

Bloc-notes de Didier Nordon

Point de vue : Expertise et recherche
par Pierre Papon

Les impossibles de la météorologie
par Hervé Le Treut



Présence de l'histoire
par Robert Labej

Goût et activité des médicaments

Science et gastronomie :
Vins sans dépôt

Jeu-concours numéro 19 :
Pliage et géométrie

Perspectives scientifiques :

Combien d'emplois perdus?

De Néandertal à Cro-Magnon

Panache fossile

Trop de glutamine

Des toxines aux mini-protéines

Pollution spatiale

Du coton «vert»

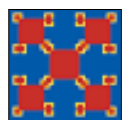
Un contrat de thèse

Les jaunes du Moyen Âge



Logique et calcul,
par Jean-Paul Delahaye

Les commentaires du mathématicien



Visions mathématiques,
par Ian Stewart

Le principe anthropomurphyque

L'image du mois

Le patient parasite de la mante religieuse



Analyses de livres

*La défaite de Platon ou la science
du xx^e siècle,
Méga expériences,*

La vie en catastrophes,

*Guide des sauterelles, grillons et criquets d'Europe
occidentale,*

La propriété intellectuelle dans le domaine du vivant.

Les excès de la pêche en mer

28

par Carl Safina

Les poissons disparaissent des océans parce qu'ils sont trop pêchés. La pêche industrielle moderne devra modifier ses techniques si elle veut subsister.

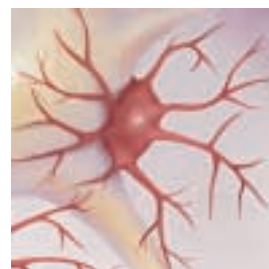


Le système immunitaire du cerveau

38

par Wolfgang Streit
et Carol Kincaid-Colton

Il est formé de cellules microgliales. Normalement protectrices, ces cellules peuvent détruire le tissu cérébral et contribuer au développement de certaines maladies.

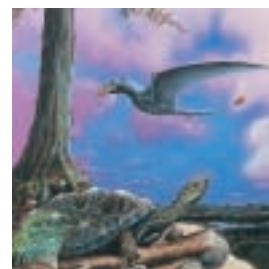


La crise biologique à la transition Trias-Jurassique

46

par Gilles Cuny

Il y a 220 millions d'années, la faune s'est profondément modifiée. Les grands reptiles du Trias ont cédé la place aux dinosaures, et les lignées modernes, dont les mammifères, se sont mises en place.



L'origine des glaciations

56

par Wallace Broecker

Dans le passé, les températures sur Terre ont varié de plus de dix degrés en quelques dizaines d'années seulement. De tels sauts climatiques auront-ils encore lieu?

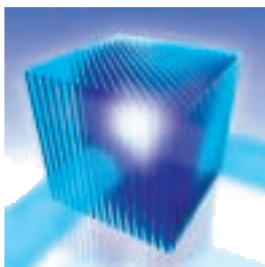


Les mémoires holographiques

64

par Demetri Psaltis
et Fai Mok

Après plus de 30 ans de recherches, les physiciens parviennent à utiliser l'holographie pour le stockage de données dans des mémoires aussi rapides que vastes.



La loi des gènes

72

par Richard Dawkins

La vie n'a-t-elle d'autre but que d'assurer la survie des gènes? C'est ce que semble indiquer un nouvel examen de la sélection naturelle.



La science de la jonglerie

80

par Peter Beek
et Arthur Lewbel

Comment les jongleurs parviennent-ils à lancer et à rattraper balles et anneaux avec tant d'adresse? L'étude de leur activité est utile en psychomotricité, en robotique et en mathématiques.



De Diophante à Fermat

88

par Christian Houzel

Le théorème de Fermat, récemment démontré, a son origine dans des problèmes qui datent du deuxième millénaire avant notre ère.



De source ludique

Un des moteurs de la science est de nature ludique. Il arrive que les scientifiques cachent cette source d'inspiration : il est de bon augure, pour obtenir des crédits, toujours plus rares, de définir avec une cuistrerie pesante des projets de recherche. Ainsi le titre *La science de la jonglerie* (page 80) pourrait se transformer en «Analyse séquentielle des comportements neuromoteurs lors du contrôle de sphères multiples dans un champ gravitationnel». Cela vous aurait une toute autre allure...

L'heure n'est pas à l'humour. En ces temps difficiles, le luxe de critères artistiques est-il permis? Comment argumenter avec raison sur ce point? Peut-être en donnant des exemples, certes un peu éculés, mais qui n'en sont pas moins vrais. Toute la théorie des probabilités est née d'un problème sur le jeu de dés résolu par Pascal. Les questions posées et résolues depuis les Grecs en théorie des nombres ont été mises à profit en cryptographie, le codage de nos cartes à puce en témoignent. Enfin comment ne pas invoquer des références d'autorité : Einstein, Gamow et les meilleurs esprits étaient passionnés de petites questions mathématiques. *A contrario*, nous n'éliminerons pas toute la tristesse du monde par des discours sentencieux. Pourquoi faut-il, en sciences, nous interroger sempiternellement sur la valeur de nos intérêts? Parce que c'est la mode de juger de tout?

Il faut peut-être avoir la stature du mathématicien John Horton Conway pour oser s'intéresser à l'étonnante suite de commentaires engendrée par le nombre 1 : 1, 11, 21, 1211,... (*Les commentaires du mathématicien*, par Jean-Paul Delahaye, page 100). Dans les deux articles cités ici, le regard du scientifique nous transmet une vision originale et plaisante. Cette beauté n'est-elle que dans l'œil du mathématicien entraîné? Aux lecteurs de trancher.

Philippe BOULANGER

Prévisions passéistes

Gouverner, c'est prévoir. Un bon politique doit voir loin. Mais l'astrophysique enseigne que plus on voit loin, plus ce qu'on voit est ancien : il faut le temps à la lumière de voyager jusqu'à nous.

Ainsi se trouve scientifiquement expliqué pourquoi les hommes politiques donnent si souvent l'impression de se cramponner à une vision archaïque de la société, sans percevoir ce qui y surgit de nouveau. C'est que, tous très bons, ils voient tous très loin !

Je te tiens, tu me tiens...

Selon Dominique Vinck «Les croyances scientifiques s'entre-tiennent» (*Sociologie des sciences*, éditions Armand Colin, 1995, p. 109). Jolie trouvaille – en un tiret – pour fustiger un grave travers : chaque science, incapable d'assurer son propre fondement, abandonne ce soin à une autre ; chaque chercheur croit, ou fait semblant de croire, que les résultats admis sans discussion dans son domaine sont justifiés par quelque autre spécialité – qu'il ne connaît que vaguement. «La force d'un savant réside dans le fait qu'il limite ses doutes à sa spécialité», écrivait déjà Elias Canetti (*Auto-da-fé*, éditions Gallimard, 1968, p. 80).

En somme, les scientifiques ne sont pas des nains montés sur les épaules de

géants, suivant l'image classique, mais des nains montés sur les épaules les uns des autres – le nain tout au-dessous étant monté sur les épaules du nain tout au-dessus !

La critique contre ce mode de pensée est vieille, et nous avons vérifié qu'elle était lettre morte. On la trouve déjà dans Montaigne, qui ne devait pas être le premier. «Nous avons pris pour argent comptant le mot de Pythagore, que chaque expert doit être cru en son art. Le dialecticien se rapporte au grammairien de la signification des mots ; le rhétoricien emprunte du dialecticien les lieux des arguments ; le poète, du musicien les mesures ; le géomètre, de l'arithmétique les proportions ; les métaphysiciens prennent pour fondement les conjectures de la physique. Car chaque science a ses principes présupposés par où le jugement humain est bridé de toutes parts» (*Essais*, II, XII, éditions Villey, p. 540).

Cette critique ne viserait-elle pas les métaphysiciens qui ont prétendu prouver Dieu par le Big Bang ? Décidément, rien ne change en ce bas-monde.

Livres de commerce

De A à Z, il y a 26 lettres, mais (heureusement ?) 7 auteurs seulement. Je traite ici d'un roman récent (*L'Affaire Grimaudi*, éditions du Rocher, 1995), dont les divers chapitres sont dus à 7 plumes

différentes, de celle d'Alain Absire jusqu'à celle de Daniel Zimmermann.

Multiplier ainsi les signatures est-il, commercialement parlant, une bonne idée ? La réponse dépend du comportement de P, l'acheteur potentiel moyen :

– s'il suffit que l'une au moins des 7 signatures plaise à P pour qu'il achète le livre, l'idée de l'éditeur est – toujours commercialement parlant – excellente : le lectorat du livre est égal à la réunion des lectorats des 7 auteurs ;

– s'il suffit que l'une au moins des 7 signatures déplaise à P pour qu'il se refuse à acheter le livre, l'idée de l'éditeur est désastreuse : le lectorat du livre est égal à l'intersection des lectorats des 7 auteurs. Quasiment l'ensemble vide, à coup sûr.

Poser correctement un problème, c'est le résoudre, dit-on. Je ne suis pas sûr d'avoir posé correctement le problème. Mais, le temps d'une chronique, j'ai offert l'illusion que la théorie des ensembles pouvait servir à quelque chose.

Défiabilisation

Mots lus dans une liste de termes recommandés par le CNRS (BO n° 6, juin 1995) :

Fiabiliser : accroître la fiabilité.

Défiabiliser : diminuer la fiabilité.

Qu'on invente le premier de ces mots, d'accord. Ajuster, régler, arranger, voire rafistoler ou bidouiller – ne qualifient que le vulgaire bricolage du dimanche. La complexité des techniques modernes mérite mieux. Mais le second mot ! Faut-il comprendre que même au sein du dispositif le plus élaboré, on trouve des chandelles dont on souhaite économiser les bouts, au risque de rendre le dispositif moins fiable ?

La liste ne précise pas comment s'emploient les termes qu'elle répertorie. Si bien que le mot «défiabiliser» reste ambigu... et peu fiable. Décrit-il la conséquence malheureuse d'une initiative intempestive ou une action volontaire ? L'origine du terme pourrait être plus ancienne que la pratique des économies coûteuses : «La Création fut le premier acte de sabotage» (Cioran, *Syllogismes de l'amertume*, «Religion»). Eh oui : défiabiliser, c'est saboter ! Modernisons donc Cioran conformément aux directives du CNRS : «La Création fut le premier acte de défiabilisation».

Il a fauté

Certaines fautes d'orthographe sautent aux yeux sans même qu'on ait besoin de comprendre le texte où elles se trouvent. Cela rend des services. Face à une copie mal rédigée, dont les raisonnements sont si tortueux qu'ils finissent par échapper à toute catégorisation du type exact/inexact, c'est un soulagement pour le correcteur que d'apercevoir une faute d'orthographe. Un gros coup de rouge, et il peut se bercer de l'illusion que l'étudiant aura l'illusion d'avoir été lu...

Mais comment réagir en présence d'un livre sérieux, difficile, dont l'orthographe est défaillante ? La pensée d'un auteur qui confond régulièrement ce et se, hésite sur les marques du pluriel, mérite-t-elle qu'on s'efforce de la pénétrer ?

La question de l'orthographe rappelle celle de la forme en art : sans contraintes formelles, il n'y a plus de fond. À l'époque classique, un individu incapable de compter jusqu'à 12 n'était pas un poète. De même, aujourd'hui, dans un texte savant, la profusion de fautes d'orthographe peut à bon droit inquiéter le lecteur. La question «à quand la prochaine ?» finit par parasiter son esprit, au détriment d'une tentative de compréhension du texte.

Cela dit, l'auteur a quelquefois des bonheurs d'expression. «La fréquentation assidue des médias modernes conduit à une perte de vécu. Tout n'est plus qu'expériences de seconde main», déplore-t-il. Et d'en citer, comme exemple, le sexe ! (Patrick Trousson, *Le recours de la science au mythe*, éditions L'Harmattan, 1995, p. 26).

Expertise et recherche

PIERRE PAPON

La récente controverse sur le démantèlement de la plate-forme offshore de la Société *Shell*, en mer du Nord, la controverse plus ancienne sur la fiabilité des tests de dépistage de la séropositivité ou les débats autour du possible réchauffement du climat de la Terre montrent l'importance qu'a pris l'expertise scientifique et technique dans la vie des nations. Les scientifiques sont-ils en mesure de donner un avis fondé sur ces problèmes dont ils sont des spécialistes ? Dans quelles conditions peuvent-ils donner des avis ?

La prise de décisions importantes pour la société nécessite souvent des connaissances scientifiques et techniques qui, pour la plupart, proviennent de la recherche : avec sa capacité d'anticiper et de prévoir le déroulement de phénomènes physiques, chimiques ou biologiques, la science aide à prédire les conséquences des décisions et à préparer des stratégies. Ainsi les décideurs (hommes politiques, responsables d'administration ou d'entreprise) ont recours à des experts pour organiser les systèmes nationaux de défense, de santé, de transports, de gestion de l'environnement...

Cette expertise a souvent un caractère officiel, «statutaire» en quelque sorte : dans notre pays, une dizaine d'organismes de recherche publics ont ainsi la mission explicite de fournir des avis officiels, de formuler des diagnostics sur des problèmes qui préoccupent les pouvoirs publics. Il peut s'agir de santé publique, pour l'INSERM, de préservation des ressources océaniques, pour l'IFREMER, de ressources agronomiques, pour l'INRA... : au total, 16 pour cent de la dépense publique de recherche et de développement est consacré à l'étude de problèmes que les pouvoirs publics doivent résoudre. L'expertise est la traduction de l'état de la connaissance scientifique, sous forme d'avis, de diagnostics ou de scénarios. Émanant d'un organisme public de recherche, elle a souvent un caractère officiel qui engage l'institution scientifique.

À l'avenir, le rôle de l'expertise scientifique et technique dans le processus de décision augmentera vraisemblablement

pour au moins trois raisons. En premier lieu, les sociétés industrialisées tendent à édicter des normes et des règles pour autoriser la commercialisation de nouveaux produits. En deuxième lieu, elles se préoccupent de la sécurité des installations industrielles, de leur impact sur l'environnement et la santé publique. Enfin le développement de services publics fortement automatisés (transports, systèmes de surveillance médicaux) nécessite une évaluation de la sécurité de leur fonctionnement.

UNE ÉTHIQUE DE LA CONNAISSANCE

La création récente du «comité consultatif d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé», puis du «collège de la prévention des risques technologiques», témoigne de la prise de conscience croissante de la nécessité d'organiser, voire de contrôler, l'expertise.

Le développement de l'expertise appelle, d'une part, un réexamen des relations entre les scientifiques et le monde politique et, d'autre part, une promotion d'une éthique de la connaissance : il faut dissocier soigneusement, dans le processus nécessaire à la prise de décision publique, ce qui peut être considéré comme une approche de caractère prospectif (l'expertise porte un diagnostic, présente des scénarios), de ce qui relève d'un système de normes et de valeurs propres à nos sociétés, avec ses besoins et ses attentes, qui seront prises en compte par les décideurs (les hommes politiques, par exemple). Ces règles et ces normes, d'ailleurs, n'appartiennent pas au champ de la science et de la technique.

Ainsi les scénarios scientifiques élaborés pour évaluer les impacts des activités humaines sur les climats ne suffisent pas, par eux-mêmes, à la prise de décisions. En effet, il faut savoir apprécier, par exemple, les risques économiques ou sociaux que l'on est prêt à assumer si l'on ne prend aucune mesure pour limiter les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. La décision

politique est aussi fondée sur l'appréciation de ces risques. L'une des règles devrait être de bien séparer ces deux niveaux, que les experts, mais aussi les politiques, tendent à confondre. Combien de fois entend-on ainsi imposer une décision parce qu'elle s'appuie sur une solide expertise scientifique !

L'éthique de la connaissance, dans le contexte de la prise de décision, suppose aussi que les scientifiques explicitent les limites de leurs connaissances et qu'ils rappellent constamment à leurs interlocuteurs la quasi-impossibilité d'éliminer les risques et les incertitudes dans tous les domaines de l'action humaine. Qu'il s'agisse de santé, d'environnement ou d'exploitation des ressources, leurs avis seront généralement fondés sur des connaissances incomplètes, sur des données dont la fiabilité n'est pas totale. Leurs connaissances peuvent être entachées d'incertitudes, les décideurs doivent le savoir même si, pour eux, la situation est inconfortable... On va souvent au devant des difficultés quand les scientifiques confondent le processus de production de savoir avec sa traduction en avis, analyses et diagnostics dans le contexte de la prise de décision qui est, par essence, souvent lieu de conflits. Il est donc sage de séparer, au sein des institutions scientifiques, les fonctions de production du savoir de celles d'expertise, même si l'expertise s'enrichit des résultats et des méthodes de la recherche et si elle lui ouvre de nouveaux champs à explorer.

Il est clair, enfin, que les scientifiques qui participent aux expertises doivent formuler leurs avis en toute indépendance. Souvent, en effet, des avis peuvent déranger des administrations, des collectivités territoriales, des entreprises (un projet d'aménagement peut avoir un impact négatif sur l'environnement, par exemple). Il appartient donc aux institutions dont dépendent les scientifiques de les protéger des pressions extérieures dans l'exercice de leur mission d'expertise, tout en leur donnant les moyens d'investigation nécessaires.

La société a besoin d'une expertise fondée sur la connaissance scientifique, qui lui donne une vision prospective, mais elle doit être consciente que cet exercice ne saurait éliminer complètement les risques et les incertitudes.

Pierre Papon est professeur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris et président de l'Observatoire des sciences et des techniques.

Les impossibles de la météorologie

HERVÉ LE TREUT

La météorologie, c'est le temps qu'il va faire. La climatologie, c'est la météorologie à une échelle de temps supérieure, c'est le temps qu'il fera au cours des temps. Déjà, en météorologie, les impossibles abondent : il est presque impossible de prévoir les conditions atmosphériques plus de quelques jours à l'avance, et il est certainement impossible de modifier le temps.

Les questions posées au climatologue sont plus vastes. Pouvons-nous trouver les causes des températures passées du Globe ? Pouvons-nous prévoir celles qui régneront dans un siècle ou dans quelques milliers d'années ? Correspondent-elles aux autres témoignages passés du climat ?

OMNIPRÉSENCE DE LA MÉTÉOROLOGIE

Éliminons une possibilité : il n'existe pas de pays où le temps soit constant et la météorologie... inutile, parce que certaine. Toutes les régions de notre planète sont soumises au moins aux cycles des saisons : même dans les régions africaines, où une saison sèche alterne avec une saison humide, la prévision de l'arrivée de la saison humide pose problème. Si les interrogations météorologiques sont de nature différente dans les régions à caractère tropical et dans les régions à caractère tempéré, la variabilité reste une constante.

Toute prévision est, par définition, incertaine : la prévision météo est associée à une probabilité. Il y a, par exemple, 90 pour cent de chance que la température soit comprise demain entre 5 et 7 °C. En Angleterre, où la culture météo est plus développée, la prévision statistique passe mieux ; en France, notre culture ne nous incite pas à chiffrer nos incertitudes, et les prévisions diffusées n'en font pas état.

Le calcul de l'incertitude présente aussi une difficulté technique : pour indiquer un pourcentage de chance, il faudrait faire tourner (sur ordinateur) la machine climatique un grand nombre de fois avec différents chiffres de départ balayant les incertitudes initiales, et comp-

ter le pourcentage de cas où l'on a obtenu de la pluie, où l'on a obtenu un temps sec, etc. Ces prévisions statistiques prennent beaucoup de temps et doivent se faire en temps réel. Quand on connaît les temps de calcul, on comprend qu'on ne puisse faire tourner 100 fois le modèle. Cet impossible est peut-être temporaire, mais, parallèlement à l'augmentation de la puissance de calculs des ordinateurs, le nombre des données prises en compte augmente.

LE DIAGNOSTIC MÉTÉOROLOGIQUE : DU FOLKLORE AU CALCUL

La météo est le domaine où la coopération internationale est la plus claire, la plus forte et sans doute la moins connue. La prévision météo prend en compte tout ce qui se passe sur la planète : les échanges entre les masses gazeuses sont si rapides et si intenses que l'on a besoin, même pour prévoir le temps dans l'hémisphère Nord, de se préoccuper de ce qui s'est passé dans l'hémisphère Sud.

La prévision météo commence par le recueil de données physiques à l'échelle de la planète. L'Organisation météorologique mondiale pilote un réseau de mesures, comportant des appareils implantés au sol, sur les bateaux, les satellites, les avions, et sur de petits ballons instrumentés. Toutes les 12 heures, les informations sont centralisées en deux nœuds, l'un en Angleterre et l'autre aux États-Unis.

On emmagasine ainsi une image de la circulation de l'atmosphère au temps initial, image dont l'évolution est ensuite traitée par des modèles numériques. Ces modèles s'appuient sur des équations qui sont connues depuis le siècle dernier, mais qu'on ne pouvait exploiter faute d'ordinateurs suffisamment puissants : ils sont aujourd'hui les plus gros consommateurs de temps d'ordinateur. Tous les 100 kilomètres sur la planète, des programmes calculent les paramètres physiques en une série de points répartis sur une trentaine de niveaux de l'atmosphère. De demi-heure en demi-heure, on calcule

l'évolution du temps à partir de l'état initial observé.

L'accord entre les prévisions et la réalité s'est constamment amélioré au cours des 20 dernières années : on est passé d'une échéance utile de deux jours au début des années 1970 à cinq ou six jours aujourd'hui.

Il y a longtemps que les prévisions calculées ont dépassé les évaluations fondées sur les corrélations observées (à Aurillac, un nuage au-dessus d'une montagne était censé indiquer l'arrivée de la pluie). Il est resté quelques prédictors utiles, surtout en météo tropicale, mais les corrélations relevées dans le passé n'étaient, pour la plupart, qu'un folklore relevant plus de la croyance que d'un fait avéré. Les dictons populaires, pour chatoyants qu'ils soient, n'en sont pas plus vérifiés. La prévision scientifique a gagné en rigueur ce qu'elle a perdu en couleur locale. Malheureusement elle nous laisse insatisfaits, car une seule chose nous importe vraiment : va-t-il pleuvoir ici et maintenant. Or cette donnée locale est la plus insaisissable.

LES LIMITES INFRANCHISSABLES

Deux limites faisaient obstacle aux progrès de la météorologie. Les limites techniques résultant du nombre des points de mesure des données (pression, température, etc.) et de la puissance des ordinateurs ont été levées dans les dernières années : il n'y a plus d'impossibles techniques. Les incapacités substantielles tiennent à la nature même du système atmosphérique, déterministe, mais non prévisible. Une expérience illustre ce propos : les météorologues sont partis de deux états très voisins de l'atmosphère, qui ne différaient que par un centième de degré à Bordeaux, et ont calculé, toutes choses égales par ailleurs, l'évolution de ces deux atmosphères. Au bout de cinq à six jours, les différences se sont révélées si notables qu'elles correspondaient à deux états de l'atmosphère totalement distincts. Ainsi le système Terre est fortement non linéaire : de petites incertitudes initiales contaminent tout le Globe en cinq à dix jours. Cette limite est infranchissable. C'est cette durée de quelques jours qui sépare les domaines de la météorologie et de la climatologie.

Dès l'apparition des ordinateurs, un météorologue, Edouard Lorenz, a établi l'existence de systèmes dynamiques non linéaires, qu'il a baptisé indéterministes. E. Lorenz eut l'idée de réduire à trois équations le système régissant l'atmosphère

et montra que ce système très simplifié était déjà imprévisible. Cette étude choquante eut des applications dans beaucoup d'autres domaines : l'idée des systèmes chaotiques était lancée.

LES PÉRIODICITÉS CLIMATIQUES

Heureusement pour notre compréhension, l'atmosphère après dix jours a un comportement macroscopiquement prévisible : les saisons et les zones climatiques témoignent de phénomènes régulateurs de la circulation atmosphérique.

Depuis les débuts de la marine à voile, les navigateurs ont recueilli des données sur la circulation atmosphérique. Halley, au XVII^e siècle, a étudié les premiers relevés des marins et observé les régularités de la circulation atmosphérique avec les vents d'Est, type alizé près de l'équateur, les vents d'Ouest à nos latitudes ; superposée à ces mouvements, une autre circulation brasse l'air, qui monte près de l'équateur (zone du pot au noir) dans les zones de vent d'Est, et qui redescend au Nord et au Sud vers 30 degrés Nord, 30 degrés Sud et marque les zones désertiques. Les limites de ces grandes cellules tropicales sont déterminées par la vitesse de rotation de la Terre qui les

empêche de se développer plus au Nord (comme elles le font par exemple sur la planète Mars). Ces circulations en cellules fixent le climat des tropiques avec une zone pluvieuse près de l'équateur et une zone sèche un peu au-delà de l'équateur.

La circulation dans ces cellules fluctue à des échelles de temps longues. Dans le Pacifique, les zones d'ascendance et de descendance de l'air se déplacent : elles suivent des variations de température de l'océan de période trois à quatre ans, le cycle de El Niño observé par les pêcheurs péruviens. Ces pêcheurs avaient remarqué que des eaux chaudes chargées de poissons revenaient à intervalles réguliers le long des côtes du Pérou. Ils appelaient cette arrivée El Niño, du nom de l'enfant Jésus, parce qu'elle coïncidait avec Noël. À ces échelles de temps, de l'ordre de quelques années, la structure de la circulation atmosphérique est lentement modifiée par l'interaction avec l'océan : on voit se dessiner les premières échelles temporelles de la climatologie.

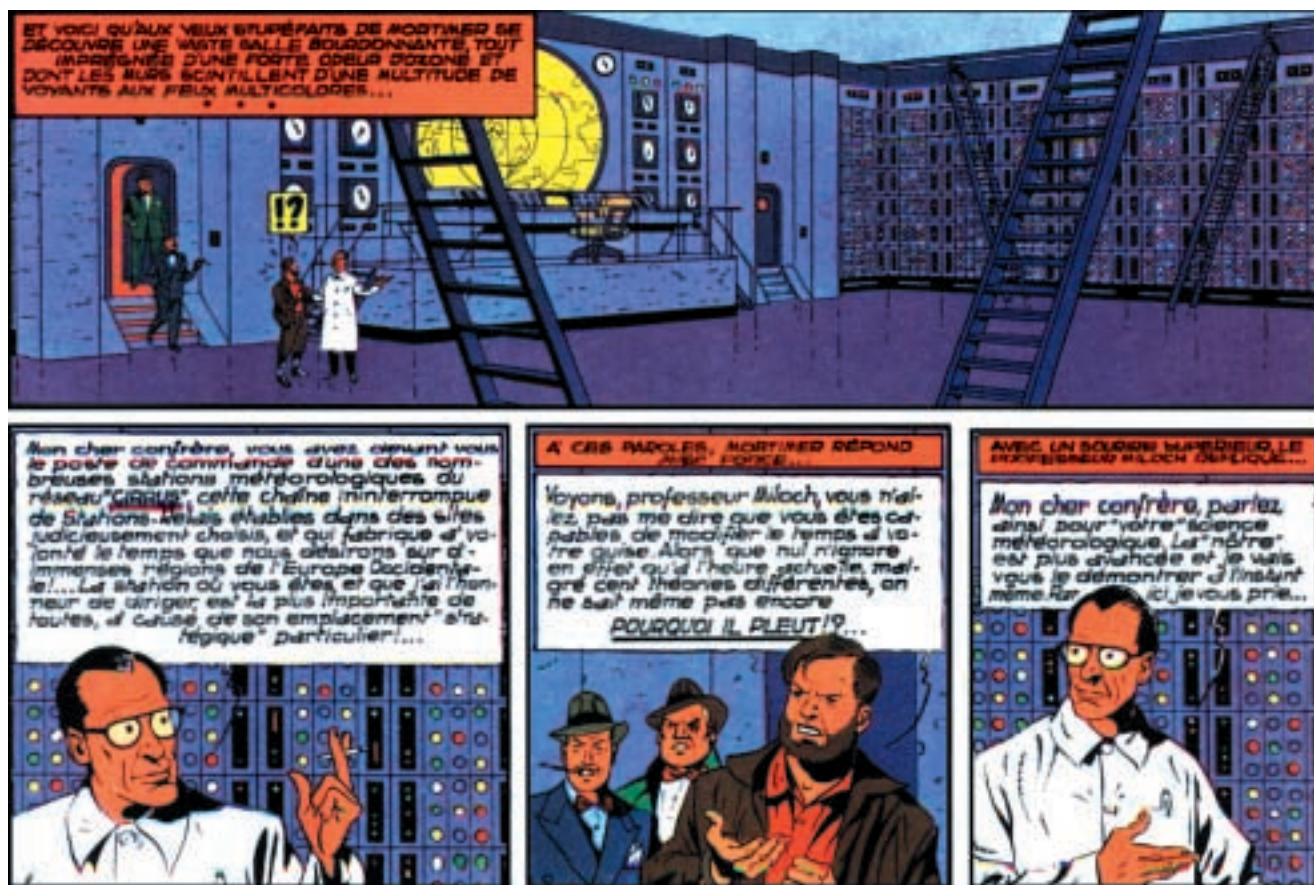
Les mouvements de l'atmosphère résultent de la convection et de la rotation de la Terre. Le rayonnement solaire, qui traverse l'atmosphère, est absorbé en partie par le sol ; l'air, chauffé par le bas, se dilate et monte, mais à la diffé-

rence de ce qui se passe dans une casserole, ces mouvements ascendants et descendants sont compliqués par la rotation de la Terre. La zone des déserts est déterminée par la vitesse de rotation de la planète, et même, lors des glaciations du passé, les zones désertiques ne se sont pas beaucoup déplacées. Il serait impossible de modifier les zones climatiques qui résultent de ces mouvements.

LA MESURE DU CLIMAT PASSÉ

On étudie les transformations du système climatique au cours du dernier million d'années par des carottages dans les glaces polaires ou dans les sédiments océaniques : le climat a évolué avec des périodicités de l'ordre de 100 000 ans, auxquelles se superposent des périodicités un petit peu plus petites, de l'ordre de 40 000 ans et de 20 000 ans. Ces variations résultent de la course de la Terre sur son orbite. Au siècle dernier, un astronome serbe, Milankowitch avait prévu ces variations cycliques.

Les variations à 20 000 ans, les plus courtes, sont dues à la précession des équinoxes. La planète décrit une ellipse autour du Soleil, et la position de l'axe de rotation de la Terre, qui pointe alter-



Un impossible de la météorologie est présenté par Edgar P. Jacobs dans *S.O.S. Météores*.

nativement vers le Soleil et dans la direction opposée au Soleil, définit quatre points qui sont les deux solstices et les deux équinoxes. Actuellement, au moment du solstice d'hiver, on est au plus près du Soleil ; il y a 10 000 ans, au moment du solstice d'hiver, on était au plus loin du Soleil. Le système saisonnier était amplifié par rapport à ce qu'il est aujourd'hui, et ce phénomène de précession des équinoxes a joué un rôle très important dans les transitions climatiques, par exemple sur toute la zone mésopotamienne, sur toute la zone du Sahara fertile. Cette variation quasi périodique de l'axe de rotation de la Terre est pilotée par l'influence des grosses planètes sur la trajectoire de la Terre autour du Soleil.

On connaît aussi très bien l'évolution du dioxyde de carbone ou du méthane au cours des derniers 200 000 ans grâce aux carottes prélevées dans les zones polaires et dans les sédiments océaniques. La teneur en isotopes des glaces permet de retracer les températures passées, et les traces de gaz, le contenu de l'atmosphère. Dans les sédiments océaniques, les fossiles de petits animaux qui vivent dans des eaux de températures variées dénotent les températures prévalant à l'époque ; certains de ces animaux vivant plutôt en surface ou plutôt au fond, on reconstitue les températures de l'océan à différents niveaux. Un marqueur de la température extrêmement puissant est le contenu en oxygène 18 des minuscules coquilles des foraminifères.

TERRE GELÉE ET SOLEIL JEUNE

Si, aux échelles de temps beaucoup plus longues, dépassant le million d'années, les indices de variations du système climatique sont plus rares, ils indiquent tous une grande stabilité. Cette fixité ne va pas de soi, car le climat actuel de la Terre n'est pas la solution unique d'un climat terrestre dont l'essentiel de l'apport énergétique vient du Soleil. Il y a 30 ans, on s'est aperçu qu'il existe un autre état très stable du système climatique, où toute la planète est recouverte de glace : dans ces conditions, la planète réfléchit presque intégralement le rayonnement solaire et ne se réchauffe pas. Cet état stable de la planète n'a jamais existé et il semble peu probable que le système Terre puisse bifurquer vers cette autre solution possible.

Le paradoxe du Soleil jeune est connexe : il y a trois milliards d'années le Soleil nous envoyait moins d'énergie qu'aujourd'hui. La Terre aurait dû être alors un astre mort et glacé ; or on ne

trouve pas de trace de cet état. C'est qu'il n'a jamais existé : la composition chimique de l'atmosphère de la planète de l'époque était telle que le pâle rayonnement émis par le Soleil était mieux absorbé.

Notre planète est une exception dans le Système solaire : son atmosphère contient très peu de dioxyde de carbone et beaucoup d'oxygène, au contraire de Vénus et de Mars, où le dioxyde de carbone est prépondérant ; c'est la vie qui a diminué, sur Terre, le stock de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone primitif aurait empêché, il y a trois milliards d'années, que la planète ne se dirige vers un état glaciaire permanent et stable.

LA PÉRIODICITÉ DES EXTINCTIONS

Une difficulté subsiste : comment expliquer les extinctions qui ont frappé périodiquement la faune et la flore, très approximativement tous les quelque 100 millions d'années ? On ne connaît pas de processus climatiques périodiques qui se répèteraient à ces échelles de temps et qui expliqueraient les extinctions. À l'échelle des dizaines ou des centaines de millions d'années, la dérive des continents domine l'évolution du système climatique.

Le système climatique qui règne depuis deux millions d'années, avec ces fluctuations entre âges glaciaires et âges interglaciaires, est associé à la répartition actuelle des continents, en particulier le continent antarctique qui est bien posé sur le pôle Sud. C'est à partir du moment où le continent antarctique s'est fixé que le climat est devenu moins chaud avec ses oscillations glaciaires-interglaciaires. L'évolution à plus long terme du climat semble dictée par l'évolution de la répartition des océans et des continents, évolution qui n'est pas un phénomène périodique.

Les grandes extinctions sont dues à des phénomènes climatiques puisqu'elles sont réparties uniformément sur le Globe terrestre. On les explique par un événement catastrophique, soit un météorite, soit un volcanisme intense. Pour l'instant ce type d'explication n'éclaire pas leur récurrence.

Hervé LE TREUT est directeur de recherche au CNRS et enseigne à l'École polytechnique. Une retranscription de ce débat, enregistré avec Émile Noël, sera diffusée sur France Culture le 10 janvier 1996, à 9 heures.

Goût et activité des médicaments

ROBERT LABEY

Le saule et la reine des prés poussent les pieds dans l'eau. Est-ce pour cette raison que l'écorce du saule et cette reine des prés sont efficaces contre les fièvres rhumatismales, dues à l'humidité de l'environnement ? Si tel est le cas, pourquoi le quinquina qui est actif sur les « fièvres des marais » (le paludisme) pousse-t-il dans la moyenne montagne andine, loin des plaines impaludées ? Si la « Douce Nature » avait désigné le médicament adapté à la maladie comme le croyait le médecin alchimiste du XVI^e siècle, Paracelse, elle aurait effectivement guidé le guérisseur vers l'écorce de saule, mais quelle aurait été la « signature » dans le cas du quinquina ?

Les vertus thérapeutiques des médicaments ont été découvertes par le goût et par l'odeur qui éduquaient l'instinct. L'instinct, mot magique, mais qui rappelle que les animaux s'empoisonnent rarement. « Les effluves propres à chaque être guident l'animal à sa pâture, c'est ainsi que le noir poison est évité », écrivait Lucrèce. Ainsi, les vaches soufflent puissamment sur les touffes d'herbe qui, sous l'haleine chaude et humide, libèrent des

odeurs identifiées ; les vaches s'écartent des plantes amères telles la gentiane, non toxique, et la colchique très toxique. Les Charolaises dont le goût a été émoussé par la sélection se précipitent au printemps sur les feuilles des colchiques et en meurent.

Selon Hippocrate, « Il y a dans l'homme du salé, de l'amer, du doux, de l'acide et de l'astringent, du fade et de mille autres choses douées des propriétés les plus diverses en nombre et en force. » La

sensibilité olfactive et gustative a sans doute guidé la sélection des médicaments traditionnels : les substances thérapeutiques, qu'elles soient d'origine minérale ou végétale, ont souvent un goût désagréable, astringent, acide ou amer.

FER ET ASTRINGENCE

Au siècle de Louis XIV, le chimiste Nicolas Lémery condensa la qualité du fer par un mot : l'astringence. La saveur astringente n'est pas propre au fer ; on la retrouve dans tous les oxydes, et notamment dans les ocres qui « happent la langue ». Selon Lémery, « On reconnaît que la principale et même unique propriété médicale du fer est d'être astringent, c'est-à-dire de resserrer sur elles-mêmes les fibres de corps animés et de rétrécir les diamètres des vaisseaux. »

Or, dès la Préhistoire, le fer et ses oxydes furent liés à la force. L'ocre est de la terre argileuse, riche en oxydes de fer, et la poudre d'ocre préservait la peau des animaux du durcissement, de la putréfaction et de l'atteinte des vers et des insectes. Dans l'Antiquité, on faisait boire aux malades pâles de l'eau où avaient trempé de vieilles épées rouillées ; on nommait le fer comme le Dieu de la guerre, Mars.

Au XIX^e siècle, la mode imposa aux jeunes filles un régime privé de viandes saignantes ainsi qu'un corset comprimant les organes hématopoïétiques (le foie et la rate). Les jeunes filles étaient atteintes de chlorose. Le médecin et philosophe malouin, Julien Offray de La Mettrie décrivit les symptômes et le traitement de la maladie : « D'abord pâles, vertes, livides, tremblantes, faibles, elles se soutiennent à peine sur leurs jambes, et lorsque l'action des remèdes martiaux a épaissi leur sang, trop fluide auparavant, leurs lèvres, leurs joues prennent de la couleur ; et la chaleur, la force, accompagnent bientôt la formation du sang rouge, qui enfin peut rompre les vaisseaux utérins, sous la forme du flux menstruel. »

Dès 1713, le fer fut détecté dans le sang. Depuis, on en donne aux patients atteints d'un déficit chronique et grave en fer qui manifestent parfois un besoin

irrésistible de manger de la terre, de la peinture (le trouble se nomme le pica) ou de la glace (la pagophagie). Aujourd'hui, les petits Africains vivant dans les logements précaires des cités sont souvent anémiés par manque de fer, et mangent, à défaut de terre, les vieilles peintures à la céruse (colorant blanc contenant du plomb) qui recouvrent les murs délabrés ; ils souffrent d'intoxication saturnienne (par le plomb).

VITAMINE C ET ACIDITÉ

Les Assyriens connaissaient les vertus de l'acidité pour traiter la « maladie fétide », le scorbut, et ils en ont décrit les symptômes : gencives tuméfiées et ulcères dans la cavité buccale. Leur remède consistait en jus de raisin frais, le verjus, et l'empereur Ashurnasirpar en faisait importer de Basse Mésopotamie. Sous le climat des plaines du Tigre et de l'Euphrate, le jus de raisin mûr aurait fermenté trop vite.

À l'occasion de la croisade de Saint-Louis en Égypte, en 1249, un des croisés, Joinville, décrit les symptômes du scorbut : il accusa d'abord le mulot, un poisson nécrophage que les croisés pêchaient dans le delta du Nil et qu'ils mangeaient les jours de jeûne. Tous les croisés étaient atteints : « La chair de nos jambes séchait toute et le cuir de nos jambes devint tavelé de noir et de terre. Les chairs pourries venaient aux gencives, nul n'échappait à cette maladie. » Ce n'était pas le poisson impur qui contaminait les croisés, mais une alimentation essentiellement composée de pain et de porc salé. Joinville, prisonnier des Sarrasins, était mourant lorsque ses geoliers lui donnèrent à boire une boisson qui le guérit, vraisemblablement un jus d'agrumes.

Pendant les longues traversées océaniques, le manque de fruits et de légumes frais favorisait le scorbut, mais les Anglais avaient observé que le citron prévenait l'apparition du mal. Le voyage des esclaves de l'Afrique vers les Amériques entraînait de lourdes pertes, et les



1. Le pavot.



2. La scille.