

■ POUR LA
SCIENCE

Juin 1997

édition française de

**SCIENTIFIC
AMERICAN**

Votes étranges
et paradoxaux

Jules Verne

Les bactéries
de l'extrême

La chimie
combinatoire

La formation
des montagnes

Virus et immunité

Tyrannosaurus Rex
emprisonné



Canada : \$ 8,75

L'évolution de l'homme

Bloc-notes de Didier Nordon

4

Jeu-concours

6

Partage équitable d'un gâteau triangulaire

par Pierre Tougne

Tribune

7

Point de vue

8

Science et intégrisme

par Claude Taïeb



Les inattendus de la science 10

Les inattendus du développement

par Alain Prochiantz



Présence de l'histoire 14

La malédiction du tyrannosaure

par Eric Buffetaut

Science et finance

20

Les flambées boursières

par Christian Walter

Science et gastronomie

21

La téléolfaction

Perspectives scientifiques :

22

Le champion du monde d'échecs battu par l'ordinateur

Changement pour l'un, différence pour l'autre?

Enzyme et cancer

Meurtres sexistes dans la fourmilière

Un accident stimulant

Les bébés étoiles ont le hoquet

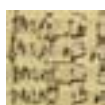
Un granite producteur d'électricité



Logique et calcul 102

Votes étranges et paradoxaux

par Jean-Paul Delahaye



L'expérience du mois 106

Illusions musicales

par Shawn Carlson



L'image du mois 108

Parasitisme en série

par Bernard Chaubet



Analyses de livres 110

– Les palmes de M. Schutz

– Les plantes protégées d'Île-de-France

– Les arbres qui cachent la forêt

– Universalités et fractales

– Histoire générale des techniques

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

Les premiers exodes

40

par Ian Tattersall

L'Afrique est le berceau de l'humanité, mais combien d'espèces humaines y ont-elles évolué? Et quand l'ont-elles quittée?



Comment notre cerveau calcule-t-il?

50

par Stanislas Dehaene

L'observation de notre cerveau en activité révèle quelles régions cérébrales sont spécialisées dans le traitement arithmétique et comment leurs actions sont coordonnées.



Peut-on sauver les forêts tropicales?

58

par Richard Rice, Raymond Gullison et John Reid

Une gestion «durable» des exploitations forestières tropicales réduirait la biodiversité. La constitution de réserves serait un mode de préservation plus efficace.

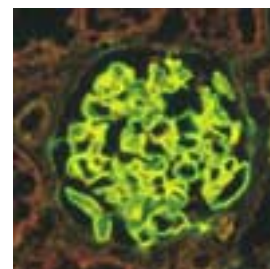


Le soi, le non-soi et les virus

64

par Rolf M. Zinkernagel

Parfois les traités de non-agression scellés entre le système immunitaire et l'organisme qui l'abrite sont rompus : des maladies auto-immunes apparaissent.



Chimie combinatoire et nouveaux médicaments

72

par Matthew Plunkett
et Jonathan Ellman

Grâce à cette nouvelle technique, on fabrique rapidement de nombreuses molécules de structures apparentées, accélérant ainsi la découverte de médicaments potentiels.



Comment l'érosion construit les montagnes

78

par Nicholas Pinter
et Mark Brandon

L'interaction des forces tectonique, érosive et climatique façonne les montagnes et éclaire l'histoire de la Terre.



Les organismes de l'extrême

86

par Michael Madigan
et Barry Marrs

Certains micro-organismes survivent dans des conditions qui tueraient toute autre créature. Les molécules qui leur permettent de prospérer intéressent l'industrie.



Jules Verne, visionnaire incompris

94

par Arthur Evans
et Ron Miller

La découverte d'un manuscrit longtemps égaré révèle que le père de la science-fiction se préoccupait des dangers de la science et de la technique.



Connais-toi toi-même...

L'immunologie est la discipline philosophique fondamentale : elle décrit les causes et les relations qui nous maintiennent en équilibre sur le fil du rasoir nous séparant de la maladie et de la mort. Patient serviteur de la vérité du monde vivant, l'immunologiste étudie comment les expériences sont mises en mémoire par les cellules qui nous défendent contre les intrusions étrangères maléfiques. Est-il sujet plus important?

Car notre système immunitaire n'a jamais été aussi exposé : la rapidité et la fréquence des échanges font du monde un village immunitaire global. Aussi la société demande-t-elle aux scientifiques de prémunir les individus. Hélas, la prévention ne peut aboutir quand les données fondamentales manquent. Et les connaissances de base ne sont acquises que par des recherches originales, développées indépendamment de leur utilité immédiate. Si la science semble toujours en retard par rapport à nos besoins, elle précède et fonde les décisions opportunes, les réponses pratiques à des questions vitales.

Telles que : comment les cellules sont-elles éduquées pour éliminer les envahisseurs indésirables? Comment distinguent-elles les cellules de l'organisme, le soi, des cellules étrangères à éliminer, le non-soi? La différence entre le soi et le non-soi est existentielle.

Rolf Zinkernagel démêle une partie de l'écheveau en étudiant les cas extrêmes, les dérèglements catastrophiques qui amplifient et mettent en lumière le fonctionnement de l'organisme (voir *Le soi, le non-soi et les virus*, page 64). Ainsi soulève-t-il un coin du voile. Contrairement à une idée reçue, les molécules du soi ne portent pas une «étiquette intrinsèque» d'identification. Soi et non-soi sont distingués par les caractéristiques (qualitatives et quantitatives) de leur présentation aux agents du système immunitaire. En revanche, des virus pathogènes dressent parfois ce système contre le soi. De ces études naîtront un jour des médicaments.

Philippe BOULANGER

Le menteur arrosé

Gâce à des micros bien placés, un psychologue de l'Université de Californie du Sud a démontré que les gens mentent toutes les huit minutes en moyenne, soit 200 mensonges par jour.

Effrayé du résultat de son enquête, ce chercheur se croit tenu de défendre le mensonge, «crucial au bon fonctionnement de la société», affirme-t-il. Là, mon collègue, vous voilà pris à votre tour ! Parce que prétendre que notre société fonctionne bien, c'est un mensonge – et pas un petit.

En fait, ce chiffre reste à interpréter. Les gens mentent 200 fois par jour ? Cela paraît beaucoup. Mais – qui sait ! – peut-être disent-ils la vérité 300 fois par jour, voire 400. En ce cas, ne faudrait-il pas les considérer comme des adeptes du parler vrai ?

Syndrome de la page blanche

Une criante injustice vient enfin d'être réparée... J'ai déjà fait allusion dans ces colonnes à une plaisanterie chère aux scientifiques : publier un article faux

est appréciable, car cela mène à publier un rectificatif, ce qui augmente donc le nombre de vos publications de deux unités au lieu d'une.

Ainsi, les chercheurs fiables sont-ils injustement pénalisés. Du moins, ils l'étaient. Consultons en effet le *Conspex materiae tomi LXXVIII, fasciculi 1* de la revue *Acta Arithmetica*. (Cette revue polonaise, consacrée à la théorie des nombres, publie des articles en français, anglais, allemand et russe ; pour ne pas faire de jaloux, la table des matières est en latin.) Consultons donc la table des matières. Elle annonce que, en page 99, P. Bundschuh et M. Waldschmidt publient un errata à un précédent article. Toujours heureux d'assister à la chute de chers collègues, précipitons-nous pour voir quelle faute grossière ces vilains chercheurs avaient commise... Las, la page 99 est vierge, intégralement blanche ! Je l'ai vue de mes yeux.

Erreur due à l'imprimeur ? Non ! Écartons résolument cette plate supposition. Reconnaissons plutôt les avantages du procédé inauguré par P. Bundschuh et M. Waldschmidt. D'abord, il permet à un auteur de publier deux fois en toutes circonstances, même si par malchance son

article initial était correct. Ensuite, il évite au lecteur une fastidieuse vérification. Si l'errata est vide, c'est la preuve que l'article initial était vierge de toute tache.

L'instant de vérité

Parmi tant d'alexandrins parfaits et parfaitement ennuyeux, Boileau en a écrit un (et peut-être un seul) où s'exprime une émotion poétique. «Le moment où je parle est déjà loin de moi», lit-on dans l'Épître III.

Cette même nostalgie du temps qui passe et nous interdit même de nous raccrocher à nos propres paroles inspire aussi François George : «La vérité d'existence, c'est que A n'est pas égal à A, parce que, le temps de poser l'égalité, A n'est plus le même, a déjà vieilli...»

Les logiques modernes sont émancipées du carcan aristotélicien. J'imagine cependant mal qu'on parvienne à en concevoir une où l'égalité, évanescence et fugitive, ne durera que le bref instant du croisement de deux variables, avant que chacune ne s'éloigne dans sa nuit...

Une preuve d'existence

Selon un sondage récent sur les croyances des scientifiques, les mathématiciens sont les plus enclins à croire en Dieu (44,6 pour cent), et les physiciens et astronomes le moins (77,9 pour cent de mécréants). Voilà une information intéressante. Mais le simple fait que les sondeurs aient pu mener à son terme une pareille enquête est, en soi, bien plus intéressant.

Si les sciences sont vraiment l'école de la rigueur, un scientifique ne peut ni ne doit répondre à une question dont les termes n'auraient pas au préalable été correctement définis. Ainsi, sa première réaction quand le sondeur vient sonner à sa porte ne peut être que demander : «Pardonnez-moi, Monsieur l'enquêteur, qu'entendez-vous précisément par "Dieu" ?»

De deux choses l'une, donc. Soit l'affirmation, souvent répétée, selon laquelle les sciences éduquent l'esprit et le rendent exigeant quant à la rigueur intellectuelle, est fautive : les scientifiques acceptent de répondre à n'importe quelle question. Soit les instituts de sondage ont réussi là où les théologiens ont échoué : ils savent définir Dieu.

Il n'est de science que de la mienne

Exercice. Décliner sur tous les tons, et conjuguer à tous les modes, la phrase suivante : «Le centre du monde existe, et j'ai la chance de m'y trouver.»

Application. Les références d'un certain nombre de citations ont été égarées. Sauvez-vous retrouver qui a dit quoi ?

Liste des citations :

1. L'insomnie, fléau majeur de notre vie industrielle.
2. On peut légitimement se demander si l'objet d'étude de l'arithmétique n'est pas l'esprit humain lui-même.
3. Existe-t-il un problème scientifique plus important dans la recherche contemporaine que de comprendre comment fonctionne notre cerveau ?
4. L'histoire de l'humanité s'identifie complètement avec celle des matériaux utilisés aux différentes époques.
5. L'homme est le primate capable de découvrir le monde mathématique. Face à une conception biologique envahissante de l'homme, dont la différence avec l'animal ne semble reposer pour certains que sur le nombre de ses neurones, il est bon de mettre en valeur cette capacité qui est la sienne de construire la mathématique du monde et de découvrir le monde mathématique.
6. Parfois, je me demande si l'Univers est fait d'autre chose que de 0 et de 1.

Liste des auteurs :

- A. Michel Juvet, spécialiste du sommeil.
- B. Gérald Tenenbaum et Michel Mendès France, théoriciens des nombres.
- C. Jean-Pierre Changeux, spécialiste du cerveau.
- D. Michel Duneau et Christian Janot, spécialistes de la physique des matériaux.
- E. Paul Germain, mathématicien.
- F. Un informaticien, caricaturé par Jean-Pierre Petit.

France Culture et Pour la Science

**vous invitent
au Palais
de la découverte
à l'enregistrement
des
Inattendus
de la
Science**

**Samedi 14 juin 1997
à 15 h**

*Les objets cosmiques
inattendus*

avec André BRAHIC,
astronome à l'Observatoire
de Paris-Meudon

**Samedi 21 juin 1997
à 15 h**

*Les inattendus
des vies artificielles*

avec Francisco VARELA,
directeur de recherche
au CNRS, Laboratoire
Neuro Science, Cognition
et Imagerie cérébrale

**Invitations à demander au
08 36 68 10 99** (2,23F/mn)



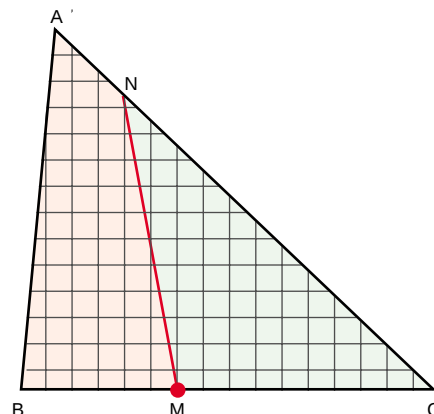
Palais de la découverte

**POUR LA
SCIENCE**

JEU-CONCOURS N°36

PARTAGE ÉQUITABLE D'UN GÂTEAU TRIANGULAIRE

Si l'on veut partager un gâteau triangulaire quelconque en deux parts égales (c'est-à-dire de même surface) d'un seul trait de couteau, il y a une solution évidente en partant de l'un quelconque des sommets (pensez à la médiane). En revanche, si l'on s'impose de commencer d'un point quelconque du périmètre du triangle, le problème est plus intéressant. Plus précisément, si l'on se donne un triangle ABC et un point M sur un côté disons BC , sauriez-vous construire le point N sur le périmètre du triangle (voir la figure) tel que le segment MN coupe le triangle en deux surfaces égales?



Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à *Pour la Science*, 8, rue Féroù, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de juin 1997, dix gagnants tirés au sort recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N°34

Soit x l'âge du mathématicien qui parle en premier et y celui de son interlocuteur. Le dialogue se traduit mathématiquement par les deux équations : $2y + 17 = nx$ et $x + 4 = my$, où les termes m, n, x, y sont des entiers positifs. En résolvant ces deux équations en m et n , on obtient facilement : $x = (17m + 8)/(mn - 2)$ et $y = (4n + 17)/(mn - 2)$.

Comme l'âge des mathématiciens est, par hypothèse, plus grand que 1, l'inéquation $y > 1$ donne $m < 4 + 19/n$, soit $m < 23$ (car $n \geq 1$). D'autre part, si m est pair, cela entraîne que x est pair, ce qui est impossible, car $2y + 17$ impair ne peut être un multiple de x . En définitive, m ne peut prendre que les valeurs impaires comprises entre 1 et 21. De plus, pour m donné, x est un diviseur de $17m + 8$ d'où l'algorithme de recherche de x et y . Pour m impair donné jusqu'à 21, on cherche les diviseurs x (différent de 1) de $17m + 8$ et pour chaque diviseur x , on teste si $y = (x + 4)/m$ est entier.

Quand cela est vrai, le couple (x, y) est une solution du problème posé. En procédant de la sorte, on trouve, dans l'ordre les cinq solutions suivantes : (5, 9), (25, 29), (59, 21), (31, 7) et (23, 3).

Quelques lecteurs ont interprété la première phrase du dialogue par l'équation $2(y + 17) = nx$, ce qui conduit à d'autres solutions en plus grand nombre, mais je ne pense pas qu'il y avait ambiguïté, car la phrase correspondant à cette équation aurait été «mon âge divise deux fois la somme de ton âge et 17».

Enfin d'autres lecteurs ont traduit cette phrase par $nx^2 = y + 17$ (!), ce qui me semble difficilement justifiable, mais en revanche conduit à une solution unique $x = 2, y = 3$.

Hasard et investissement

Je veux bien admettre que les spéculateurs s'enrichissent ou s'appauvrissent selon les lois du hasard, et encore faut-il tenir pour zéro les capacités de l'intervenant. Il ne faudrait toutefois pas en déduire que les variations boursières ne sont que le fait du hasard (voir *Les tendances du hasard*, *Pour la Science*, avril 1997). Sinon comment expliquer que, depuis plus de 40 ans que j'investis en Bourse, j'ai fait quatre fois mieux que les indices ?

On peut tout à fait prévoir l'évolution future de la Bourse à la hausse ou à la baisse. Il est tout aussi possible et souhaitable de choisir les sociétés dans lesquelles on veut investir. Il s'agit là de prévisions sur leurs performances à venir qui dépendent pour beaucoup de la capacité de leurs dirigeants à prévoir. Tout ceci n'a rien à voir avec un jeu de pile ou face. Quant aux tendances décalées par les analystes « techniques », elles peuvent être décelées par tout investisseur bien informé qui sait se placer ou vendre au bon moment.

G. LE FLOCH, Hennebont

Réponse de Christian Walter

Les évolutions des cours boursiers ne sont pas dues au hasard. Mais la question de la prévisibilité boursière est différente : il faut bien distinguer la prévisibilité des dividendes futurs de la prévisibilité des cours eux-mêmes. Les bons choix de titres s'effectuent à partir des prévisions de dividendes futurs. Mais la façon dont ces prévisions influencent les cours boursiers est très compliquée. Les analystes techniques ont proposé des méthodes essentiellement graphiques, trop simples pour la complexité des marchés. Elles sont trop simples car elles ne différencient pas une variation boursière réelle d'un tirage aléatoire simulé par un jeu de pile ou face. Quant à Bachelier, il ne postulait l'imprévisibilité radicale que pour les cours « hors dividendes » ou « pied de coupon » (qu'il appelle « cours vrai »). Ce qui ne remet pas en cause la capacité à réaliser de bonnes performances par de bonnes prévisions de dividendes, attitude qui correspond au comportement de l'investisseur walrasien, par opposition à celui du spéculateur keynésien (voir *Pour la Science*, mai 1997).

Loi de Murphy

Toute personne ayant utilisé un râteau a constaté qu'il revient quasi systématiquement en position dents hautes lorsqu'on l'abandonne au sol. Cette position entraîne le pivotement du manche vers la tête du malheureux qui pose le pied sur la

partie basse. Cette fatalité ne serait-elle pas une expression de la loi de Murphy ?

La forme de l'outil est responsable à la fois du pivotement et de l'étrange insistance avec laquelle il se retrouve en mauvaise position. Lorsque le râteau est lâché après utilisation, le centre de gravité se trouve, si le manche est proche de la position verticale, décalé du côté opposé des dents.

S'agit-il d'une mauvaise conception historique du râteau ou de quelque chose de plus fondamental ? Il est difficile de concevoir un outil rendant les mêmes services et moins dangereux : une courbure du bas du manche ou une inclinaison des dents le rendrait peu maniable, une disposition symétrique ne réglerait rien et un lestage en alourdirait le manie- ment. Par ailleurs, la longueur du manche est évidemment du même ordre de grandeur que la taille de l'utilisateur, ce qui place inévitablement son visage sur la trajectoire de l'extrémité.

Christian CUSSET, Montbrison

Défense (para)normale

Dans l'article mentionné par Didier Nordon (voir *Bloc-notes*, *Pour la Science*, février 1997) et contesté par plusieurs lecteurs (voir *Tribune*, *Pour la Science*, avril 1997), je n'ai pas affirmé l'existence des phénomènes dits paranormaux, ni « sommé » la science de se mettre à leur étude. J'ai simplement pointé que le rejet dont ils sont l'objet est insoutenable, au regard des principes qui régissent aujourd'hui l'anthropologie. Me gardant de considérer la science comme une « entité abstraite », et les chercheurs comme des « autorités tutélaires », je me suis simplement efforcé d'analyser les arguments et les mécanismes institutionnels qui contribuent à ce rejet. Et j'attends de pied ferme ceux qui parviendront à justifier une telle clôture au nom du principe d'ouverture de la science. Mes deux contradicteurs s'inscrivent dans cette tradition.

P. Debusschere, qui confond habilement la parapsychologie et les « sciences occultes », soutient l'argument *a posteriori*. Les métapsychistes ayant été convaincus de naïveté et de fraudes, il importe de protéger la vraie science, la science ouverte, de ces billevesées, et d'empêcher d'autres chercheurs d'aller s'y fourvoyer. Tout le problème est de savoir si la chose a bien été jugée, avec la sérénité et la persévérance qu'exige un problème de cette nature. Je tiens qu'il n'en est rien, que P. Debusschere ne fait que monter en épingle quelques cas particuliers et qu'il en faudrait plus pour

disqualifier un dossier de cette ampleur. Mais allons plus loin : quand bien même il y aurait plus de fraudes que P. Debusschere ne le pense, cela ne justifierait toujours pas la fin de non-recevoir massive qui est adressée à la question métapsychique dans son ensemble. L'argument selon lequel on ne peut laisser les chercheurs dépenser les fonds publics à la recherche de coquecigrues ne tient pas : même quand ils travaillent sur fonds privés, même quand ils ne demandent rien à l'institution, les parapsychologues font l'objet de violentes attaques.

G. Klein, lui réduit la question à sa plus simple expression : il n'y a ni chercheurs, ni objet. S'il n'y a pas d'objet, c'est qu'il n'y a pas de chercheurs capables de le constituer ; et s'il n'y a pas de chercheurs, c'est qu'il n'y a pas d'objet, l'étrange ne pouvant en constituer un. Avec de tels arguments, on pourrait aussi bien démontrer *a priori* l'impossibilité d'apprendre à nager : comme le pointait Bergson, pour ce faire, il faut déjà pouvoir s'étendre sur l'eau, et donc déjà savoir nager. C'est précisément l'argument que je développais dans mon article d'*Alliages* : des chercheurs, il y en a eu, de nombreux, d'importants, et toute la question est de savoir pourquoi il n'y en a plus. Dira-t-on que la chose a été jugée ? On retombe dans l'argument précédent. Dira-t-on encore que cette recherche a déçu ses adeptes, qu'il l'auraient abandonnée d'eux-mêmes ? On ne trouve nulle trace de cette déception dans leurs écrits, mais, bien au contraire, la conviction sans cesse réitérée de la richesse potentielle de leurs travaux. Il serait plus juste de dire que la rumeur selon laquelle la chose a été jugée, avec le temps, s'est solidifiée en vérité officielle, ce qui dispense les chercheurs de 1997 de revenir sur le dossier.

Quant à l'argument selon lequel l'étrange ne constitue pas un objet, il n'y a pas un parapsychologue qui n'y souscrirait, ou, plutôt, qui n'y aurait souscrit, car hélas, de ces choses, il faut désormais parler au passé, en France tout au moins. Les métapsychistes n'ont jamais étudié la catégorie floue de l'« étrange », mais des objets construits et nettement découpés.

Bertrand MÉHEUST, Mézilles

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. Retrouvez la *Tribune* sur l'Internet à <http://www.pourlascience.com> et envoyez-nous vos messages.

Science et intégrisme

CLAUDE TAÏEB

La science est-elle le terreau qui nourrit et sur lequel fleurit l'intégrisme ?

Nous avons en tête le conflit entre Galilée et l'Église catholique. L'affaire Galilée est la représentation symbolique de l'opposition entre la science rationnelle, fondée sur des faits observés et des déductions, et les lois religieuses imposées comme des dogmes. Galilée est le symbole d'une pensée libre dégagée des traditions et des idées reçues. L'éducation scientifique avait, croyait-on, la puissance et la gloire de former les esprits à la distinction entre foi et connaissance.

Le modèle, pour rationnel qu'il soit, n'est plus actuel. Faouzia Charfi, lauréate de la médaille Rammal*, et directrice de l'Institut Préparatoire à l'Enseignement Scientifique et Technique de Tunis, a noté, dans son discours prononcé lors de la remise du prix, que c'est dans les établissements d'enseignement scientifique que les extrémistes religieux sont les plus présents. Cette réalité paradoxale, constatée dans les années 1980 en Tunisie, a été confirmée depuis dans d'autres pays de langue arabe. Au grand étonnement des observateurs qui pensaient que l'enseignement scientifique, par définition rationnel, «devait vacciner les jeunes contre l'extrémisme.»

Si les résultats scientifiques sont établis et vérifiés par des méthodes rationnelles, l'enseignement des sciences est dogmatique, explique Faouzia Charfi.

«Les sciences humaines, la littérature, la philosophie permettent d'avoir une vue globale des problèmes, dans le temps, à travers l'histoire des idées et des événements, et dans l'espace, par l'étude comparative des différentes civilisations. Ces disciplines favorisent une certaine ouverture d'esprit. L'enseignement des disciplines scientifiques, même lorsqu'il est correctement mené, a ses limites. Il ne suffit pas pour transmettre le message de l'universalité des valeurs, universalité qui est pourtant dans l'essence même du discours scientifique.

De plus, la facilité avec laquelle on peut s'adapter à un monde où la techno-

logie est présente partout est trompeuse, car cette adaptation peut se faire sans une réelle appropriation de la science moderne tant que l'on est consommateur. D'où l'illusion, pour un observateur étranger, d'une adaptation à la modernité. Cet état d'esprit qui consiste à exploiter les produits du développement technique, sans admettre tous les fondements théoriques de la science, fruits des révolutions scientifiques occidentales, amène des contradictions.

Je peux citer, par exemple, des objections de certains de mes étudiants contestant la vitesse finie de la lumière et prétendant que la théorie d'Einstein était erronée. Ils ne s'attaquaient pourtant pas à la théorie de Maxwell et acceptaient le formidable développement des moyens de communication. Ils étaient ainsi amenés à adopter partiellement une théorie, ce qui la rend incohérente, mais cela leur permettait de préserver la vision qu'ils avaient du ciel.

Une démarche rationnelle consisterait à proposer une autre théorie qui soit cohérente, ce qui nécessiterait une analyse des principes sous-tendant les théories et de leurs relations, et non un simple rejet de certains d'entre eux. Pour un tel travail, il faut un esprit libre, délivré de toutes contraintes. C'est cet esprit que doivent avoir les futurs cadres de la Tunisie.»

LA SCIENCE : UNE PAROLE SACRÉE ?

Lourde évidence : l'enseignement scientifique apporte une parole sacrée que l'étudiant ne peut contredire par des expériences ou des théories autres. L'enseignement des sciences n'applique pas les préceptes de ses propres disciplines.

L'Institut tunisien a élargi son enseignement scientifique pour y englober réflexions et débats. Nombre de ceux-ci portaient sur les relations entre science et religion. Comment, par exemple, pouvait-on expliquer et concilier que les heures des prières soient tirées d'éphémérides issues de calculs scientifiques

alors que les dates de certaines grandes fêtes religieuses soient encore liées à l'observation visuelle de l'apparition du croissant lunaire.

Lors de ces «Mercredis culturels» ouverts au public, créateurs, artistes, hommes de théâtre, réalisateurs de films font part de leurs passions et de leurs convictions ; les conférenciers participent à la transmission du savoir et au développement de la réflexion.

«Certains problèmes de société ont été abordés lors de conférence sur l'avenir de la ville ou sur le statut de la femme, à l'occasion de la Journée mondiale de la femme. L'étude des *Mémoires d'Hadrien*, de Marguerite Yourcenar, fut le prétexte d'organiser une conférence sur «Hadrien et l'Afrique», présentée par deux chercheurs, l'un épigraphiste, le second spécialiste de l'histoire monétaire de l'Afrique antique. Les conférenciers ont retracé l'histoire prestigieuse de la Tunisie antique.

Le problème de l'identité, problème si sensible dans nos pays, a été abordé d'une manière très libre et parfois provocante dans le cadre d'une conférence sur «l'écriture de soi». Malgré ce caractère provocateur, le débat, qui était riche, a été calme et serein. Car la question de l'identité se pose dans notre pays de façon de moins en moins aiguë, dans la mesure où la Tunisie se réconcilie avec son histoire, qui a été successivement berbère, punique, romaine, vandale, byzantine, musulmane et arabe. Cette diversité traduit les multiples rapports que la Tunisie a toujours eus avec l'ensemble des peuples méditerranéens. Intégrer ces différentes composantes est pour le Tunisien un facteur d'ouverture sur autrui et une leçon d'universalité.»

Le Tunisien est-il si différent ? Les réflexions de Faouzia Charfi ne sont-elles pas adaptables à notre enseignement ? Les déviations sont, en France, plus technocratiques, mais tout aussi réelles. Où sont les réflexions sur l'intérêt et les valeurs de la science dans nos Universités ?

«La mission de notre institut, commente Faouzia Charfi, ne se limite pas à donner aux étudiants une bonne culture scientifique, mais aussi à leur offrir le droit à l'édification de leur personnalité et les aider à accéder par eux-mêmes à la maturité, de sorte qu'ils soient élevés dans les valeurs de la tolérance et de la modération.»

**La médaille Rammal a été créée par la Société française de physique et la Fondation de l'École normale supérieure afin d'honorer la mémoire du physicien libanais prématurément disparu, R. Rammal (1951-1991), qui fit en France ses études supérieures et la majeure partie de ses travaux de recherche.*

Les inattendus du développement

ALAIN PROCHIANZ*

La compréhension du développement individuel éclaire les mécanismes de l'évolution et, ce faisant, ouvre des voies thérapeutiques.

La biologie du développement est en plein... développement : la découverte des gènes de développement a ouvert un nouveau champ à la théorie biologique.

La théorie de l'Évolution nous avait enseigné que nous avions un ancêtre commun avec des êtres très éloignés, comme la mouche et le vermineau. Les biologistes ont identifié les vecteurs de la transmission des formes, unifiant ainsi les théories de l'Évolution et du développement.

DE L'HOMONCULUS AUX GÈNES

Comment s'effectue le transfert d'individu à individu ? La théorie de l'homonculus, développée par Charles Bonnet au XVIII^e siècle, reprenait un principe alchimiste : le spermatozoïde, selon les spermistes, l'ovule, pour les ovistes, contenait, disait Bonnet, une figuration du corps. Ce corps, présent dans le spermatozoïde, avait lui-même des spermatozoïdes, qui contenaient eux-mêmes un petit corps, qui... etc.

Théorie séduisante que celle des emboîtements de l'homoncule ! Il suffisait de créer le monde une fois et puis la reproduction allait son « petit bonhomme » de chemin. Le développement était, en suivant cette métaphore, un développement au sens photographique, un agrandissement.

***Alain PROCHIANZ est professeur de biologie du développement à l'École normale supérieure. Ce texte, recueilli lors du débat enregistré, avec Émile Noël et Philippe Boulanger, au Palais de la Découverte a été mis en forme par la rédaction de Pour la Science. Ce débat sera diffusé sur France Culture, le 11 juin 1997 à 9h 05.**

Alain PROCHIANZ, *L'anatomie de la pensée : à quoi pensent les calamars ?* Éditions Odile Jacob, 1997.

Cette magnifique construction, théologiquement satisfaisante, a été pulvérisée par l'observation : le développement, tel qu'observé au microscope, n'est pas un agrandissement, mais une suite de duplications. Une cellule, deux cellules, quatre cellules, huit cellules, etc. Ces cellules avaient une vie propre, bougeaient, se différenciaient, mouraient. Aux oubliettes, l'homonculus. Et pourtant, notait Balbiani, un biologiste suisse du XIX^e siècle, d'un œuf de poule, il sort une poule, donc il y a « de » l'homonculus dans l'œuf. Parallèlement, la toute neuve théorie de l'Évolution invoquait la sélection de caractères, plus tard celle de mutations : quel était le support des mutations ?

À l'Université Columbia, Morgan, au début du XX^e siècle, accumule des mutations chez la drosophile, la mouche du vinaigre, qui devient objet de prédilection pour les généticiens, ce qui conduisit à observer des mutations qui transforment un organe en un autre. La mouche, au lieu d'avoir des antennes, avait des pattes supplémentaires ; au lieu d'un œil, il lui poussait une aile. Grâce à ces mutations, on put relier modification du génome et transformation morphologique. Ce sont ces gènes qui passent la forme de génération en génération.

Un inattendu est que tous ces gènes morphogénétiques se ressemblaient beaucoup ; on les a retrouvés chez les vertébrés, on les a trouvés chez *Homo sapiens*, on les a comparés aux gènes de mouche et on a établi les similitudes extraordinaires qui ont permis de repenser les arbres généalogiques : la preuve était patente, nous avons un ancêtre commun avec la mouche, qui vivait il y a 600 millions d'années.

Les gènes sont les avatars de l'homonculus : ils transmettent l'information lors de la duplication. Il en existe plusieurs types. Les gènes qui déterminent la forme du nez, la couleur des yeux, la texture des cheveux, frisés ou raides, n'ont qu'une portée génétique limitée. La deuxième

catégorie de gènes, les gènes de développement, sont plus fondamentaux : ils caractérisent et déterminent l'espèce.

Ces gènes diffèrent selon les espèces, plus par leur nombre sur un même chromosome que par leur structure. Le plan de développement des vertébrés comporte quatre complexes de gènes dits complexes *Hox*, l'arthropode un seul ; toutefois, si l'on prend un de ces gènes chez la souris et qu'on le substitue au gène équivalent chez l'embryon de mouche, la mouche se porte le plus souvent comme un charme. La fonctionnalité de ces gènes a perduré, quasi inchangée pendant des centaines de millions d'années : la transmission de l'information génétique est d'une étonnante fiabilité. Le mécanisme de cette immuabilité restait à préciser : ce sera l'accomplissement de la biologie moléculaire.

L'espèce est l'enveloppe générale où prend place un développement individuel. Nous sommes limités par l'appartenance à l'espèce : c'est l'inné. L'inné étant déterminé par les gènes, il y a autant d'individus différents qu'il y a d'histoires individuelles possibles. Cette diversité naît des différences d'expression des gènes, résultant de l'interaction de l'individu avec le milieu. Dans le phylum des vertébrés et donc chez l'homme, cette diversité est infinie, mais, pour infinie qu'elle soit, elle est néanmoins contenue par le fait qu'on soit un homme. *Homo sapiens*, c'est l'inné, ensuite vient l'acquis qui donne Dupont, Mozart, Marie Curie, Hitler, Prochiantz, Noël, Boulanger. Nous reviendrons sur ce point.

POURQUOI DARWIN ET PAS CLAUDE BERNARD ?

J'ai une grande sympathie pour Claude Bernard et je lui ai consacré un livre. Il est le promoteur d'une idée force que nous exploitons encore : l'animal n'est pas une machine thermodynamique isolée, mais un corps vivant, hors d'équilibre, qui interagit avec son environnement. Et pourtant il passe à côté de l'évolution et du développement.

Contemporain de Darwin, Claude Bernard lit *De l'origine des espèces*, mais les ailes du positivisme, par lui déployées, l'empêchent d'avancer. Claude Bernard élude la question parce qu'il ne peut expérimenter sur ce qui modifie la forme des organismes.

Replaçons-nous à son époque. Les naturalistes pensent alors qu'il y a deux règnes dans la nature : le règne végétal et le règne animal. Les végétaux, immobiles, s'alimentent et reconstituent leurs réserves à partir des minéraux. Les réactions chimiques nécessaires à l'organisation végétale sont déclenchées par la

lumière. Les animaux, prédateurs absolus parce qu'ils peuvent se mouvoir, se nourrissent de végétaux et d'autres animaux, mais, *in fine*, puisent l'énergie dans le végétal chargé de transformer le minéral en organique, en organisé.

Claude Bernard cherche chez l'animal, l'organe, la chaudière qui est alimentée par le sucre végétal. Pour cela, il injecte du sucre de canne dans des lapins, puis il mesure à quelle vitesse le sucre est brûlé dans la chaudière, le foie. Il fait deux mesures en sortie du foie. Lors de la première mesure, le sucre a disparu : le foie a donc consommé, brûlé, le sucre. Une seconde mesure, immédiatement après la première, confirme les chiffres et la théorie thermo-mécaniste.

Un soir, ne doit-ils pas accompagner à l'opéra son égarée, la belle Madame Raffalovitch ? Claude Bernard est en retard. Il abandonne le lapin sur la table de laboratoire. Le lendemain matin, Claude Bernard relève la concentration de sucre, qu'il trouve supérieure à la précédente, le foie a sécrété du sucre ! Tout à fait inattendu. De cette surprise allait naître la physiologie expérimentale.

Un moins grand génie se serait contenté de faire la moyenne. Claude Bernard répète l'expérience, et le résultat se confirme : un animal peut produire du sucre, comme le végétal canne à sucre. La seconde mesure a introduit le facteur temps. Entre la première et la seconde mesure quelque chose a changé.

Sur la base de cette expérience unique démontrant la fonction glycogénique du foie, Claude Bernard réexamine la constitution et les possibilités du milieu intérieur animal. Rayonnement de la pensée d'un génie qui repense le monde à la lueur d'une mesure incongrue. Émerveillé des conséquences de sa découverte, Claude Bernard s'interroge pendant le reste de sa vie sur les conditions de sa réussite. Il ne s'en remet jamais.



Le docteur Faust, et ses continuuateurs, étudiant l'homonculus.



Nous sommes de la matière, mais de la matière vivante, qui se développe, qui se reproduit, qui se crée au fur à mesure qu'elle se détruit, explique Claude Bernard. Sa pensée ouvre une voie physiologique et... animale, non sans combat entre une anatomie vitaliste, celle de Bichat, pour qui la vie était l'ensemble des forces qui s'opposent à la mort, et un réductionnisme physico-chimique, illustré par von Helmholtz, pour qui n'existent que les lois de l'action et de la réaction. Claude Bernard s'inscrit en faux contre ce vitalisme et ce réductionnisme : la

vie, proclame-t-il, c'est autant une destruction qu'une création. Un organisme est plus qu'une machine thermodynamique transformant un carburant en matière. La vie a sa dynamique propre et ses lois spécifiques qui organisent la matière moléculaire. Il y a donc un plan.

Mais Claude Bernard ne peut, ni ne veut, aller plus loin. Il n'accorde à la théorie de l'Évolution d'autre crédit que poétique. En positiviste convaincu, il s'interdit les divertissements littéraires... des philosophies romantiques, des Darwin, Goethe, Geoffroy Saint-Hilaire.

Dans le grand débat à l'Académie des sciences qui oppose Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire en 1830, ce dernier défend l'idée qu'il y a un plan commun d'organisation entre les arthropodes et les vertébrés. Les segments de la carapace des arthropodes sont l'équivalent des vertèbres des vertébrés affirme Geoffroy Saint-Hilaire, qui poursuit ses analogies en identifiant le système nerveux ventral de la langouste à celui des vertébrés. Remarque culinaire : quand vous préparez un crabe mou, faites-le cuire sur le ventre : il meurt plus vite, il souffre moins, car le système nerveux est sur le ventre. Sur le dos, le système nerveux du crabe est moins vite détruit, et l'ani-



mal agite désespérément ses petites pattes pendant plus longtemps.

Il y a un plan d'organisation commun entre le système nerveux des vertébrés et des invertébrés, affirmait Geoffroy Saint-Hilaire. Cuvier rejetait péremptoirement ces vaticinations. Comme futur ministre de l'Intérieur, Cuvier avait peut-être déjà tendance à faire la police ; ses interdits, en tout cas, étaient écoutés.

La découverte des gènes de développement, identiques chez les invertébrés et chez les vertébrés, a donné raison à Saint-Hilaire. Cuvier, tout puissant qu'il était, ne pouvait étendre son pouvoir à l'intérieur du corps. Mais Claude Bernard résiste obstinément à ce qu'il pense une perversion, car il ne pouvait établir la preuve expérimentale de cette évolution. On ne le peut toujours pas, et on ne le pourra sans doute jamais. Toutefois, nous savons pourquoi nous en sommes incapables.

Il n'empêche : notre philosophie scientifique est le positivisme, et nous sommes troublés par l'imprévisibilité de l'évolution. Si l'on repassait le film de l'évolution à partir du début, on aurait probablement d'autres formes animales, d'autres formes végétales. La biologie nous permet seulement de comprendre les règles universelles qui élaborent l'imprédictible.

L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME NERVEUX

Revenons à nos deux règnes : le «système nerveux» des plantes, c'est la chlorophylle. Les animaux en sont dépourvus : ce sont des prédateurs qui se déplacent pour trouver leur nourriture. Tout ce qui va dans le sens du mouvement, va dans le sens du développement du système nerveux.

Bien entendu, ce système nerveux se perfectionne. Dans le système nerveux des mouches, il y a des ganglions, présents dans chaque métamère. Le ganglion a un gros désavantage : quand la taille du système nerveux augmente, la taille de la boule (le ganglion) croît, et la boule devient vite encombrante. De surcroît, le centre de la boule doit être irrigué. Le système ganglionnaire est le handicap des invertébrés.

Les vertébrés ont inventé une géométrie plane plus adéquate. Le système nerveux des vertébrés est un plan situé à la surface de l'embryon et qui s'invagine en un tube nerveux s'étendant de la moelle épinière au cortex. Vous pouvez plisser un plan et, ainsi, mettre une surface de plus en plus grande dans un volume restreint. De ce fait, vous augmentez la surface du système : le pli est une superbe invention de l'évolution, apparue avec les ver-

tébrés. Le cortex d'*Homo sapiens* a trois millimètres d'épaisseur et deux mètres carrés de surface. Chez la souris, l'épaisseur est de deux millimètres ; la différence est mince. La circonvolution cérébrale, c'est le pli, la façon de mettre de plus en plus de surface dans une boîte de taille limitée.

La surface totale n'est pas le seul paramètre évolutif. Chaque modalité sensorielle et cognitive accapare une place proportionnelle à son importance pour l'individu. Des fonctions nouvelles s'accompagnent d'un ancrage cérébral. Chez un mammifère très primitif, l'ornithorynque, le cerveau est essentiellement consacré au sensori-moteur. Les systèmes nerveux plus évolués ont complexifié l'arc réflexe : la montée au cerveau du signal permet de réfléchir avant d'agir. Et toujours pour bouger, récupérer de la nourriture, fuir un prédateur, se rapprocher de l'objet ou de l'individu désiré. À mesure que les gènes de développement responsables de la génération de ces neurones s'expriment plus longtemps, l'aire des surfaces spécialisées augmente. Au cours de l'évolution des mammifères, on note l'accroissement des zones de l'olfaction, de l'audition, de la vision, et les aires dites associatives, cognitives, qui permettent, par exemple, de se souvenir, de réfléchir avant d'agir.

Les aires du langage, qui sont apparues en dernier chez *Homo sapiens*, accroissent infiniment sa capacité d'interaction avec le monde et donc les possibilités d'acquisition. Ce qui est transmissible génétiquement d'homme à homme, c'est la possibilité accrue d'acquiescer. Une autre forme de mémoire est culturelle : elle survit à la mort de l'homme ou de la civilisation. Le langage nous a conféré un avantage déterminant pour la transmission de la culture. Le langage a sorti l'homme de la nature. La nature de l'homme, c'est de l'avoir surpassée.

CE SONT LES CORPS QUI PENSENT

On a travaillé sur la pensée avant de connaître les détails de l'organisation cérébrale. Philosophes, anthropologues, sociologues, psychanalystes ont travaillé sur les catégories de la pensée dans leur domaine, dans leur champ de savoir, tous aussi respectables que la biologie.

Qu'apporte la biologie ? Le biologiste examine les conditions biologiques nécessaires à telle ou telle forme de pensée. Pour le biologiste, la pensée est une adaptation au milieu. La pensée n'est pas déposée quelque part, elle est le rapport entre le corps vivant et son environnement.

Existe-t-il une pensée animale ? Le calamar pense-t-il ? Le calamar est un organisme tout à fait étonnant. Lorsqu'il rencontre une dame calamar, il rosit. Il trahit son émotion. Quand un calamar rencontre un prédateur, il lui crache de l'encre à la figure. Il fuit à toute vitesse, il se cache. Je doute cependant que le calamar ait conscience qu'il pense. Sa pensée est instinctive, elle est adaptée – les calmars qui en sont dépourvus meurent –, elle n'est pas réfléchie.

Au cours de l'évolution, d'autres formes de pensée apparaissent. Chez l'homme, il y a une pensée de ce type réflexe, bien sûr, mais en même temps, une pensée autre est liée à l'adaptation de l'individu ; des stratégies de développement lentes permettent que l'adaptation ne soit pas au niveau de l'espèce, au niveau de la formation de la sélection de clones, mais au niveau de l'individuation.

Changez de milieu un animal qui se reproduit très vite, par exemple un petit ver ou une petite mouche : presque tous les vers, la quasi-totalité des mouches vont périr, sauf quelques-uns qui sont génétiquement adaptés au nouveau milieu, et ceux-là vont se reproduire et envahir le biotope, par sélection clonale. Il n'y a pas d'individu au sens où, nous, nous parlons de l'individu. Il y a un tout petit peu d'individuation chez les invertébrés, mais, néanmoins, l'adaptation se fait par sélection de clones.

Au cours du développement, l'individu homme s'adapte parce que le temps de son développement cérébral est prolongé à l'infini. L'adaptation se fait par individuation, et c'est cela la pensée distincte. Nous sommes des individus sociaux extrêmes, puisque tout nous pousse à l'individuation, en particulier nos rapports sociaux. *Sapiens sapiens* est une forme extrême du processus d'individuation.

Pouvons-nous extrapoler et concevoir un extrême au-delà de cet extrême ? Un *Sapiens sapiens sapiens sapiens* je ne sais combien de fois ? Question intéressante, mais comment y répondre ? Je place *Homo sapiens* au sommet de l'échelle animale, à cause de l'invention du langage. Je ne crois pas, je ne pense pas (c'est une croyance et non un fait de science) que la sélection naturelle puisse avoir encore des effets sur l'évolution d'*Homo sapiens*. Imaginons que la Terre devienne plus chaude ou plus froide à cause des cycles climatiques ou de l'effet de serre. Il me semble que l'homme s'adaptera par ses inventions technologiques et pas par des mutations favorables. Le vêtement, l'air conditionné ou la fabrication de machines particulières seront une réponse beaucoup plus rapide et plus efficace à des défis de ce genre que la mort de 99

pour cent de l'humanité et la sélection génétique de un pour cent ou de un pour mille qui serait mieux adapté aux nouvelles conditions.

L'APOPTOSE INATTENDUE

Pour construire un organisme, on pense à une perpétuelle incrémentation, en termes d'ajouts successifs. Il n'en est pas ainsi. Le phénomène de mort de cellules est essentiel, en particulier dans la construction du système nerveux. Au cours des phases de développement, nous perdons, selon les régions du système nerveux, entre 20 et 80 pour cent des cellules. Le processus est l'apoptose : la mort cellulaire est une différenciation comme une autre, sauf qu'elle entraîne la mort de la cellule dans laquelle ces gènes de mort cellulaire sont, tout à coup, exprimés.

Chez un invertébré, les cellules sont programmées pour mourir. Chez un vertébré, elles mettent en route les programmes de mort en réponse à des signaux extérieurs. Les premiers gènes d'apoptose ont été découverts chez le nématode, un petit ver de 1 000 cellules, dont environ 300 neurones. On sait précisément quand une cellule va disparaître : tel neurone va mourir à tel moment, tel autre à tel moment, et cette fatalité est immuable. L'inattendu est qu'il n'y ait aucun inattendu.

Les biologistes ont identifié des gènes universels de l'apoptose, identiques chez les vertébrés et les invertébrés. Un d'entre eux est très intéressant, il s'appelle *bcl-2* chez les vertébrés et *ced-9* chez le nématode. Vous pouvez remplacer le gène *ced-9* du nématode par le gène *bcl-2* de l'homme sans aucun effet apparent. En revanche, la surexpression de *bcl-2* chez l'homme provoque des tumeurs, en particulier des tumeurs du système immunitaire.

Un organisme, on retrouve ici Claude Bernard, est un perpétuel contrôle de la croissance et de la mort des cellules. Une prolifération cellulaire est un dérèglement néfaste : des leucémies résultent d'hyperproliférations de cellules, d'autres sont dues au fait que certaines cellules «oublient» de mourir. Chez l'homme et le nématode, ce sont les mêmes gènes déviants qui oblitérent la mort cellulaire et mettent en péril la survie de l'individu. Cette identification ouvre des voies thérapeutiques : si l'on observe une pathologie intéressante chez le ver ou chez la mouche, on peut trouver les gènes humains correspondants qui sont responsables du même type de maladie.

D'où l'intérêt, immense et partiellement incompris, de la recherche fonda-



Claude Bernard (1844-1925), dans son laboratoire au Collège de France, en 1889.

mentale... sur le nématode ou d'autres organismes simples. Les malheureux biologistes qui travaillaient sur ces drosophiles ou sur ces vers – et dont certains se moquaient –, ont apporté beaucoup plus à la médecine que les grands programmes de recherche médicale. Le remède des maladies humaines passera souvent par l'étude du nématode ou de la mouche ou d'autres organismes simples comme la levure ou la bactérie, boîtes à outils du biologiste.

La médecine n'est pas assez à l'écoute de la biologie : nous vivons un lyssenkisme rampant. Le rythme de la science est par trop soumis à l'urgence des impératifs de santé, à une contrainte économique mal orientée.

Rappelons-nous Lyssenko. Le pouvoir soviétique accusait les généticiens de trop s'occuper des poils des mouches et pas assez des rendements du blé. Les généticiens qui n'acceptaient pas ce reproche étaient remis sur la bonne voie, vers la Sibérie. L'agriculture soviétique a payé cette façon de travailler dans l'urgence. Elle en pâtit encore.

N'est-il pas terriblement injuste d'accuser les scientifiques d'ignorer la demande sociale ? Qui ne voudrait découvrir le traitement du cancer ? Mais comment les scientifiques pourraient-ils satisfaire la demande technologique, ignorer les leçons de leur discipline ? Le chemin de la découverte n'est pas balisé, les grands programmes sont souvent une illusion volontariste permettant à des scientifiques de médiocre envergure d'assouvir leur soif de pouvoir. Il faut des programmes, bien entendu, mais la découverte scientifique n'est pas programmable, et son efficacité ne passe pas par un asservissement à la demande.

L'INATTENDU DANGEREUX

Comment, dans sa pratique, le scientifique traite-t-il l'inattendu ? Il est des inattendus qu'il hésite à divulguer dans la mesure où, incompréhensibles, ils sont peu crédibles. Vous me le demandez ! Oui cela est arrivé dans mon laboratoire. Nous avons observé, il y a bientôt dix ans, qu'une protéine traversait les membranes cellulaires. Cette protéine, qui est un facteur de transcription, aurait dû rester dans le noyau. Je ne sais pas encore si cette particularité a un sens biologique ou physiologique, car nous n'avons pas encore mis le phénomène en évidence dans l'animal entier, seulement en culture. Mais, du coup, nous avons identifié certaines propriétés moléculaires nécessaires à la traversée d'une membrane, qualités importantes pour envoyer un principe actif à l'intérieur d'une cellule : nous avons fabriqué un outil utile. Cependant notre sentiment est que l'essentiel nous échappe encore : aussi ne puis-je me prononcer sur l'importance de l'observation.

La découverte naît de l'inattendu interprété. Si vous testez une hypothèse et que le phénomène reproduit exactement ce que vous supposiez, les résultats ont sans doute peu d'intérêt : ils étaient dans les prémisses. Quand l'inattendu arrive, vous pouvez le glisser sous le tapis et oublier ce qui ne colle pas, en le baptisant artefact ; 999 fois sur 1000, c'est un artefact. Une fois sur 1 000, il faut prendre le risque d'y consacrer du temps. C'est dangereux : vous y passez du temps, de l'argent, vous engagez des étudiants, vous risquez des carrières. Toutefois, si à chaque fois que vous observez quelque chose qui ne colle pas, vous l'oubliez, votre recherche ronronnera.

La malédiction du tyrannosaure

ERIC BUFFETAUT

Un chercheur de fossiles est en prison : ne voulait-il pas s'approprier le résultat de ses fouilles ?

Pour être un saint, il ne faut pas aspirer au martyre. Peter Larson est un martyr en prison. Mais ce n'est pas un saint : il recherchait l'objet, *Tyrannosaurus rex*, pour lequel il est emprisonné.

Tyrannosaurus rex compte parmi les plus célèbres des dinosaures. Ce très grand carnivore, qui atteignait une douzaine de mètres de longueur, vivait dans l'Ouest de l'Amérique du Nord il y a un peu plus de 65 millions d'années (il fut l'un des derniers dinosaures). Le premier spécimen fut découvert par le paléontologue américain Barnum Brown, dans le Montana, en 1902, et permit à Henry Fairfield Osborn, de l'*American Museum of Natural History*, à New York, de définir un nouveau dinosaure auquel il donna le nom impressionnant de *Tyrannosaurus rex*. Avec la découverte en 1908, toujours par Brown et toujours dans le Montana, d'un second squelette plus complet, les paléontologues reconstituèrent l'ensemble du squelette de l'animal et, en 1915, le premier squelette monté d'un tyrannosaure devint une des principales attractions de l'*American Museum*.

Tyrannosaurus rex est l'une des stars du monde des dinosaures : il est reconstitué (de façon plus ou moins convaincante) par d'innombrables artistes, figure dans tous les livres consacrés aux animaux disparus, et tient un rôle de choix dans plusieurs films, de *King Kong* à *Jurassic Park*.

Cette popularité, liée à la taille énorme et à la férocité probable de l'animal, ne doit pas faire oublier que l'on ne connaît qu'un nombre restreint (guère plus d'une douzaine) de squelettes de *Tyrannosaurus rex*, généralement incomplets. Cette combinaison de relative rareté et de grande popularité explique que la découverte d'un nouveau spécimen soit un événement.

Surtout dans l'ambiance de «dino-manie» qui règne depuis quelques années aux États-Unis – et ailleurs.

Depuis 1990, un squelette de *Tyrannosaurus rex* a l'honneur de la presse :

il est au centre d'un feuilleton, plus juridique que scientifique, qui a mis en émoi la communauté paléontologique, et qui amène à se poser bien des questions parfois délicates : à qui appartiennent les fossiles ? Qui doit être autorisé à les récolter ? Quelle doit être la destination des spécimens recueillis ? Comment assurer que les spécimens paléontologiques importants puisse faire l'objet d'une étude scientifique sérieuse ?

LA DÉCOUVERTE

L'histoire commence en août 1990, lorsque Sue Hendrickson découvre les ossements d'un tyrannosaure dans les *badlands*, les régions arides ravinées par l'érosion, du Dakota du Sud. Sue Hendrickson travaille pour le *Black Hills Institute of Geological Research*, basé à Hill City, Dakota du Sud. Le *Black Hills Institute* est un organisme privé, dirigé par les frères Peter et Neal Larson et Robert Farrar, leur associé.

L'Institut possède un musée de paléontologie, mais se consacre principalement au commerce des fossiles, activité qui peut être lucrative. Des amateurs plus ou moins fortunés jusqu'aux grands musées du monde entier, les acheteurs potentiels ne manquent pas, et le marché des fossiles, à l'échelle internationale, est florissant. Un squelette de tyrannosaure, tant du point de vue commercial que du point de vue scientifique, est une découverte remarquable.

L'extraction du spécimen trouvé par S. Hendrickson nécessite quelques préalables. À qui appartient le terrain ? Cette question est la source de toutes les péripéties à venir. Le fossile a été découvert sur les terres d'une réserve indienne, celle des Sioux de la *Cheyenne River*. Plus précisément, il se trouve sur le ranch d'un agriculteur, Maurice Williams. C'est avec lui que P. Larson traitera. Contre la somme de 5 000 dollars, il obtient l'autorisation de fouille et, après un mois de travail acharné, son équipe de six personnes extrait des sédiments de la fin

du Crétacé un magnifique squelette presque complet de *Tyrannosaurus rex*, apparemment le plus grand jamais découvert. Il est surnommé Sue en l'honneur de sa découvreuse. Le squelette est transporté au *Black Hills Institute*, où la longue et méticuleuse préparation des ossements, qu'il faut extraire délicatement de leur gangue, commence. Le but final, aux dires de P. Larson, est de présenter le squelette dans le musée du *Black Hills Institute*, dont il serait le fleuron.

Les difficultés commencent, pour P. Larson et ses associés, lorsque le Conseil tribal des Sioux, sur la réserve desquels le squelette a été trouvé, s'interroge sur la propriété du fossile. Découvert sur une réserve indienne, n'appartient-il pas aux Indiens ? M. Williams pouvait-il vraiment donner au *Black Hills Institute* l'autorisation de prélever le dinosaure ? La question est d'autant plus compliquée que M. Williams, pour des raisons de fiscalité, a confié la gestion de ses terres à l'état fédéral. Le Conseil tribal se retourne donc vers ce dernier pour tenter de faire valoir ses droits. Les Indiens allaient-ils remporter dans les *Collines noires*, une nouvelle victoire de *Little Big Horn* ? En 1992 commence une enquête criminelle. Objet du délit : le tyrannosaure *Sue*.

Le problème se complique encore lorsque M. Williams nie avoir vendu quoi que ce soit au *Black Hills Institute*. Les 5 000 dollars reçus correspondaient à l'autorisation de fouille, maintient M. Williams, pas à l'achat du spécimen. Cette interprétation est bien sûr vigoureusement contestée par P. Larson. L'enquête suit son cours, et le 14 mai 1992, 35 agents du FBI investissent le *Black Hills Institute* et saisissent le squelette du tyrannosaure, lequel, encore incomplètement dégagé, pèse quelque dix tonnes !

LIBÉREZ SUE !

Déterminé à récupérer le précieux fossile, le *Black Hills Institute* se lance alors dans une campagne de protestation publique avec pour mot d'ordre «Libérez Sue». Les manifestations contre les procureurs chargés de l'affaire se succèdent. P. Larson et ses associés peuvent tabler sur les sentiments hostiles au gouvernement fédéral de bon nombre d'Américains, et la controverse prend un tour acerbe.

La question de la propriété du tyrannosaure étant décidément complexe, les enquêteurs s'intéressent alors aux autres activités du *Black Hills Institute*. Un des points qui retiennent leur attention est la collecte de fossiles sur des terrains fédéraux. En effet, si la loi américaine laisse les propriétaires de terrains pri-