le temps compte, c'est-à-dire les hommes d'affaires.

Qu'à cela ne tienne, on va leur donner une compensation financière : et voilà pourquoi nous avons cette gamme de réductions pour ceux qui prennent l'avion souvent, des abonnements jusqu'à la carte *Fréquence Plus*. Cela revient à faire payer à cette clientèle-là, et à celle-là seulement, le service à son juste prix ; les autres continuant à payer à un prix élevé un service de mauvaise qualité.

Je suis plutôt content d'avoir compris, mais patatras ! Voilà que mon puzzle intellectuel tombe par terre. Si mon raisonnement était juste, il devrait s'appliquer au seul monopole de trans-

port qui subsiste encore, la *SNCF*. Mais celle-ci a une réputation opposée : les trains sont à l'heure, c'est même une des fiertés nationales que nous partageons à regret avec l'Helvétie. Pourquoi les trains sont-ils à l'heure alors que les avions sont en retard ? Pourquoi la *SNCF* ne joue-t-elle pas la même stratégie qu'*Air France* ?

Le pilote annonce la descente sur Bastia. La Corse se profile à travers les nuages, et la solution pointe dans ma tête. La *SNCF* ne pratique pas la même stratégie qu'*Air France*, car elle n'a pas les mêmes contraintes. *Air France* ne peut guère jouer sur les prix, en raison de la concurrence, mais se rattrape sur la qualité. En revanche, quels que soient les prix que pratique la *SNCF*, aucun autre opérateur ne viendra la concurrencer sur le réseau intérieur. La *SNCF* ressemble donc bien davantage à un monopoleur classique, qui choisit le niveau de production et les prix qui maximiseront ses revenus. La production de la *SNCF*, c'est le transport lui-même, certes, mais aussi sa qualité : respecter les horaires ne va pas de soi, mais nécessite des dispositifs, du personnel et des modes de gestion appropriés et coûteux. On peut donc s'attendre à ce que la *SNCF* combine prix et qualité de la manière la plus avantageuse pour elle, en terme de revenus, d'investissement et d'embauche de personnel, et il semble bien que la stratégie optimale passe par une qualité élevée. Voilà pourquoi les trains sont à l'heure, – mais à un prix sans doute très élevé ! Voilà sans doute aussi pourquoi la *SNCF* s'intéresse davantage au trafic voyageur qu'au fret.

La boucle est bouclée. Nous avons atterri à Bastia. Le pilote espère que nous avons fait un bon voyage et souhaite nous revoir bientôt sur les lignes d'*Air France*. En ce qui me concerne, cela ne va pas tarder ; vu l'heure qu'il est, je n'ai plus rien à faire à Bastia et je vais donc rentrer à Paris par le même avion. Le seul bénéfice que j'aurai tiré de cette journée est que cette chronique est prête.



Les médecins face au clonage humain

LAURENT DEGOS

Le clonage pour la fabrication de tissus de remplacement serait un outil précieux, mais il faut mettre des garde-fous au clonage reproductif.

Les médecins et les biologistes doivent respecter la loi, mais l'histoire nous apprend que le médecin convaincu de l'utilité d'un traitement interdit passe souvent outre les règles et les lois. Nombreux sont les exemples, telle la mise en place des traitements par greffe d'organe.

En 1947, la direction de l'Hôpital Peter Bent Brigham de Boston avait répondu négativement à David Hume, qui avait demandé l'autorisation de faire une greffe de rein afin de traiter une jeune femme dans le coma. Elle avait une septicémie (des microbes dans le sang) qui avait provoqué une insuffisance rénale. Dans le coma, elle allait mourir. Une nuit, David Hume préleva un rein sur une personne morte ; il greffa à la jeune femme le rein, au pli du coude, raccordant les vaisseaux du rein à ceux de la malade et laissant l'uretère libre. L'urine se mit à couler, la jeune femme sortit de son coma. Le rein ne fonctionna que quelques jours, mais ce fut suffisant pour passer le cap de l'insuffisance rénale aiguë. La jeune femme guérit. D. Hume avait-il eu tort de ne pas obéir aux ordres de ses supérieurs ?

Bon nombre de greffes ont été effectuées ensuite, en prenant le rein à un membre de la famille, sain et volontaire. En ce temps, la loi interdisait pourtant de mutiler une personne saine. La mutilation n'était acceptée que pour un béné-

fice personnel, c'est-à-dire pour traiter une maladie (amputation d'une jambe atteinte de gangrène, par exemple). Les lois, et l'encyclique papale condamnaient la mutilation d'un être sain. Cependant, les médecins passèrent outre et multiplièrent les transplantations.

Plus grave aux yeux de la loi est l'acte d'homicide volontaire. En 1963, Guy Alexandre, en Belgique, puis en 1964 Jean Hamburger et bien d'autres ensuite, ont prélevé les reins de personnes dont le cœur battait encore, mais dont le cerveau était irrémédiablement endommagé. Ils avaient considéré que la mort était la mort cérébrale et non la mort cardiaque. Or, seule la mort cardiaque était reconnue par la loi, et il fallut attendre le 24 avril 1968 pour qu'une circulaire ministérielle parle de mort cérébrale. Pendant cinq ans, médecins et chirurgiens pratiquèrent des « homicides volontaires ».

Le médecin ne se considère pas coupable face à la loi s'il apporte un bénéfice à autrui. Il a fait évoluer un concept essentiel, celui de la mort de l'homme. En effet, sans ce changement de définition de la mort, on n'aurait pu effectuer de greffe de cœur ou de foie, car après l'arrêt de la circulation, l'organe meurt. Au Japon, où la mort est toujours définie par l'arrêt du cœur, on ne peut pratiquer de greffe de cœur ni de foie.

Contrairement aux apparences, nous ne sommes pas très éloignés du sujet : doit-on accepter, refuser ou repousser le clonage humain ? Le corps médical est-il sur cette question en accord ou en opposition avec la loi ? Comment peut-on éviter les dérives même si, comme pour les greffes, elles auraient des conséquences positives pour la santé humaine ?

Le clonage reproductif humain est aujourd'hui condamné. Imaginons qu'un couple, éploré par la mort d'un enfant, demande à ce qu'un clone de ce dernier soit « créé », permettant ainsi de retrouver l'enfant perdu. Dans ce cas, le père et la mère sont bien les porteurs initiaux du patrimoine génétique de l'enfant et la

mère porteuse est la mère biologique. Quel mal y aurait-il à une telle pratique ?

En réalité, l'acceptation scientifique, juridique et sociale d'un tel projet, dont la finalité serait de consoler les parents de la perte d'un enfant, repose sur une double tromperie. Tromperie pour la famille, car le clone n'est pas un être-copie conforme de l'enfant original. Tromperie pour l'enfant, créé non pas dans l'amour qu'il mériterait pour lui-même, mais en souvenir de l'amour porté à un autre. Les médecins et les psychologues connaissent des cas où, après la perte d'un enfant, un couple s'empresse d'avoir un enfant de « remplacement ». Ce dernier a souvent des difficultés pour trouver sa place, celle qu'il mérite pour lui-même. Son aspect physique, différent, l'y aide. Un clone hypothétique n'aurait pas cette chance : ayant le même physique, il serait condamné à rester enfermé dans le rôle de remplacement qui lui a été assigné. Dès lors, pourquoi les médecins s'intéresseraient-ils aux clones humains, puisqu'ils condamnent la finalité de reproduire un être humain-copie conforme ?

Aujourd'hui, les médecins ne savent pas soigner toutes les maladies, notamment celles qui résultent du vieillissement – on parle de dégénérescence – des cellules, telles que les neurones, ni les maladies graves, telles les insuffisances cardiaques ou hépatiques. Le seul traitement est alors la greffe, mais on ne dispose pas toujours de donneur compatible avec la personne malade. Or les cellules embryonnaires ou les cellules souches de l'organisme, celles qui ont la possibilité de se « transformer » en n'importe quel type de cellules, ouvrent un champ de recherche encore peu exploré, mais prometteur.

On ne sait pas encore cloner des organes, mais si de tels organes étaient disponibles, ils remplaceraient sans la moindre hésitation les greffons prélevés sur une personne morte ou vivante. Un organe de substitution identique à celui du receveur permettrait d'éviter toutes les



Dessins : Jean-Michel Thiriet

difficultés posées par la diversité des êtres vivants, responsable des réactions de rejet ; la « fabrication » de tels organes fait certainement partie des objectifs médicaux.

Le clone représente la copie physique de soi : il est donc source de connaissance ou d'organes de réparation de l'organisme. Comment obtient-on un clone ? Il est extrêmement aisé, en laboratoire, de croiser deux animaux de la même portée et de sexe différent. En répétant ce croisement (frère – sœur), sur plus de trente générations, on obtient une « lignée pure », c'est-à-dire un ensemble d'animaux génétiquement semblables, et les greffes, au sein de cette lignée, sont bien tolérées. En dehors de folies eugéniques et de la propagande pour une race pure, l'idée de proposer chez l'homme de tels croisements consanguins successifs est à la fois prohibée et condamnée. Une deuxième méthode de clonage est employée chez l'animal : après fécondation *in vitro*, on cultive l'embryon et on sépare ses cellules avant le stade de 16 cellules. Chacune des cellules ainsi récupérées (jusqu'à huit cellules) peut être réimplantée séparément chez une femelle, donnant naissance à un organisme entier.

Ce cas de figure peut intéresser le médecin. Prenons le cas où une maladie familiale est connue. On pourrait alors pratiquer une fécondation *in vitro* et récupérer, après culture, quelques cellules de l'embryon pour les étudier. Le diagnostic, effectué sur une seule cellule grâce aux outils de la biologie moléculaire, indiquerait la présence ou non de la maladie redoutée. Ne seraient réimplantés que les embryons indemnes. Cette voie de « sélection » embryonnaire était interdite en France, hormis quelques cas particuliers : elle implique la culture et la manipulation de l'embryon, pratiques très encadrées. Cependant, cette méthode est autorisée, depuis peu, aux États-Unis et a été récemment utilisée à l'Hôpital Necker.

Une troisième méthode, celle qui a été employée pour créer Dolly, consiste à remplacer le noyau d'un ovocyte par celui d'une cellule provenant d'un autre animal de la même espèce. En effet, c'est dans le noyau qu'est contenue toute l'information génétique ; l'embryon ainsi formé est le sosie de l'individu dont est issu le noyau.

Cette technique ouvre la voie à la reproduction, sous la forme d'une copie conforme, de l'être qui a donné le noyau. Ce clonage reproductif chez l'homme est rejeté par les conseils éthiques. En revanche, si les cellules de ce même embryon, formé à partir du noyau donneur, étaient cultivées *in vitro*, elles auraient la capacité de donner différents



types de tissus (muscles, nerfs, peau, en fait, n'importe quel tissu). On produirait un embryon, mais il ne serait pas implanté chez une femme et ne donnerait que des cellules, identiques à celles du donneur de noyau. Ces cellules seraient strictement identiques, mais elles seraient « neuves » et pourraient remplacer les cellules vieillissantes et dégénérées d'un organisme sans risque de rejet, car elles auraient le même patrimoine génétique que le donneur du noyau. De telles cellules dérivées d'un clone, produisant des tissus de remplacement, seraient de précieux outils thérapeutiques.

Ces deux aspects du clonage, celui du diagnostic prénatal en cas de fécondation *in vitro*, et celui du traitement des maladies dégénératives par des cellules ou des tissus de remplacement, font que le médecin prête l'oreille lorsque les discussions portent sur le clonage humain. Dans tous les cas, il rejette catégoriquement l'idée de clonage reproductif, c'est-à-dire du clonage qui donnerait naissance à un sosie.

Toutefois, le débat ne s'arrête pas là. Au cœur de la discussion, se trouve l'embryon : quel est son statut ? La pression des patients qui attendent une amélioration de leur état, et celle des médecins qui veulent toujours aider les malades en détresse, n'imposent-elles pas une direction privilégiée au débat ? Déjà, l'on constate la diversité des règles interdisant ou autorisant les recherches sur les embryons surnuméraires non réimplantés après fécondation *in vitro* ; c'est dire que les avis sur le statut de l'embryon et sur la part de dignité et de respect qu'on devrait lui attribuer sont encore très partagés.

Ainsi, le statut de l'embryon cloné change selon que l'on considère que son unique finalité est de devenir un être

humain, ou qu'il est possible de passer par cette étape éphémère du clone, uniquement pour élaborer des traitements.

Toutes les craintes seront sans doute levées si l'existence de cellules indifférenciées chez l'adulte est confirmée. Si des cellules pluripotentes existent réellement dans l'organisme, les clones non reproductifs n'auront plus à être produits. Il suffira de prendre des cellules souches pluripotentes chez un adulte ayant une dégénérescence nerveuse pour les cultiver et de les faire se différencier en cellules nerveuses, lesquelles seront implantées dans le cerveau malade.

Alors, si le clonage est encadré par la loi, par les responsables éthiques ou par d'autres instances, mais s'il donne un avantage important pour guérir des maladies dégénératives, il est certain que les médecins chercheront à mettre en place des traitements par ce biais. Pour eux, aucun interdit ne vaut, face à la possibilité de sauver une vie. À charge ensuite aux hommes de loi et aux penseurs de l'éthique de trouver les arguments pour expliquer leurs actes et placer les limites. On est déjà passé, récemment, de l'interdiction à la permission de faire des recherches sur l'embryon, dans un contexte très surveillé.

Acceptera-t-on la constitution d'embryons humains, dans le cadre du clonage, en excluant toute finalité reproductive ? Ce serait là, comme dans le changement de la définition de la mort, la preuve que l'utilité scientifique et médicale est la valeur suprême en matière de droit. Sauver et aider une personne en danger serait notre premier commandement. N'y a-t-il pas de limites ? Cette fois, les hommes de lois auront, je pense, à cœur de proposer des lois avant que l'acte médical ne soit effectif plutôt que subir le diktat du fait accompli. Ils ont encore le temps, car le premier clone humain (à finalité reproductive ou thérapeutique) n'est pas pour demain. Quant à la question de savoir si l'on pratiquera un jour le clonage à visée reproductive, la réponse ne sera ni de la compétence des médecins ni de celle des hommes de loi ; elle dépendra surtout de l'idée que l'homme se fait de l'homme.

Laurent DEGOS dirige le Service d'hématologie de l'Hôpital Saint-Louis, à Paris.

Ce texte est extrait du chapitre signé par l'auteur dans *Les progrès de la peur, la Peur du progrès*, sous la direction de Nayla Farouki, à paraître en février 2001, Éditions Le Pommier.



Curieux jaune

HERVÉ THIS

Les structures insoupçonnées du jaune d'œuf.

Devant vous, un œuf, entier et cru, dans sa coquille. Où est le jaune ? Sans doute sur un axe vertical, pour des raisons de symétrie, diront les physiciens. Cependant, des possibilités demeurent : le jaune pourrait être dans la partie supérieure, au centre ou dans la partie inférieure. Comment le savoir ? Une expérience simple consiste à couvrir un jaune par plusieurs blancs d'œuf, dans un verre étroit et haut : on voit le jaune flotter et l'on déduit qu'il en est de même dans un œuf entier.

Les membranes qui entourent le jaune et le lient au reste de l'œuf évitent-elles l'ascension du jaune, dans un œuf entier, en coquille ? Il existe plusieurs façons de montrer que non. Par exemple, cuisez l'œuf debout, et vous verrez, dans l'œuf dur formé, le jaune logé dans la partie qui était la plus élevée. Vous craignez que la coagulation n'ait perturbé l'arrangement interne de l'œuf ? Placez un œuf entier, frais, avec sa coquille, dans du vinaigre : après deux jours environ, la coquille ayant été dissoute par le vinaigre, vous verrez le jaune flotter dans le blanc (l'œuf conserve sa forme parce qu'il est limité par des membranes et parce que les couches externes auront coagulé, sous l'action du vinaigre).

Ou bien, plus simple encore, décortiquez l'œuf frais, et regardez où se trouve le jaune.

À ces procédés de cuisine, on peut en ajouter de plus élaborés. Si la radiographie donne de mauvais résultats (parce que la coquille est un matériau opaque aux rayons X), l'échographie procure des images étonnantes. La figure a été obtenue par immersion d'une sonde à ultrasons dans un œuf décalotté : le jaune apparaît composé de couches concentriques, analogues aux cernes d'un arbre.

Pourquoi cette structure que ne soupçonne aucun mangeur d'œuf à la coque ? Le jaune est une alternance de couches nommées «jaune profond» et «jaune clair», dont l'épaisseur est respectivement de deux millimètres, et de 0,25 à 0,4 millimètre. Ces couches sont respectivement produites par la poule pendant le jour et pendant la nuit : la différence entre les deux types de couches provient du rythme de l'alimentation ; pendant la nuit, les pigments jaunes sont produits en concentration plus faible que pendant le jour.

Si nous continuons l'exploration au microscope, nous voyons que les deux couches, jaune clair et jaune profond, ne sont pas homogènes, mais composées de granules, dispersés dans une phase continue, nommée le plasma. D'où des questions sur les rôles respectifs de ces constituants en cuisine.

A la Station INRA de Nantes, Marc Anton et ses collègues explorent cette composition en séparant les granules du plasma par centrifugation. On constate ainsi que le jaune est composé pour moitié d'eau, pour un tiers de lipides (dont du cholestérol) et pour 15 pour cent environ de protéines. Protéines et lipides sont souvent associés en particules qui se distinguent par leur densité : lipoprotéines de faible densité (LDL) dans le plasma ou lipoprotéines de haute densité (HDL) dans les granules.



Échographie d'un jaune d'œuf. Le jaune apparaît composé de couches concentriques.

Comment ces constituants du jaune d'œuf interviennent-ils, en cuisine ? La séparation des divers constituants permet de tester leurs propriétés. Et c'est ainsi que l'on vérifie que les LDL s'associent en un gel, quand on les chauffe à environ 70 degrés : ces structures composées de protéines, de lipides et, notamment, de cholestérol, seraient responsables de la prise en masse du jaune, lors de la cuisson.

Et les mayonnaises, composées de gouttelettes d'huile dispersées dans l'eau (du jaune et du vinaigre) : sont-elles stabilisées, comme on l'a longtemps présumé, par les «lécithines» et autres

phospholipides du jaune ? Ou bien résultent-elles de l'action stabilisante des protéines ? M. Anton et ses collègues ont étudié cette question en cherchant d'abord si les propriétés émulsifiantes du jaune provenaient plutôt du plasma ou des granules. Comme les protéines ont une solubilité qui dépend de l'acidité, les biochimistes ont d'abord étudié leur solubilité selon le pH (qui mesure l'acidité) et selon la concentration en sel : les protéines du plasma sont complètement solubles, à tous pH et à toutes concentrations en sel, tandis que les protéines des granules ont des solubilités différentes, selon les conditions. Peu solubles à pH égal à 3 (celui d'une mayonnaise), elle ne le deviennent que partiellement à pH neutre, en milieu peu salé (l'ion sodium remplace l'ion calcium qui établit des ponts entre les protéines, de sorte que ces dernières sont libérées).

La solubilité des protéines n'est pas le fin mot de la confection des émulsions : celles-ci sont d'autant plus stables que le phénomène de crémage est réduit. Avec le plasma, le crémage est minimal à pH égal à 3, et la concentration en sel n'a pas d'effet en milieu acide, tandis que les émulsions obtenues à partir de granules sont sensibles à l'acidité et à la concentration en sel. Les émulsions obtenues à partir de jaune complet se comportent comme celles qui sont obtenues à partir de plasma.

Au total, les constituants du plasma sont principalement responsables de l'effet émulsifiant du jaune d'œuf complet, et les protéines préviennent mieux le crémage que les phospholipides. Comment les protéines qui figurent dans les LDL du plasma agissent-elles ? Par des répulsions électrostatiques ? Ou par leur encombrement (répulsion «stérique») ? À pH égal à 3, les protéines sont électriquement chargées, et elles se repoussent, mais à pH égal à 7, c'est l'encombrement des protéines qui stabilise les gouttelettes ; il reste à comprendre comment...

Tout cela pour un banal jaune d'œuf !

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 25 janvier 2001, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.