

Réponse mathématique

Didier Nordon m'a fait l'honneur de commenter la page de couverture de mon récent ouvrage sur les mathématiques (voir *Bloc-notes, Pour la Science*, janvier 1997). Comment peut-on publier des lignes aussi fielleuses que vides sur le fond ? Est-ce le titre qui fait la valeur d'un ouvrage ou bien ce qu'il tente d'apporter au lecteur ?

Celui-ci verra que je me suis efforcé de défendre les mathématiques, parfois injustement attaquées, et de les promouvoir. M'appuyant sur les écrits d'Henri Poincaré, j'ai notamment rappelé leur intérêt essentiel pour la formation de l'esprit. Je me suis efforcé de les faire comprendre et accepter, soit en décrivant de manière littéraire plusieurs de leurs aspects, soit en essayant d'apporter, de façon aussi peu formelle que possible, des compléments d'intelligibilité à certains chapitres de base de l'enseignement.

Le titre original, *Essais sur l'intelligibilité des mathématiques*, est devenu, de manière plus sobre, *Comprendre les mathématiques*. Le titre de ce livre et son sous-titre n'ont pas choqué les mathématiciens ni les philosophes, académiciens ou non, français ou non, qui m'avaient adressé un courrier fort agréable à lire.

C.P. BRUTER, Gometz-le-Châtel

Réponse de Didier Nordon

C.P. Bruter ne répond pas aux critiques que je formulais. Son livre est un cours de géométrie classique – niveau seconde année de Premier Cycle universitaire – précédé d'un essai d'une soixantaine de pages. Ni le cours ni l'essai ne me semblent à la hauteur de l'extrême ambition affichée tant par le titre, *Comprendre les mathématiques*, que par le sous-titre, «Les 10 notions fondamentales».

La rigidité du poil

François Pérégé écrit, dans *Le pinceau du peintre* (voir *Pour la Science*, janvier 1997), que «la mélanine rigidifie la structure et détermine ainsi la nervosité et l'élasticité du poil». Si certains poils blancs sont considérés comme plus souples par les peintres, on ne peut en déduire que la mélanine contrôle la souplesse du poil.

Le poil des mammifères, tel le cheveu humain, est un tube de kératine empli d'une moelle souple et dont les parois sont formées de deux couches. La couche externe est constituée de six épaisseurs de cellules disposées en un arrangement régulier, comme les

tuiles d'une toiture. La couche interne est constituée de faisceaux cylindriques, parallèles au grand axe du cheveu, qui ne sont pas cohérents entre eux. La rigidité du poil est due à l'interaction de ses trois parties.

La mélanine est un pigment synthétisé dans le bulbe pileux et transmis aux cellules qui se différencient petit à petit pour former la tige pileuse. Elle est stockée dans de petites pelotes nommées mélanosomes. La richesse en pigments et le type de mélanine produite déterminent la couleur du cheveu. La mélanine ne participe pas à la rigidité du poil.

Philippe DEPRez

Réponse de François Pérégé

M. Pomarède, de l'Université de Montpellier, qui a travaillé sur les couleurs des oiseaux, signale que la mélanine rigidifie les plumes. Il me semble logique qu'elle rigidifie aussi les poils. L'eumélanine, noire, est un polymère qui se présente en pelotes, en bâtonnets ou en fuseaux, et s'incruste de manière plus ou moins homogène entre les faisceaux de microfibrilles de kératine. En mécanique des matériaux composites, des granules dispersés dans un faisceau de fibres parallèles apportent de la rigidité.

La structure du poil intervient toutefois aussi. Sinon, pourquoi le poil de la martre kolinski serait-il si rigide, alors qu'il ne contient que de la phaéomélanine, qui ne se présente pas en grosses molécules ?

Véhicules et carburants

Selon Daniel Sperling, le gaz naturel ou le gaz de pétrole liquéfié ne réduisent pas beaucoup les émissions polluantes des véhicules (voir *Les véhicules électriques, Pour la Science*, janvier 1997). Toutefois, les principaux composants de ces carburants sont le méthane, le propane et le butane, alcanes légers dont la combustion, correctement menée, ne dégage presque pas de monoxyde de carbone. Contrairement aux essences actuelles, ils ne contiennent ni composés aromatiques ni plomb. On peut facilement supprimer le soufre qui leur est ajouté comme marqueur odorant.

Olivier BOUTRY, Arnouville-lès-Gonesse

La principale difficulté à surmonter pour la généralisation des véhicules électriques est leur faible autonomie et la durée de recharge des batteries. Si l'on calcule le rapport entre l'autonomie et le temps de recharge pour les différentes énergies, on

obtient 4 200 kilomètres par heure pour une voiture à essence, et huit kilomètres par heure pour les véhicules électriques actuels. Il serait souhaitable d'atteindre 25 kilomètres par heure pour un véhicule de livraison urbain, et au moins 200 pour un véhicule routier. Si l'on divise ce rapport par le poids de l'énergie embarquée (carburant ou batterie), un véhicule à essence est 2 000 fois plus performant qu'un véhicule électrique.

Guy BARTHAS, Boulogne Billancourt

Double hélice

Dans *Les inattendus de la double hélice* (voir *Pour la Science*, janvier 1997), Jean Rossier retrace la naissance de la biologie moléculaire. Je souhaite compléter cet historique.

Est-il certain qu'Avery «ne croyait pas tellement lui-même» en la signification de ses travaux sur le principe transformant du pneumocoque ? Avery était modeste, et il a été prudent, dans ses publications scientifiques, sur les interprétations de ses travaux, mais sa correspondance atteste qu'il pensait avoir montré que le principe transformant, l'ADN, était le principe des virus et des gènes. On ne saurait lui reprocher sa prudence quand, à la même époque, George Beadle, le découvreur de la fonction primaire du gène, la synthèse des protéines, tout en connaissant et citant les travaux d'Avery, maintenait que le gène était probablement constitué de protéines «ou peut-être de nucléoprotéines».

Que «Jim Watson était encore plus mauvais expérimentateur que Francis Crick, si c'est possible» est une opinion discutable. Les travaux de génétique microbienne que J. Watson a réalisés au Cold Spring Harbor, avant son séjour à Cambridge, et ceux qu'il a réalisés après ce séjour, ne sont pas le fait d'un mauvais expérimentateur. Il est en effet l'un de ceux qui, en concurrence avec Sidney Brenner et François Jacob, et par une autre méthode, ont mis en évidence physiquement (ou biochimiquement) l'ARN messager prédit par F. Jacob et Jacques Monod. Quant à F. Crick, c'est essentiellement un théoricien. Il semblerait qu'il n'ait, de ses mains, réalisé qu'une expérience «de pailleasse», mais quelle expérience ! C'est, en collaboration avec S. Brenner, la magnifique expérience de génétique du phage démontrant que le code génétique est constitué de «codons», formés de «triplets de bases» (succession de trois bases) non chevauchants.

Jean DEUTSCH, Paris



Les coûts de l'informatique

BERNARD BEAUZAMY

On les réduit en améliorant les algorithmes avant de travailler la programmation.

Toute utilisation de l'informatique s'élabore en deux étapes, dont la confusion diminue l'efficacité et augmente les coûts. La première étape est la conception de l'algorithme de résolution du problème, la seconde la programmation de cet algorithme.

Imaginons que l'on ait assigné à un conducteur de bus la tâche : «prendre trente enfants chez eux et les conduire au musée». Un algorithme pourrait être : ranger par ordre alphabétique la liste des noms des enfants ; aller chercher le premier, puis le second, ainsi de suite jusqu'au dernier ; lorsque tous sont dans le bus, aller vers le musée. Les règles établies dans l'algorithme devront s'appliquer encore le mois suivant, où l'on n'aura que 20 enfants à transporter et où le musée sera remplacé par la piscine.

L'algorithme conçu, on le programme. Dans notre exemple, l'école dispose d'une base de données de tous ses élèves ; ceux qui doivent être emmenés au musée ce matin-là sont sélectionnés selon un certain critère (ils sont dans telle classe, ou ont eu de bonnes ou de mauvaises notes en histoire) : c'est un tri informatique. Ensuite, leurs fiches sont rangées par ordre alphabétique. On connaît l'adresse de chacun, donc la distance entre deux élèves consécutifs. On sait alors bâtir un programme informatique qui sera la feuille de route du chauffeur : à 7 h, il se présente chez Adam, puis à 7 h 03, il sera chez Barnabé (une minute pour charger Adam, deux minutes pour aller chez Barnabé etc.) ; l'arrivée au musée sera prévue, disons pour 7 h 52.

Dans ce processus, la conception de l'algorithme coûte beaucoup moins que la partie de programmation. C'est évident sur notre exemple, parce que l'algorithme se ramène à ranger les noms par ordre alphabétique et mettre les adresses en regard, ce que n'importe qui peut faire en cinq minutes. La programmation est plus complexe : il faut accéder à des bases de données, y faire des opérations, des calculs de distances et d'horaires, et imprimer les résultats sous forme utilisable par

le chauffeur. Cette programmation prend une heure ou deux. L'exemple est trop simple, me direz-vous, et n'est pas significatif. Il est effectivement trop simple, mais il est significatif : la partie conceptuelle, qui relève des mathématiques, est toujours moins coûteuse, en moyenne d'un facteur dix, que la partie programmation, qui relève de l'informatique.

Ainsi la matière grise, la partie «intelligence», coûte moins cher que la partie «développement». Ce qui étonne. Pour la première, il faut résoudre un problème, alors que pour la seconde, il suffit d'écrire un programme d'une simplicité biblique.

Le paradoxe est levé si l'on considère que l'algorithmique relève des mathématiques, une science vieille de 6 000 ans : dans bien des cas, le problème considéré a déjà été étudié et résolu. L'expert sait utiliser les «briques» antérieures. De plus, une méthode mathématique a un caractère absolu : si les hypothèses sont bien celles que l'on a prévues, la conclusion sera celle que l'on attend.

PROGRAMMER EST UN ART

La programmation, au contraire, n'est pas une science, mais «un art». Elle s'élabore lentement en fonction du contexte (Quel type de machine ? Quel système d'exploitation ? Quel langage de programmation ?). De plus, il n'est jamais sûr que le logiciel fera exactement ce que l'on attend de lui, et cela seulement : dans des programmes qui font des centaines de milliers de lignes, voire des millions, comment s'assurer que tel cas n'a pas été oublié ? Que telle instruction n'entre pas en conflit avec telle autre ? Ce fut la situation d'*Ariane V* : une «brique» logicielle, datant d'*Ariane IV*, avait été oubliée dans le programme de guidage, ou plus exactement, on avait omis d'évaluer les conséquences qu'elle pourrait avoir dans une situation spécifique nouvelle.

Cette «validation des logiciels» est un souci majeur car il n'existe pas de méthode infaillible : il faut tester chaque logiciel, en espérant que les tests seront assez

nombreux, et corriger chaque erreur décelée, en espérant qu'il n'y en a pas d'autres.

Pourtant c'est la partie conceptuelle, la partie algorithmique, qui détermine le coût et l'efficacité de l'ensemble du programme ! Reprenons l'exemple de notre bus, et imaginons que nous ayons une contrainte horaire : pour des raisons impératives, tous les enfants doivent être au musée à 7h45, alors que notre méthode précédente ne les y mettait qu'à 7h52. Comme le chauffeur ne prend son service qu'à 7h, quel est l'unique recours du directeur de la Compagnie de bus ? Acheter un bus plus rapide ! Quand on a fixé l'itinéraire et les temps de départ et d'arrivée, l'unique paramètre sur lequel on puisse jouer est la vitesse. Mais un nouveau bus, surtout un bus plus rapide, plus performant, coûte très cher...

Là encore, l'exemple est significatif : si la méthode de travail est fixée, l'unique façon d'améliorer les performances est de remplacer le matériel par du matériel plus élaboré, 10 à 100 fois plus coûteux que l'algorithmie et la programmation réunies ! Il faudra des moteurs plus puissants, des caméras plus sensibles, des asservissements plus élaborés, des circuits plus rapides, bref, payer fort cher, sous forme de matériel, l'imprévoyance dont on a fait preuve au début en adoptant un algorithme simpliste.

Car, simpliste, notre algorithme de départ l'était : ranger par ordre alphabétique est peut-être la première méthode qui vient à l'esprit, mais ce n'est probablement pas la meilleure, en termes de temps de trajet. La «recherche opérationnelle» dispose de bien d'autres méthodes pour relier des points sur une carte, de sorte que le temps total de trajet soit minimal. Demandons à un mathématicien de les rechercher pour nous. Peut-être, selon les contraintes, mettra-t-il une demi-journée ou une journée, qu'importe ? Le programme informatique, en sera fort peu modifié, mais le temps réel de trajet pourra être réduit de 10 ou 20 pour cent. Et nous conserverons notre vieux bus et son chauffeur asthmatique.

La situation est la même en régate. Le fin barreur remontera au vent avec des réglages adéquats de voile et de route, et achèvera la course avec une grande économie de moyens. Le néophyte ne saura pas serrer le vent ; comme il est riche, il acquerra, pour compenser, une voilure plus vaste ou un bateau plus long ; mais il fera davantage de manœuvres, perdra du temps, finira la course au milieu des rires et tout mouillé. La nature punit avec ironie celui qui en méconnaît les lois.

Bernard Beauzamy est PDG de la Société de Calcul Mathématique.

Les inattendus du gène

PIERRE DOUZOU

Le patrimoine génétique est un capital qui travaille au service de la cellule. Le biologiste exploite et corrige les actions du génome.

La transmission de ce que l'on appelle le patrimoine génétique, à l'issue d'un processus de reproduction, n'aboutit pas (et c'est heureux) à des «copies conformes». C'est là le premier inattendu de la génétique. L'homme a d'ailleurs longtemps tâtonné pour expliquer les tours et détours de la génétique, et l'on peut penser que l'homme primitif avait quelque difficulté à associer sexualité et reproduction.

C'est sans doute quand il a domestiqué des animaux jusque-là sauvages et s'est ainsi fait pâtre, que l'homme du Néolithique a pris conscience de cette association et qu'il a alors misé sur elle pour sélectionner et améliorer, voire créer, des espèces animales domestiques. Il l'a sûrement fait par une succession ininterrompue «d'essais et d'erreurs» ou, si l'on préfère, de tâtonnements bien compréhensibles.

En quelques milliers d'années, ce savoir nouveau et de nature empirique s'est répandu sur presque toute la surface de la Terre, l'âge que nous appelons Néolithique s'étant étalé sur des millénaires en fonction du degré d'isolement de continents et de contrées.

C'est également au Néolithique que la domestication de plantes et d'animaux a obligé l'homme à inventer des procédés de stockage sous forme de fermentations dont sont issus le pain et le vin, puis toutes sortes de préparations ayant subsisté jusqu'à nos jours. Il y a eu ainsi une véritable «révolution» dont la base était la génétique expérimentale, puis l'utilisation de microbes «amis» qui permettaient de conditionner les produits.

LA COMPRÉHENSION DE LA REPRODUCTION

Pour autant, l'homme savait peu de choses sur le processus de reproduction et sur les mécanismes de gestation qui se dérobaient à sa vue. Les philosophes grecs, qui nous servent souvent

de référence, étaient avant tout des penseurs et s'ils ont eu l'intuition des mécanismes de la reproduction sexuée comme ils avaient l'intuition de l'existence d'atomes, ils n'avaient pu concrétiser leurs concepts et leurs idées, faute d'outils d'exploration de l'invisible.

Il fallut attendre le XVII^e siècle de notre ère pour que le microscope (invention et outil de riches négociants hollandais fondateurs des fameux «Cabinets de physique») permette de découvrir le spermatozoïde, impliqué dans le processus de fécondation des espèces animales. Ce mystérieux corpuscule flagellé enflamma alors les imaginations, et l'opacité de sa «tête» n'empêcha pas les observateurs de rêver à son contenu : ils pensaient que c'était un «animalcule» et, pour l'espèce humaine, un «homoncule», un modèle réduit, supposé parfait, de l'être à venir... et porté par une mère dont on imaginait mal le rôle dans le développement de l'animalcule en question.

À la différence des reptiles et des oiseaux, l'œuf des mammifères est dissimulé au regard ; à l'époque, aucun moyen n'existait pour établir son existence et, *a fortiori*, sa fonction. D'ailleurs la démonstration ultérieure de sa fécondation et du développement résultant de l'embryon ne fera guère avancer les connaissances sur la génétique en tant que processus de transmission de l'hérédité.

Curieusement, et par un détour inattendu dont la recherche a le secret, c'est l'expérimentation de plants végétaux qui permettra de jeter les bases de la génétique, et ce travail sera le fait d'un moine-jardinier, Gregor Mendel. Cet Autrichien se prend de passion pour les petits pois... et entreprend d'en croiser les plants géants et nains, puis d'observer les caractères, ou «traits», de leurs descendants. Le moine augustin en question pratique un travail de bénédictin et énonce des concepts qui deviendront des lois, encore en vigueur aujourd'hui.

Ces lois expliquent la transmission des caractères héréditaires et l'alternance de traits dominants et récessifs. Fondées sur une expérimentation considérable et sur des calculs rigoureux, elles sont tenues pour intangibles. Mais, à l'époque, les travaux de Mendel sont à peu près ignorés par ses contemporains, entièrement absorbés par les découvertes de Darwin sur l'évolution des espèces. Plus près de nous, les travaux du Russe Lyssenko, qui prétendaient défier les lois de Mendel, ont sombré dans l'opprobre et le ridicule.

LA GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE

Ce n'est qu'au début des années 1940 que la génétique a reçu un support chimique et, pour mieux dire, moléculaire. Quelques chercheurs, dont l'Américain Morgan, vont attacher leur nom à la découverte principale : les acides nucléiques sont le support matériel de l'hérédité.

Le concept du gène (entité constituée d'ADN) s'impose universellement, et la chimie biologique fait le reste en établissant la composition chimique de l'ADN, molécule géante au même titre que les protéines, ces autres constituants essentiels des organismes vivants. Vers la même époque, Pauling établit la structure des chaînes polypeptidiques constituant les protéines et démontre leur conformation hélicoïdale, puis, au début des années 1950, J. Watson et F. Crick, Langridge, Wilkins et R. Franklin établissent la structure de l'ADN (voir *Les inattendus de la découverte de l'ADN*, par Jean Rossier, *Pour la Science*, janvier 1997). Commence alors une «saga» de l'ADN et, avec elle, l'aventure prodigieuse de la «biologie moléculaire».

La double hélice d'ADN forme des agrégats aux conformations complexes. Elle constitue les gènes qui s'assemblent en chromosomes, suivant des architectures encore en cours d'exploration. Mais l'image de la double hélice a une extraordinaire puissance suggestive. C'est ainsi que Watson et Crick écrivent, dans leur article princeps de *Nature* (1953), que : «Le matériel génétique en question pourrait être de quelque manière recopié.»

Depuis, il a été effectivement démontré que l'ADN (dont la double hélice peut s'ouvrir à la manière d'une fermeture éclair) se «répliquait» à partir des simples brins, provoquant ainsi la «transcription» du message génétique et de ses traits héréditaires.

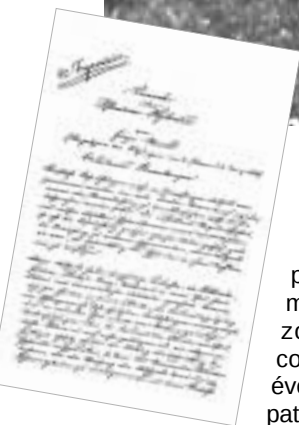
L'ensemble des molécules d'ADN (et donc des gènes résultants), que l'on appelle génome, et qui constitue un des composants majoritaires du noyau de chaque cellule, est, en quelque sorte, un «patrimoine» génétique transmissible



Doc. F.S.

Enfin Mendel vint... pour expliquer les lois de la transmission génétique. Moine-jardinier, Gregor Mendel (en haut à droite) étudie l'hérédité

des caractères des plantes dans son jardin d'expérience, encore entretenu aujourd'hui. Les résultats de Mendel sur les caractères récessifs et dominants, dûment publiés, n'ont aucun écho.



par les cellules «germinales» (spermatozoïde et œuf). Ce concept de patrimoine évoque logiquement un patrimoine «familial», un placement de père et

mère de famille qui sera transmis par «héritage», selon des modalités fixées par les lois de Mendel. Mais la biologie moléculaire a démontré que, dans chaque cellule, ce patrimoine «est un capital qui travaille». Les gènes qu'il contient peuvent en effet «s'exprimer» en codant la biosynthèse de protéines spécifiques, véritables «dividendes» qui assurent la vie cellulaire.

On a donc admis qu'un gène pouvait, en s'exprimant, produire une protéine, puis on s'est rendu compte du caractère simpliste de ce concept et l'on a conclu que la biosynthèse de nombre de protéines mobilise plusieurs gènes. Quoi qu'il en soit, il est patent que ce que nous appelons le génome est un patrimoine qui œuvre pour le bien de chaque cellule... à moins qu'une altération chimique de ce patrimoine (mutation) n'entraîne la bio-

synthèse de protéines anormales et, par conséquent, une biologie déviante de la cellule, puis du tissu et de l'organe auxquels elle appartient.

L'ADN ALTÉRÉE

Ainsi l'ADN, notre macromolécule «vivante», est altérable. C'est ainsi que, du fait de la respiration (et de l'oxygène qu'elle met en jeu), l'ADN d'une cellule peut subir jusqu'à 10 000 altérations chimiques par heure et que, sans l'existence d'actifs processus de «réparation» de l'ADN, la vie cellulaire et, par voie de conséquence, la vie des organismes aérobies, aurait disparu depuis longtemps.

On notera également que certaines altérations (mutations) de l'ADN peuvent être bénéfiques pour la cellule et l'organisme, qui disposent ainsi d'un mécanisme d'adaptation à des variations de l'environnement et, à terme, d'évolution étendue à l'espèce considérée.

Certaines mutations, discrètes à l'échelle moléculaire, ont des conséquences importantes et héréditaires. Tel est, par exemple, le cas de l'hémophilie,

dont un exemple familial est resté fameux : il s'agit de l'hémophilie apparemment transmise par la reine Victoria d'Angleterre aux descendants mâles des cours royales d'Europe par le jeu des mariages.

Heureusement, les mutations ont un caractère exceptionnel, les processus de réparation de l'ADN s'avérant particulièrement efficaces. À ces mécanismes subtils qui font intervenir des enzymes «réparases», il convient d'ajouter le processus de «suicide cellulaire».

À l'image des bandes magnétiques du fameux James Bond, les «bandes d'ADN» porteuses des «messages» génétiques s'autodétruisent, entraînant une mort cellulaire qui, lors du développement embryonnaire, est dûment programmée. Sans cela, l'embryon pourrait se développer de manière anarchique et conduire à des monstres. Les concepts évoqués ici sont encore relativement récents, et nul doute que les travaux dont ils font l'objet les affineront en conséquence.

Par ailleurs, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, la vulgarisation des connaissances est un exercice dangereux parce que néces-

INSTITUT DE CALCUL MATHÉMATIQUE



La "Lettre de l'I.C.M."
est un forum
d'informations et de débats
à propos des mathématiques,
de leur rôle scientifique et social,
de leurs orientations
et de leurs débouchés.
Elle s'adresse aux étudiants
à partir de la maîtrise,
aux utilisateurs des mathématiques
et aux chercheurs.
Elle paraît tous les trois mois.

Le numéro 5 est paru.
Au sommaire :

- Éditorial, par Bernard Beauzamy
- Les réactions à la Lettre n° 4
- Les bienfaits d'un stage,
par Véronique Noury
- Sciences et Technologie,
indicateurs 1996
- Empirisme et dégénérescence
en mathématiques,
par John Von Neumann
- De nouvelles orientations à
l'Institut for Advanced Study
- Que peut-on attendre
du Représentant
des Mathématiques au Ministère,
par Bernard Beauzamy
- La Noix d'honneur de l'I.C.M.
- Nouvelles brèves
- Page culturelle : "Le plus sot
animal", par A. Huxley

Abonnement annuel :
100 francs pour quatre numéros



Institut de Calcul Mathématique
37, rue Tournefort
75005 PARIS
Tél : 01-47-07-52-92
Fax : 01-48-07-83-97

sairement très simplificateur, à la limite erroné et caricatural.

Pourtant notre époque hypermédiatisée pousse à la vulgarisation, et les gènes n'échappent pas à cet engouement. Quotidiennement, vous apprenez la découverte d'un gène de ceci ou de cela et, en fait, d'un gène prédisposant son porteur à telle ou telle pathologie physiologique ou comportementale. C'est, qu'en effet, les biologistes pratiquent désormais l'inventaire des génomes et isolent des gènes manifestement associés à telle ou telle fonction biologique, normale ou déviante. Cette identification de «gènes de prédisposition» pourrait être à l'origine d'une médecine «prédictive» destinée à détecter et à prévenir des sujets à risque.

Une telle démarche pourrait, en revanche, avoir des effets pervers : sur les sujets eux-mêmes, vivant alors dans la crainte d'une pathologie, et sur leur entourage familial, professionnel ou administratif. Certains pourraient un jour revendiquer le droit à l'ignorance, comme tant d'autres réclament le droit à l'information. Nous n'en sommes certes pas là, mais il importera d'être attentif. Déjà les intérêts financiers que représentent les tests de dépistage de gènes de prédisposition de certains cancers stimulent la recherche de grands groupes, et les comités d'éthique risquent d'avoir du pain sur la planche dans l'avenir.

LA SOCIÉTÉ SECRÈTE DES GÈNES

On sait aujourd'hui détecter et isoler des gènes d'un génome, mais ce dernier n'en demeure pas moins une sorte de société secrète avec des règles, des codes, des exceptions et, finalement, des rapports inconnus. De ce fait, l'opération dite «de transgénèse», qui consiste à insérer dans un génome des gènes qui lui sont étrangers et qui pourraient lui conférer des propriétés nouvelles, suscite bien des craintes.

Transgénèses animale et végétale sont à la fois des opérations d'avenir et des aventures que certains jugent à risques. Selon ces derniers, l'insertion de gènes étrangers pourrait ouvrir une boîte de Pandore. Une méfiance quasi générale entoure actuellement la perspective (et les débuts de réalisation) des «organismes génétiquement modifiés».

Ne va-t-on pas compromettre l'équilibre subtil (fait de compromis entre gènes) du génome ? Telle plante génétiquement modifiée ne va-t-elle pas essaimer son nouveau patrimoine à d'autres espèces ?

Telles sont certaines des craintes formulées ici et là, et les généticiens

devront convaincre l'opinion de l'innocuité de leurs «créations».

Néanmoins et en dépit des coûts de plus en plus élevés de la recherche en biologie et de la sophistication de ses outils (notamment informatiques), il est probable que l'on n'arrêtera pas «la marche vers le progrès». Nous avons déjà mentionné les tests de dépistage génétique et la transgénèse. La mise au point de ces tests progresse inexorablement, et leur commercialisation est inévitable. En matière de transgénèse, l'industrie des semences, avec le maïs et le soja «transgéniques», fait une entrée fracassante et prépare l'avènement de semences modifiées et enrobées des principes essentiels à la germination. On nous propose déjà des tomates transgéniques, en attendant d'autres denrées, que le consommateur acceptera à la longue, comme il vient de le faire aux États-Unis.

Des questions subsistent. Comment se comporteront les plantes transgéniques quand elles seront cultivées à grande échelle ? Vont-elles former des hybrides avec leurs homologues sauvages, communiquer leur transgénèse à des bactéries ou à des virus, favoriser l'émergence d'insectes résistants aux pesticides ? Il faudra, pour le moins, contrôler de très près les couples plante-gène étranger.

La transgénèse animale n'a encore guère dépassé le stade expérimental, mais elle suscite déjà des réserves. Pour certains, elle est aventureuse et, pour d'autres, ce n'est qu'une technique accélérée d'amélioration des animaux d'élevage. Elle prend néanmoins aujourd'hui un singulier relief avec les techniques «d'humanisation» des cellules, des tissus et des organes d'animaux en vue de transplantations à l'homme. On signale déjà la production d'hémoglobine humaine par des porcs transgéniques (grâce à l'insertion du gène codant pour la biosynthèse), et d'aucuns prédisent un bel avenir à cette branche de la biotechnologie. Nul n'aurait osé imaginer pareille perspective il y a encore quelques années. Encore un inattendu du gène...

Ce gène qui ne saurait échapper à de nouveaux inattendus, car la recherche, c'est avant tout l'imprévisible, ce qui en fait le charme, l'intérêt et parfois le danger.

Pierre DOUZOU est professeur au Muséum d'histoire naturelle et membre de l'Académie des Sciences. Son dernier ouvrage (*La saga des gènes*, éditions Odile Jacob) détaille les thèmes de cet article.

Ce texte est une transcription du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France Culture le 12 mars 1997.

Histoire de la contraception

FRANÇOIS CHAST

Des méthodes préventives peu sûres ou contraignantes, à une conception maîtrisée par les hormones.

Que serait aujourd'hui la démographie, la vie familiale et sociale sans la «pilule»? Cet outil de la prévention de la grossesse a-t-il un statut de médicament, les femmes qui l'utilisent n'étant pas malades? Ne serait-ce pas plutôt un témoin de l'attitude de la société à l'égard de la sexualité, d'une sexualité désormais bien séparée de la maternité?

La maîtrise de la conception semble aujourd'hui une ambition raisonnable, mais il aura fallu deux générations pour que le débat sur la contraception s'apaise. D'autres débats socio-pharmacologiques ont fait irruption dans le champ éthique, de sorte que celui sur la contraception semble intégré dans notre «paysage culturel» et dans nos modes de vie.

C'est durant l'Antiquité romaine, sous les règnes de Trajan et d'Hadrien, que fut établie par Soranos d'Éphèse (98-138

de notre ère), la distinction entre contraception – qui prévient la conception – et avortement – qui tue le fœtus. La maîtrise de la fécondité apparaissait déjà une réponse à diverses difficultés d'ordre social ou médical. Des questions culturelles, telles que la prééminence masculine dans certaines sociétés, avaient conduit la Chine de l'empereur Shen Nung (troisième millénaire avant notre ère) à confondre infanticide et contraception : les filles naissant dans les milieux défavorisés étaient vouées à l'infanticide ; ultérieurement, cette pratique ne fut pas exclue du droit romain.

Le christianisme marque un tournant dans la relation entre la société occidentale et la naissance. Une relation souvent passionnelle entre l'Église et la contraception s'est instituée depuis saint Jérôme et saint Augustin. Au IV^e siècle, ces premiers théoriciens de la chrétienté

condamnent tout ce qui peut prévenir la conception ou provoquer la stérilité. En 1588, la bulle papale *Effraenatam* voue à l'excommunication et à la mort ceux qui procurent ou utilisent des «poisons de fertilité».

CONTRACEPTION ET MORALE

Depuis le XIX^e siècle, les recommandations de l'Église ont évolué en fonction de la sensibilité des personnalités occupant le Saint-Siège. Alors qu'en 1853 la Pénitencerie accepte le principe que les époux n'aient de rapports qu'au moment de la période stérile du cycle menstruel, elle condamne, en 1916, l'usage du préservatif et cela pendant plus de 80 ans. Cette attitude, fondée sur le principe du respect de la vie, est confirmée par Jean-Paul II, pour qui Dieu seul est maître de la procréation. Ces options conservatrices du Vatican à l'égard de la contraception n'empêchent pas quelques nuances apportées par l'épiscopat français qui, dès 1968, considère que la contraception n'est pas un «péché grave» et qui, en 1996, juge nécessaire l'emploi du préservatif.

Une confusion importante semble avoir régné dans l'interprétation des relations entre la période des règles et la période de fertilité. Les règles imposent-elles un rythme de fécondité particulier? Ainsi les Mayas évoquaient-ils, non pas un cycle mensuel, mais annuel. En fait, l'abstinence sélective fut un faux-allié et un leurre fréquent.

En 1929, le chirurgien japonais Kyusaku Ogino (1882-1975), propose une méthode consistant à s'abstenir entre le douzième et le seizième jour précédant le début des règles. Contrairement aux idées reçues, la méthode ne faisait pas appel à la courbe des températures. En préconisant d'observer la périodicité du cycle pendant douze cycles afin d'en connaître le rythme moyen, Ogino proposait une approche pratique, où la femme portait toute la responsabilité. Cette méthode imposait aux couples des calculs assez complexes et la variabilité biologique eut raison de cette méthode dès lors que d'autres approches ont été proposées. Selon les statistiques, les échecs atteignaient près de 40 pour cent.

En 1904, le néerlandais Theodor Van de Velde découvre la corrélation entre la courbe thermique matinale et l'ovulation. Cette découverte a été validée *a posteriori*, lorsqu'on découvrit le rôle de la progestérone, l'hormone de la deuxième partie du cycle menstruel, dans la régulation de la température.



Les humoristes ont brocardé Malthus et sa doctrine. Selon lui, la population croissant plus vite que les ressources, la famine sera inévitable sans limitation volontaire des naissances.

La pratique d'un coït non conventionnel a été une variante de l'abstinence, souvent tue, mais fréquemment pratiquée. Le *coïtus interruptus* est mentionné dans la Bible par Onan, au ^{xiv}^e siècle par Geoffrey Chaucer dans les *Contes de Cantorbéry*, puis au ^{xviii}^e siècle par Casanova dans ses *Mémoires*. En 1830, Robert Owen publie un texte sur cette pratique sous le titre *Physiologie morale*. Le *coïtus obstructus* consistant, au moment de l'éjaculation, à comprimer l'urètre pour provoquer une émission rétrograde a été décrit dans la Chine antique (^{vi}^e siècle), par l'Islam du médecin, alchimiste et philosophe Rhazès (début du ^x^e siècle) et en Inde au ^{xiv}^e siècle. Le *coïtus reservatus* (sans éjaculation), qui consiste à retirer le pénis de la cavité vaginale avant l'orgasme, a été proposé par Noyes, aux États-Unis, vers 1850.

CONTRACEPTION LOCALE

L'énumération des ingrédients utilisés depuis l'Antiquité pour empêcher la formation et le développement de l'œuf serait fastidieuse, tant les solutions imaginées ont été aussi variées qu'insolites. On peut retenir quelques tendances. La première consista à reproduire, dans le cadre d'une contraception, les principes généraux de la thérapeutique visant à chasser d'un corps malade les esprits qui pouvaient s'y abriter. La pharmacopée excrémentielle était alors un principe thérapeutique constant. Les papyrus égyptiens, l'*Histoire naturelle* de Pline foisonnent d'exemples de cette nature, mais des solutions plus rationnelles ont été proposées, y compris par les auteurs les plus anciens.

Ainsi le *Manuscrit de Ebers* (un papyrus médical rédigé vers 1550 avant notre ère, et découvert, en 1873, par l'égyptologue allemand Ebers) propose-t-il l'emploi de gomme d'acacia ou gomme arabique. Les physiologistes modernes ont montré qu'en fermentant, elle produit de l'acide lactique, inhibiteur de la migration des spermatozoïdes vers les trompes. Les Égyptiens avaient raison. Heureux hasard ? Coïncidence fragile ? Observation raisonnée ? Nul ne le sait.

La conception d'obstacles physiques empêchant le cheminement du sperme vers l'utérus a offert à l'imagination des gynécologues d'innombrables alternatives. Soranos proposait l'emploi de pessaires reliés à l'extérieur par une fine cordelette, des tampons de charpie servant de préservatif mécanique pour la femme. Conscient des limites du dispositif,

D'où vient le condom ?

Quelle est l'étymologie du mot condom ? Le mot apparaît pour la première fois dans la littérature sous la plume de Daniel Turner, en 1717. En est-il l'inventeur ? Vient-il du nom de Charles Condom, réputé médecin à la cour de Charles II, mais dont on n'a pas retrouvé la moindre trace ? S'agit-il de l'accusatif de *condus*, qui signifie protection en latin ? Ou encore est-ce un avatar du mot *Kendu*, récipient confectionné au moyen de l'intestin d'un animal pour y emmagasiner le blé, la semence ? Les appellations de l'objet

seront nombreuses. En 1820, apparaît le terme de « redingotes anglaises » préparées avec une portion de l'intestin d'agneau, de mouton ou de veau. Cullerier lui décerne un satisfecit avec l'expression de *capote de santé*. Bien d'autres seront adoptés, tels *french baudruche*, gants de dames, peau divine, chemisette, avant que le monde anglo-saxon ne s'en tienne au condom initial et que les francophones n'adoptent officiellement « préservatif », cantonnant « capotes » à une vulgarité troupière.

il envisageait de doubler la barrière physique d'un dispositif chimique mélangeant gomme, miel et céruse (du carbonate de plomb). Une variante consistait à utiliser des bouchons de laine imprégnés d'huile et de miel. Parmi les substances considérées comme contraceptives, l'alun de potassium et le natron (carbonate de sodium) figuraient en bonne place. Les médecins arabes comme Rhazès et Avicenne (980–1037) portaient une attention particulière au saule, qu'ils utilisaient fréquemment : arbre sans fruit, il semblait tout naturellement destiné à cet usage. En Extrême-Orient, les *misugami*, papiers de soie appliqués sur la muqueuse vaginale, jouaient le même rôle.

En Europe, le principe des « barrières » fut aussi employé. Les paysannes hongroises utilisaient des tampons constitués de cire d'abeille. Dans sa *Philosophie dans*

le *boudoir*, le marquis de Sade évoque l'emploi d'éponges imprégnées de cognac dans les milieux libertins de la fin du ^{xviii}^e siècle. L'emploi du sulfate de quinine comme contraceptif local se répand au milieu du ^{xix}^e siècle. Charles Knolton (1800-1850) préconise l'emploi de solutions astringentes (thé vert, alun, etc.).

Le diaphragme est proposé en 1891 par Wilhelm Mesinga et son usage se répand lors de la mise sur le marché des premiers spermicides. Les préservatifs dont l'usage fut longtemps contesté, constituèrent l'autre contraception locale. Leur qualité resta médiocre tant que la technique du caoutchouc ne s'améliora pas. C'est en boyaux d'animaux que les premiers préservatifs ont été confectionnés. Certes, Gabriele Fallopio (1523-1562) avait proposé l'emploi d'une pièce de lin dans le cadre de la prévention antisyphilitique, mais le condom semble bien être né au Royaume-Uni, et les controverses sur l'origine du mot et ses appellations successives permettent d'évaluer la fragilité de son essor.

PROGRÈS EN PHYSIOLOGIE

L'idée que l'on puisse modifier la conception en administrant des substances médicamenteuses ou toxiques est très ancienne. Il paraît pourtant difficile de distinguer, alors, la préparation contraceptive de la prescription abortive. Au Moyen Âge, il est fait référence aux breuvages contraceptifs et à l'avortement. Tant que l'on ignore les mécanismes de la reproduction, on ne peut espérer maîtriser la conception, et il faut attendre 1677 pour que le naturaliste hollandais Antonij van Leeuwenhoek (1632-1723) découvre les spermatozoïdes, grâce au microscope qu'il avait construit.



Divers dispositifs vaginaux de contraception : plusieurs bouchons cervicaux dont un recouvert d'éponge (en bas à droite) et un préservatif.