

L'archéologie pour couverture
L'Italien Maurizio Tosi est conseiller du sultan d'Oman pour l'archéologie. Ce paléoethnologue a aussi été un agent au service du bloc soviétique. **PAGE 7**



Des écosystèmes artificiels
On les appelle des mésocosmes. A mi-chemin entre milieu naturel et éprouvette, ils permettent d'évaluer l'impact des polluants. **PAGE 2**



Les malvoyants lisent en numérique
Reportage à la médiathèque de l'Association Valentin-Haüy, à Paris, qui rend les textes accessibles à ceux qui ne peuvent les voir. **PAGE 3**

Immunologie : crise d'identité

Les découvertes récentes sur les communautés microbiennes qui nous habitent remettent en question le modèle classique de l'immunité. Trois Français, dont un philosophe, proposent une alternative à cette théorie du soi et du non-soi.

PAGES 4-5

Empreinte d'une main sur une plaque de culture microbienne.
LAST REFUGE/SPEARS/BSIP

A quoi ça sert ?



CARTE BLANCHE

Etienne Ghys

Mathématicien, directeur de recherche au CNRS, à l'École normale supérieure de Lyon.
etienne.ghys@ens-lyon.fr

(PHOTO : FABRICE CATERINI)

Sempiternelle question qu'on pose aux mathématiciens : « Ce que tu fais, à quoi ça sert ? » Je me la suis posée à moi-même cette semaine en lisant une prépublication.

Choisissez un nombre entier, par exemple 741. Multipliez tous les chiffres qui le constituent : $7 \times 4 \times 1 = 28$. Recommencez en partant du nombre obtenu, 28 dans cet exemple. Vous obtenez $2 \times 8 = 16$. Recommencez ! Vous obtenez $1 \times 6 = 6$, et l'histoire se termine, puisque 6 n'a qu'un chiffre. En trois coups, on arrive à un nombre à un chiffre.

Si vous étiez partis de 2777778888899, il vous aurait fallu attendre 11 coups pour arriver à un nombre à un seul chiffre. Vérifiez-le ! La « conjecture de Sloane » affirme que 11 coups suffisent toujours, quel que soit le nombre dont on part, aussi grand soit-il. Si vous tentez votre chance en cherchant un nombre nécessitant plus de 11 étapes, sachez tout de même qu'il vous faudra le chercher parmi les nombres ayant plus de 323 chiffres...

A vrai dire le problème est un peu plus subtil : il s'agit de montrer qu'il existe un entier N (peut-être 11) tel que N étapes suffisent quel que soit le nom-

bre de départ. La question date de 1973.

A quoi ça sert ? J'ai posé la question à quelques collègues. Certains répondent avec dégoût que ça ne sert à rien et que ça ne s'inscrit pas dans un programme de recherche cohérent. D'autres mordent à l'hameçon et s'attaquent au problème comme on réfléchirait sur une grille de mots croisés, comme ça, juste pour le plaisir.

Le plaisir procuré par la recherche mathématique n'est pas si éloigné de celui que beaucoup ressentent face à un sudoku. D'autres procèdent par analogie et cherchent à placer le problème dans un contexte général. Beaucoup le rapprochent du « problème de Collatz ». Partez d'un nombre entier. S'il est pair, divisez-le par 2, et s'il est impair multipliez-le par 3 et ajoutez 1. Recommencez l'opération autant de fois que vous voudrez. Est-il vrai qu'on arrive finalement au nombre 1 ? Il y a plus de quatre-vingts ans qu'on se pose cette question.

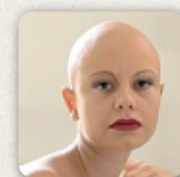
Lorsqu'un ordinateur travaille, il met bout à bout des opérations élémentaires, et sa puissance réside dans le fait qu'il peut les répéter un grand nombre de fois. Le programme de l'ordinateur arrivera-t-il à

une conclusion, ou tombera-t-il, par exemple, dans une boucle infernale sans apporter de réponse ? De combien de temps aura-t-il besoin pour terminer son calcul ?

Il est plus facile de comprendre l'importance de ce genre de question, à la jonction de la logique et de l'informatique. Les problèmes de Collatz et Sloane, même si leurs formulations semblent enfantines, vont un peu dans cette direction. Un algorithme très simple se termine-t-il ? En combien de temps ? Un progrès sur ces problèmes, sans applications immédiates, serait – peut-être – utile dans d'autres situations plus « appliquées ».

La prépublication de Edson de Faria et Charles Tresser, « On Sloane's Persistence Problem », ne résout malheureusement pas la question, mais elle l'éclaire d'un jour nouveau, en la reliant à d'autres branches des mathématiques... Tout ce qui touche aux nombres intéresse les mathématiciens. Leopold Kronecker n'écrivait-il pas au XIX^e siècle : « Dieu a créé les nombres entiers, tout le reste est l'œuvre de l'homme » ?

Un lecteur du Monde répondra-t-il aux questions de Collatz et Sloane ? ■



Carole, en lutte contre le cancer



Paul, malade d'Alzheimer



Jean, victime d'un AVC

En donnant à la Fondation pour la Recherche Médicale, vous choisissez de lutter contre toutes les maladies.

Cancers, maladie d'Alzheimer, dépression, hépatites, insuffisance cardiaque, maladies rares...

la Fondation identifie et finance, grâce à vos dons, les projets de recherche les plus prometteurs dans tous les domaines de la médecine.

Chaque année, plus de 750 recherches porteuses d'espoir de progrès médical sont ainsi développées. En soutenant la Fondation pour la Recherche Médicale, vous participez au développement d'une recherche médicale de pointe, au service de votre santé, de celle de vos proches ; de la santé de tous.

Faites un don sur frm.org



POUR QUE LA RECHERCHE BÉNÉFICIE À TOUS

Fondation pour la Recherche Médicale
54 rue de Varenne - 75007 Paris

Fondation reconnue d'utilité publique

Les leçons des écosystèmes synthétiques

SANTÉ PUBLIQUE | Entre l'éprouvette et le milieu naturel, les mésocosmes permettent d'étudier l'impact des polluants sur l'environnement. L'Ineris vient ainsi de montrer des effets inédits du bisphénol A sur un milieu aquatique artificiel

VIVIANE THIVENT

A quelle concentration le bisphénol A, perturbateur endocrinien omniprésent dans l'environnement, cesse-t-il d'avoir un effet sur le vivant ? Une étude de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), présentée jeudi 14 novembre à Paris, apporte des éléments de réponse inédits, et montre que les seuils choisis au niveau européen pour définir les concentrations sans effet observé (NOEC) sont probablement trop laxistes.

Pour parvenir à cette conclusion, l'Ineris s'est appuyé sur un outil expérimental, à mi-chemin entre l'éprouvette et le milieu naturel, le mésocosme. « En laboratoire, on sait tuer des poissons avec des fortes doses chimiques... mais on ne sait pas évaluer l'impact des faibles doses ou travailler sur du long terme », explique Eric Thybaud, écotoxicologue à l'Ineris. D'où le recours à des mésocosmes. Ces « mondes intermédiaires » qui, depuis les années 1980, permettent de tester l'impact d'une substance, ou d'une modification environnementale, sur un écosystème.

« En général, en écotoxicologie, on commence nos études en évaluant l'effet d'une substance à différentes concentrations sur une espèce, continue le chercheur. Mais l'extrapolation de ce type de résultats à l'échelle de l'écosystème est souvent problématique car, dans le milieu naturel, la substance peut changer de forme ou influencer l'un ou l'autre des maillons de la chaîne alimentaire. » L'impact réel est alors très différent de celui observé en laboratoire. « Une élévation des températures peut engendrer une prolifération bactérienne dans les conditions de laboratoire, mais pas en milieu naturel, notamment parce que les prédateurs des bactéries prolifèrent davantage », continue Francesca Vidussi, une chercheuse à l'université de Montpellier, qui travaille avec des mésocosmes marins. D'où l'intérêt d'étudier le phénomène à l'échelle de l'écosystème.

Le faire en milieu naturel n'est pas toujours possible. « Parce qu'il est quand même malvenu de balancer une substance chimique dans la nature pour en observer les effets », continue Eric Thybaud. « Parce qu'on ne peut pas faire varier



À Verneuil-en-Halatte (Oise), l'Ineris teste l'effet de substances chimiques sur un écosystème d'eaux vives.

INERIS

un paramètre environnemental, comme la température ou la pluviométrie, sur un écosystème trop grand », explique Jacques Roy, directeur de l'Ecotron de Montpellier.

« Parce qu'en milieu marin, les masses d'eau bougent et que, dans ces conditions, il est difficile de suivre l'évolution d'une population », souligne Francesca Vidussi. Les chercheurs ont donc mis sur pied des mésocosmes, dans certains cas, des bouts d'écosystèmes naturels mis sous cloche et laissés, ou non, dans leur environnement d'origine ; dans d'autres, des écosystèmes simplifiés et placés dans des conditions naturelles.

C'est cette dernière voie qu'a choisie l'Ineris. « Le principal avantage de cette approche, c'est

que l'on connaît très précisément l'histoire de l'écosystème étudié », note Eric Thybaud. Créé en 1995, le dispositif à mésocosmes de Verneuil-en-Halatte (Oise) permet d'appréhender l'effet d'une substance chimique sur un écosystème d'eaux vives. Il est fait de douze canaux longs de 20 mètres, parallèles, rigoureusement identiques et installés en extérieur. « Un test en mésocosme dure en général un an », continue le chercheur. En novembre, nous remplissons tous les canaux avec la même quantité de sédiments, de l'argile et du sable. Nous mettons ensuite les bassins en eau, nous installons des plantes, des invertébrés et nous attendons que l'écosystème se stabilise. » Comme le ferait tout aquariophile qui se respecte. « En mars, nous ajoutons dans chaque bassin le même nombre de poissons et la substance à étudier aux concentrations souhaitées. »

Lors de l'expérience qui, entre 2011 et 2012, a porté sur le bisphénol A, trois canaux ont ainsi été soumis à 1 microgramme par litre de BPA, trois autres à 10 microgrammes par litre de BPA et les trois suivants à 100 microgrammes par litre de BPA, les trois derniers servant de témoins.

Les chercheurs ont alors laissé évoluer le système, prélevant de temps à autre des échantillons d'eau pour connaître l'évolution des populations d'invertébrés ainsi que la concentration réelle en BPA du milieu expérimental. « Nous avons recouvert nos canaux de filets pour que les oiseaux ne viennent pas se repaître de nos épinettes. » Des petits poissons dont le comportement sexuel est sous régulation hormonale et peut donc être affecté par le BPA. Quelques mois plus tard, les chercheurs ont stoppé l'expérience et observé l'effet du bisphénol A sur les différents écosystèmes. « Il apparaît que les végétaux ont du mal à pousser dans les canaux présentant le plus fort taux de BPA », ce qui, d'après le cher-

cheur, n'avait jamais été observé auparavant.

Concernant les invertébrés, une chute significative des populations a été constatée, là encore à 100 microgrammes par litre. Plus intéressant, chez les poissons, des retards de la maturité sexuelle ont été observés dans les environnements titrés à 10 microgrammes de BPA par litre. « Dans ces canaux, la quantité de PBA mesu-

« Les tests en mésocosmes montrent que des effets apparaissent à des doses bien plus faibles que ne le laissent penser les études en laboratoire »

ERIC THYBAUD
écotoxicologue à l'Ineris

rée était à 5,6 microgrammes par litre, poursuit le chercheur. Cela indique que la NOEC doit se trouver en dessous de 5,6 microgrammes par litre. » Or cette concentration est trois fois inférieure à la NOEC de 16 microgrammes de BPA par litre proposée, en 2003, par l'Europe à partir de tests en laboratoire. « Les tests en mésocosmes montrent que des effets apparaissent à des doses bien plus faibles que ne le laissent penser les études en laboratoire. »

Pour mémoire, la concentration de BPA classiquement retrouvée dans l'environnement avoisine le microgramme par litre. ■

Un dispositif de plus en plus prisé

Ces vingt dernières années, la fréquence du terme mésocosme dans la littérature scientifique a été multipliée par vingt, ce qui trahit un recours de plus en plus fréquent à cette technique. Mais qu'est-ce qu'un mésocosme ? Étrangement, les scientifiques peinent à donner une réponse claire à une question.

« Ce n'est pas très étonnant vu que le terme est utilisé pour désigner à peu près tous les écosystèmes confinés de taille intermédiaire », explique Tron Fredé Thingstad, professeur au département de biologie de l'université de Bergen, en Norvège. Résultat : sous le terme de mésocosme, sont réunis des dispositifs environnementaux très disparates, terrestres ou aquatiques, placés en intérieur, en extérieur ou carrément en conditions naturelles. Dans cette lignée, citons les mésocosmes marins déployés en pleine mer.

« Il s'agit de gros sacs, étanches, d'au moins

1 000 litres et placés côte à côte, précise Behzad Mostajir, directeur de recherche au CNRS et responsable scientifique de la station méditerranéenne de l'environnement littoral, à Sète (Hérault). Certains sont fixes, d'autres mobiles. »

À l'instar du système allemand Kosmos, « le plus gros mésocosme marin mobile existant », explique Ulf Riebesell, responsable d'une plateforme qui, en 2010, a permis de conduire des tests d'acidification en Arctique. « Kosmos est toutefois un système ancien et encombrant », reprend Behzad Mostajir, qui lui préfère son pendant français, LAMP, plus léger, plus récent et donc bourré de capteurs. « De façon générale, le développement des capteurs et des techniques de suivi explique, en partie, le recours plus systématique aux mésocosmes », conclut Jean-François Le Galliard, qui dirige l'Ecotron IleDeFrance. ■

V. T.

Autisme : recherches tous azimuts pour un repérage précoce

Des tests indiquent que le suivi du regard est perturbé dès l'âge de 2 mois. L'approche génétique, quant à elle, reste discutée

SANDRINE CABUT

L'autisme, qui concerne plus d'un enfant sur cent, pourrait-il être repéré dès les premiers mois de vie ? C'est ce que cherchent à savoir deux équipes, l'une, américaine, avec des tests de suivi du regard, l'autre, française, avec une approche génétique. Le diagnostic de ce trouble du développement est rarement porté avant l'âge de 3 ans, mais nombre de spécialistes plaident pour un dépistage avant 18 mois, pour une prise en charge plus précoce.

Dans un article publié le 7 novembre dans *Nature*, les Américains Warren Jones et Ami Klin mettent en évidence un déclin des capacités de suivi du regard à partir de 2 mois chez des bébés qui vont se

révéler autistes. Les difficultés qu'ont ces patients à fixer leur entourage dans les yeux et à regarder les visages sont bien connues. Mais l'apparition de ces anomalies et leur évolution n'avaient pas été étudiées. Les chercheurs américains ont donc suivi 59 bébés à haut risque d'autisme du fait d'un antécédent dans la fratrie, et 51 sans risque particulier. A dix reprises, des tests de suivi du regard ont été pratiqués avec une méthode d'oculométrie ou *eye-tracking*, qui enregistre les mouvements oculaires à l'aide d'un système de caméras.

Alors que les capacités de fixation du regard étaient comparables au départ chez tous les nourrissons, elles se sont peu à peu altérées entre 2 et 6 mois chez ceux diagnostiqués plus tard avec un autisme. Pour les auteurs, ces résultats sug-

gèrent que les comportements d'interactions sociales sont peut-être intacts à la naissance, ce qui offrirait une fenêtre pour la mise en route d'un traitement.

« Certes, cette étude porte sur un effectif limité, mais son grand intérêt est de montrer l'évolution dans le temps de ces symptômes classiques dans l'autisme », commente le professeur Richard Delorme, pédopsychiatre et chercheur (hôpital Robert-Debré, Paris). La régression du suivi du regard apparaît donc comme un marqueur objectif, survenant avant les signes cliniques. Si ces résultats se confirment, les tests d'*eye-tracking* pourraient offrir des perspectives pour le dépistage et l'évaluation de thérapies précoces de l'autisme, conclut-il, en notant que « ces travaux font un pont entre ce que l'on

sait de l'expression des gènes liés à l'autisme, perturbée dès la vie utérine ; et les troubles cliniques qui deviennent patents au bout de plusieurs années ».

Prudence

La société française Integragen mise sur une autre stratégie : identifier des combinaisons de variants génétiques fréquents dans la population (polymorphismes nucléotidiques ou SNP) associées à un risque élevé d'autisme. Un premier test (Arisk) a été commercialisé aux États-Unis, en 2012, pour prédire le risque chez des enfants de 6 à 36 mois avec un frère ou une sœur atteint, en analysant 65 SNP dans l'ADN extrait de la salive. Coût : 2 650 dollars (1 965 euros).

Fin octobre, des chercheurs d'Integragen ont présenté de nou-

veaux résultats lors d'un congrès américain de pédopsychiatrie. En analysant le génome de 2 500 enfants autistes et de 5 000 témoins, ils ont identifié 1706 SNP d'intérêt. « Ce n'est pas un test de diagnostic, mais de prédiction du risque d'autisme destiné à des enfants suspects de troubles du développement », insiste Claire Amiet, principale auteure de l'étude. Il sera bientôt disponible aux États-Unis, mais aucune demande n'est à l'ordre du jour en Europe.

Le généticien Thomas Bourgeron (Institut Pasteur, Paris), qui a contribué à la découverte de plusieurs gènes impliqués dans l'autisme, reste sceptique. « Identifier une combinaison de variants fréquents associés à une maladie, c'est le Graal. Mais même dans la sclérose en plaques, où cela a été réalisé, cela

n'a pas abouti à des tests fiables, estime-t-il. Jusqu'ici, dans l'autisme, les études utilisant ces approches ont été toutes critiquées car elles n'ont pu être répliquées. Pour juger de la validité des données présentées par Integragen, il faut que les résultats soient publiés puis confirmés par d'autres équipes indépendantes. »

Pour le professeur Bruno Falissard, pédopsychiatre et professeur de biostatistiques, « la méthodologie et la taille de l'échantillon semblent correctes, mais le pouvoir prédictif de ce test (0,8) n'est tout de même pas excellent ». Comme d'autres spécialistes, il reste prudent sur la pertinence d'un dépistage précoce, qui peut être stigmatisant pour l'individu et sa famille, alors que l'autisme englobe des troubles de gravité très variable. ■

Le numérique à l'aide des malvoyants

TECHNOLOGIES | Les services de téléchargement de livres sonores ou en braille se développent grâce aux technologies mobiles. Reportage à la médiathèque de l'Association Valentin-Haüy

SANDRINE CABUT

Pour la première fois cette année, quand les prix littéraires ont été annoncés, ils étaient déjà disponibles pour nos adhérents en livres audio avec voix de synthèse», se réjouit Luc Maumet, responsable de la médiathèque de l'Association Valentin-Haüy (AVH), qui aide les aveugles et les malvoyants. Grâce aux nouvelles technologies et à des systèmes comme Eole, un service de téléchargement qui propose cette association depuis avril, les déficients visuels mais aussi d'autres personnes « empêchées de lire » par un handicap moteur ou physique peuvent ainsi avoir accès, presque en temps réel, aux parutions de librairie : romans, essais, livres de cuisine... Une révolution. « Quand je suis arrivé, il y a une dizaine d'années, les livres sonores étaient sous forme de cassettes, il fallait parfois attendre des années pour les emprunter », se souvient Luc Maumet en faisant visiter cette médiathèque hors norme, installée au siège de l'AVH, dans le septième arrondissement de Paris.

Pour un « voyant » non averti, le lieu est surprenant. Sur des rayonnages en bois clair s'alignent des centaines de CD aux jaquettes blanches, avec juste quelques lignes de texte en noir. Les titres peuvent aussi être identifiés par leurs références en braille, au verso. Un peu plus loin sont rangés des mètres de dossiers format A4 avec reliure spirale, tous uniformément blancs également. Cette clarté, qui contraste avec la couleur foncée du sol, aide les malvoyants à se repérer. « L'avantage des ouvrages en braille est de permettre un accès direct au texte, précise Luc Maumet. Mais l'inconvénient majeur est l'encombrement. Un roman moyen correspond à sept volumes en braille. Pour Les Bienveillants [de Jonathan Littell, Gallimard, 2006], il faut deux valises à roulettes pour contenir les 1400 pages ! » La médiathèque est aussi équipée d'appareils électroniques adaptés aux déficients visuels : lecteurs de CD et de cartes mémoire au format Daisy, norme du livre audio pour les personnes handicapées ; ordinateurs avec afficheur en braille ; téléagrandisseur qui grossit à volonté le texte d'un document standard, modifie ses couleurs, ses contrastes...

La plupart des abonnés ne viennent cependant pas sur place. Les 17 employés de la médiathèque de l'Association Valentin-Haüy, dont la moitié sont déficients visuels, fournissent pour l'essentiel des prestations à distance, avec des contacts par courriels ou téléphone et des envois postaux. Un livre audio peut être gravé à la demande et expédié en France, gratuitement.

Depuis quelques années, comme dans les autres domaines du handicap, les nouvelles technologies bouleversent le quotidien des aveugles et déficients visuels profonds ; soit 1,2 million de personnes en France, 285 millions dans le monde. Et l'émergence de services de téléchargement direct de livres sonores, qui fleurissent dans de nombreux pays, accélère encore le mouvement. Les malvoyants ont ainsi le choix entre écouter des livres sur un lecteur spécial, un ordinateur ou même un smartphone ; ou une lecture tactile avec un bloc-notes en braille électronique.

En France, une loi de 2006 a imposé aux éditeurs de donner leurs fichiers sources à des struc-



L'afficheur braille (en bas de l'image) permet une lecture tactile d'un document numérique. En haut, un téléagrandisseur.

ASSOCIATION VALENTIN-HAÜY

tures agréées, ce qui les autorise à transcrire des œuvres en audio et en braille – numérique et papier – et à les diffuser. Cette exception au droit d'auteur au nom de l'accessibilité devrait même devenir universelle puisqu'un traité mondial a été signé en juin à Marrakech.

A l'Association Valentin-Haüy, des centaines de bénévoles prêtent leur voix pour enregistrer des livres audio. Mais, de plus en plus, leur fabri-

Des centaines de bénévoles prêtent leur voix pour enregistrer des livres audio

cation se fait automatiquement, en quelques heures, avec des voix de synthèse.

Eole (<http://eole.avh.asso.fr>), l'une des bibliothèques numériques parmi les plus riches en langue française, dispose déjà de plus de 6 000 titres sonores. « En six mois, nous avons eu 1 600 utilisate-

urs et 30 000 téléchargements. L'enjeu est maintenant de faire connaître ce service à un public plus large », insiste Luc Maumet, en précisant que le téléchargement est accessible aux personnes avec un certificat médical d'un ophtalmologiste ou titulaires d'une carte d'invalidité à plus de 80 %. « Nous souhaiterions le proposer pour d'autres handicaps telles les dyslexies, comme cela se fait en Suède mais, en France, ce n'est pas légal, ajoute-t-il. Nous comblons notre retard, mais d'autres défis nous attendent : comment rendre accessible un beau livre sur des voitures de luxe ? »

Les utilisateurs d'Eole, eux, sont déjà conquis. Livres audio avec voix humaine ou de synthèse, braille numérique... Pascale Isel télécharge tous les formats. « Dans les transports, je privilégie la lecture sur mon bloc-notes braille. A la maison, j'écoute des livres audio sur iPhone, en faisant mes tâches ménagères », raconte cette aveugle de naissance et technophile (Pascale-isel.com).

« C'est un service fantastique », confirme Caroline Dunoyer, déficiente visuelle de naissance et interprète. Et quand cette grande lectrice n'est pas plongée dans un livre audio, elle écoute des journaux, dont *Le Monde*, sur smartphone, grâce à son abonnement à un service de presse vocale (<http://fr.vocalepresse.com>). Cette petite société offre un accès audio à plus de 50 titres de presse dès le jour de leur parution. ■

Malaise au Commissariat à l'énergie atomique

Deux unités de recherche sont menacées de fermeture et des projets sont reportés

DAVID LAROUSSERIE

La recherche publique subit aussi la crise. L'un de ses fleurons, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), a vu 120 de ses agents, venus de dix centres à l'appel de la seule CGT, manifester devant son siège, le 13 novembre : début octobre, l'organisme avait annoncé des projets de fermeture d'unités de recherche, ainsi que l'arrêt ou le report d'installations dans le cadre du « Programme moyen-long terme » de la période 2013-2017.

A Marcoule (Gard), le service de biologie et de toxicologie nucléaire (SBTN) doit fermer (70 personnes, dont 53 du CEA sont concernées). A Grenoble, un groupe du service de physique statistique, magnétisme et supraconductivité (SPSMS) doit cesser son activité. Aucun licenciement n'est prévu mais des « redéploiements » sur des centres plus éloignés.

A Cadarache (Bouches-du-Rhône), la mise en service de l'installation Agate de traitement des effluents radioactifs, prête à fonctionner, pourrait être reportée. A Saclay (Essonne), l'arrêt du réacteur de recherche Osiris, qui fournit aussi des radionucléides à usages médicaux, est programmé pour 2015, soit quatre ans avant le démarrage de son successeur. La liste n'est pas exhaustive. Pourtant, le budget du CEA est en hausse, selon les documents budgétaires : plus de 110 millions par rapport à l'année précédente pour la subvention d'Etat hors défense (soit 1,516 milliard d'euros) et un budget de plus de 4,5 milliards d'euros.

« C'est humiliant »

En réalité, 100 millions environ manquent pour l'activité de recherche. Car le CEA a dû investir dans la sûreté de ces installations nucléaires après l'accident de Fukushima. Il est aussi impliqué dans des activités de démantèlement... D'où le « trou » et les décisions d'économie. « Le

2 octobre, ça a été la douche froide. C'est inédit au CEA », rappelle Claire De Pascal, secrétaire de la coordination CGT du CEA.

Les personnels – notamment du SBTN et du SPSMS – ne comprennent pas ces décisions prises sans justification scientifique. « Le groupe de Grenoble est l'un des meilleurs du monde dans son domaine », rappelle William Knafo, chercheur CNRS au Laboratoire national des champs magnétiques intenses à Toulouse, et qui collabore avec Grenoble. « Nous avons mis vingt ans à construire des compétences rares en France sur la fabrication de cristaux massifs pour l'étude du magnétisme et de la supraconductivité. Je ne vois pas les économies que va générer cet arrêt », constate Jacques Flouquet, l'ex-directeur et fondateur du SPSMS. Plusieurs scientifiques ont manifesté par des lettres leur soutien à ce groupe tout en déplorant cette atteinte à la recherche fondamentale.

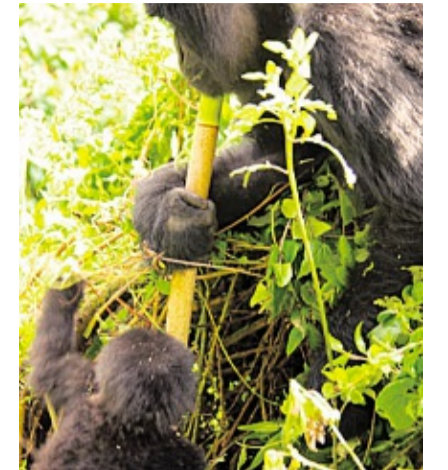
Même incompréhension à Marcoule. « C'est une injustice totale. C'est humiliant », affirme Alain Dedieu, ingénieur-

chercheur dans ce laboratoire. « Les départs du personnel seront catastrophiques. Une étude de l'Insee a montré qu'un emploi CEA dans la région génère cinq emplois locaux », rappelle Fabienne Grevellec-Gandi, déléguée CFDT à Marcoule. Elle pointe aussi les risques pour l'avenir du parc technologique créé par la région et dont le SBTN est l'un des piliers. Son collègue de la CGT, Bernard Cœur, dénonce « l'aberration de cette fermeture, alors qu'en mai un laboratoire neuf a été inauguré ». « C'est un désengagement du CEA en radiotoxicologie ! », critique M^{me} Grevellec-Gandi.

Contacté, le CEA « ne souhaite pas s'exprimer et privilégie le dialogue avec les organisations syndicales ». Ces dernières ont commandé une expertise sur la stratégie de l'organisme. Les tutelles ministérielles ont décidé de « dégeler » 21 millions de crédits 2013, utilisables en 2014. Les décisions finales sur les programmes de recherche concernés seront prises en décembre après les réunions du comité de l'énergie atomique puis du conseil d'administration. ■

TÉLESCOPE

Ethnologie
Les gorilles des montagnes savent se tendre la perche



Comparés aux chimpanzés, qui s'aident volontiers de bâtons et de pierres pour se nourrir, les gorilles sont considérés comme de piètres utilisateurs d'outils. Dans la nature, les observations sont rares : on a vu un individu utiliser un tronc pour construire un pont et un autre employer un bâton pour sonder la profondeur d'une mare. Une équipe de chercheurs du parc national des Volcans, au Rwanda, rapporte avoir vu une mère gorille des montagnes placer verticalement une perche de bambou pour permettre à son fils, en contrebas, d'y grimper pour la rejoindre. Même si l'usage d'une telle « échelle » paraît intentionnel, les chercheurs restent prudents sur l'interprétation à donner à cet épisode. (PHOTO : CYRIL GRUETER)

> Grueter et al., « Behavioural Processes », novembre 2013.

Médecine

Pilules contraceptives et glaucome : un lien à éclaircir

Une étude américaine suggère que l'usage de contraceptifs oraux pendant plus de trois ans serait associé à un risque doublé de glaucome, une affection chronique de l'œil. Ces résultats, présentés par une équipe californienne au congrès de l'Association américaine d'ophtalmologie, le 18 novembre, ont été obtenus à partir de données auprès de 3 406 femmes de 40 ans et plus. Il n'est pas précisé si le risque d'atteinte oculaire est fonction de la génération des contraceptifs. Le constat, inédit selon les auteurs de l'étude, ne démontre pas un lien de causalité entre oestrogènes et glaucome. Mais il devrait inciter, estiment-ils, à proposer une surveillance ophtalmologique aux femmes qui prennent la pilule depuis plus de trois ans, surtout en présence d'autres facteurs de risque de glaucome.

90

C'est, en secondes, le temps supplémentaire que mettent les enfants d'aujourd'hui pour courir un mile (1,6 kilomètre) par rapport à leurs pairs il y a trente ans, soit une baisse de 15 % d'endurance. Ces résultats, issus de l'analyse de cinquante études menées entre 1964 et 2010 dans vingt-huit pays, ont été présentés le 19 novembre au congrès de l'Association américaine de cardiologie par une équipe australienne. Entre 1970 et 2000, l'endurance à la course des 9-17 ans a diminué de 5 % en moyenne par décennie, et de 6 % aux États-Unis. 30 % à 60 % de ce déclin sont attribués à l'augmentation de la masse grasse.

Physique

Un état quantique quasi éternel

Une équipe internationale menée par l'université Simon Fraser au Canada a battu un record de longévité. Elle a préservé pendant trente-neuf minutes un drôle d'objet, un qubit. Ce dernier, un atome de phosphore inclus dans un cristal de silicium, est resté figé dans deux états électroniques incompatibles à la fois ; comme si une porte pouvait être en même temps fermée et ouverte. Les propriétés de tels bits quantiques promettent de réaliser des opérations de calcul beaucoup plus rapidement qu'avec les bits actuels d'information qui ne peuvent prendre qu'une seule valeur à la fois, 0 ou 1. Mais les qubits sont encore trop fragiles pour être utilisés. D'où la promesse de cette expérience, réalisée à température ambiante. L'inconvénient est qu'elle porte sur plusieurs milliards d'atomes simultanément et qui ne sont donc pas contrôlés indépendamment. > Saeedi et al., « Science », 15 novembre.



Des lymphocytes T (bleu) – responsables de l'immunité cellulaire – s'attaquent à des cellules cancéreuses pour les détruire.

STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS

Que suis-je ?

La philo bouscule la biologie

IMMUNOLOGIE

Dans le modèle classique du « soi » et du « non-soi », le système immunitaire protège l'organisme des agressions en reconnaissant les intrus. Mais ce paradigme craque de toute part. Un philosophe, un physicien et un biologiste proposent une alternative

NICOLAS CHEVASSUS-AU-LOUIS

La « une » de la revue *Nature Reviews Immunology* d'octobre annonçait un article signé d'un trio improbable : un philosophe, un physicien et un biologiste. « Notre article propose un double formalisme philosophique et mathématique pour des données expérimentales d'immunologie », explique Eric Vivier, directeur du Centre d'immunologie de Marseille-Luminy et dernier signataire de l'article. A la clé : une nouvelle théorie du fonctionnement du système immunitaire alternative à celle, aujourd'hui hégémonique, du « soi » et du « non-soi ».

Cette théorie, formulée dans les années 1940 par le virologue australien Frank Macfarlane Burnet (Prix Nobel de physiologie et de médecine en 1960), énonce que le système immunitaire protège l'organisme contre les agressions extérieures en distinguant au niveau moléculaire le soi (les cellules de l'organisme) du non-soi. Pourtant, ce socle théorique de l'immunologie moderne, que l'on trouve exposé dans tous les manuels de biologie, se fissure de toute part. Depuis une quinzaine d'années, les biologistes ont découvert plusieurs phénomènes qu'il est difficile d'expliquer dans ce cadre théorique.

Le système immunitaire peut ainsi attaquer le soi. C'est ce qui se produit dans les

maladies auto-immunes, comme le diabète de type 1. Même hors de toute pathologie, certains lymphocytes (une des catégories de cellules du système immunitaire, ils sont également connus sous le nom familier de globules blancs), dits à large spectre, sont activés par des motifs biochimiques du soi. A l'inverse, le système immunitaire n'attaque pas certaines cellules faisant manifestement partie du non-soi.

C'est le cas des innombrables bactéries qui vivent à la surface des muqueuses (intestin, poumon...) mais aussi, plus rarement, à l'intérieur du corps, chez tout organisme sain. Ou encore celui des cellules échangées, lors de la grossesse, entre l'organisme maternel et le fœtus. Même si elles sont peu nombreuses (au maximum, une cellule maternelle pour mille cellules de l'organisme, selon des dénombrements faits chez la souris), ces cellules persistent la vie durant, tant dans l'organisme de l'enfant que dans celui de sa mère, alors qu'elles n'ont pas le même patrimoine génétique et devraient donc être reconnues comme faisant partie du non-soi.

Plus troublant encore, on sait à présent que des cellules du système immunitaire échangent transitoirement des fragments de leurs membranes avec d'autres cellules, même si elles sont étrangères au corps. Ce phénomène, dit de trogocytose (du grec *trogo* : ronger, grignoter), aboutit donc à un échange d'identité immunologique qui

brouille un peu plus la distinction supposée cardinale entre soi et non-soi.

Spécialiste des cellules *natural killer* (NK), un type de lymphocytes qui attaquent de manière innée toute cellule anormale, Eric Vivier s'étonnait, depuis plusieurs années, de certaines propriétés déroutantes des cellules qu'il étudiait. L'activité de ces dernières est régulée par la balance entre deux phénomènes opposés.

Le système immunitaire peut attaquer le soi dans les maladies auto-immunes, comme le diabète de type 1, par exemple

D'une part, une activation, par des molécules présentes à la surface, soit des cellules étrangères au corps, soit des cellules du corps modifiées par une pathologie (par exemple parce qu'elles sont devenues tumorales). D'autre part, une inhibition par d'autres molécules présentes à la surfa-

ce des cellules d'un organisme sain donné. Pourtant, ces effets, tant activateurs qu'inhibiteurs, cessent dès que la stimulation, ou son absence, se prolonge. Tout se passe donc, se disait Eric Vivier, comme si ce n'était pas la stimulation par une molécule, mais plutôt la variation au cours du temps de cette stimulation, qui déclenchait l'activité des cellules NK.

De son côté, Thomas Pradeu, maître de conférences en philosophie à l'université Paris-Sorbonne, avait proposé dans sa thèse de philosophie, soutenue en 2007 et, depuis, publiée en français et en anglais, une théorie de l'immunité appuyée tant sur sa réflexion épistémologique que sur sa parfaite connaissance des données expérimentales de l'immunologie : la théorie de la continuité/discontinuité, selon laquelle une réponse immunitaire est induite non par le non-soi comme tel, mais par l'apparition soudaine de motifs antigéniques différents de ceux avec lesquels le système immunitaire est habitué à réagir.

L'article de *Nature Reviews Immunology* est né de la rencontre de ces deux cheminement intellectuels parallèles. Son troisième signataire, le physicien spécialiste de modélisation Sébastien Jaeger, qui travaille lui aussi au Centre d'immunologie de Marseille-Luminy, est venu apporter au duo du philosophe et de l'immunologiste la formalisation mathématique de leur théorie.

La réponse immunitaire, soutiennent les trois chercheurs, n'est pas déclenchée par

Le microbiote, un élément protecteur essentiel

Le corps humain est constitué de quelque mille milliards de cellules... mais de dix à cent fois plus de cellules bactériennes, de venter ses muqueuses (intestin, poumon, peau, etc.). L'ADN humain compte environ 20 000 gènes, mais l'ensemble des ADN des micro-organismes (bactéries, virus et champignons) présents en permanence à la surface ou à l'intérieur du corps humain en compte plus d'un million. Et les preuves s'accumulent que ce microbiote assure des fonctions essentielles pour la digestion ou la protection contre les infections. Dès lors, qu'est-ce qu'un individu humain ? L'ensemble de ses cellules ? Ou l'écosystème qu'elles forment avec le microbiote ?

L'immunologiste Gérard Eberl, chef de l'unité de développement des tissus lymphoïdes de l'Institut Pasteur, à Paris, a proposé, dans la revue *Mucosal Immunity* (septembre 2010), une théorie de l'immunité répondant à cette nouvelle donne née de la découverte de l'importance physiologique du microbiote. « Le système immunitaire n'est pas un tueur combattant ses ennemis, mais une force qui équilibre l'environnement microbiologique pour permettre à l'organisme de se développer dans les meilleures conditions », explique M. Eberl. Cette théorie considère le

corps humain comme un super-organisme, terme habituellement utilisé pour décrire le fonctionnement de la fourmière ou de la ruche. La différence est que le super-organisme humain est constitué de populations très différentes : cellules humaines d'un côté, cellules bactériennes de l'autre.

Théorie du super-organisme

Le microbiote serait ainsi un des organes du corps humain, certes non indispensable à sa survie, mais sûrement utile à son efficacité. Les souris élevées dès leur naissance en milieu stérile, donc dépourvues de microbiote, ont ainsi besoin d'un apport alimentaire supérieur de 20 % à 30 %, faute de bénéficiaire de la digestion des aliments assurée par les bactéries de leur intestin.

Le rôle du système immunitaire, soutient M. Eberl, serait d'assurer l'équilibre dynamique entre les différents composants de ce super-organisme. L'effectif et la composition des populations bactériennes seraient régulés par le système immunitaire, comme le sont d'autres paramètres physiologiques – typiquement le taux de sucre dans le sang – dont la stabilité est indispensable au fonctionnement du corps.

« Un système immunitaire trop faible expose le super-organisme à un changement de comportement de ses bactéries com-

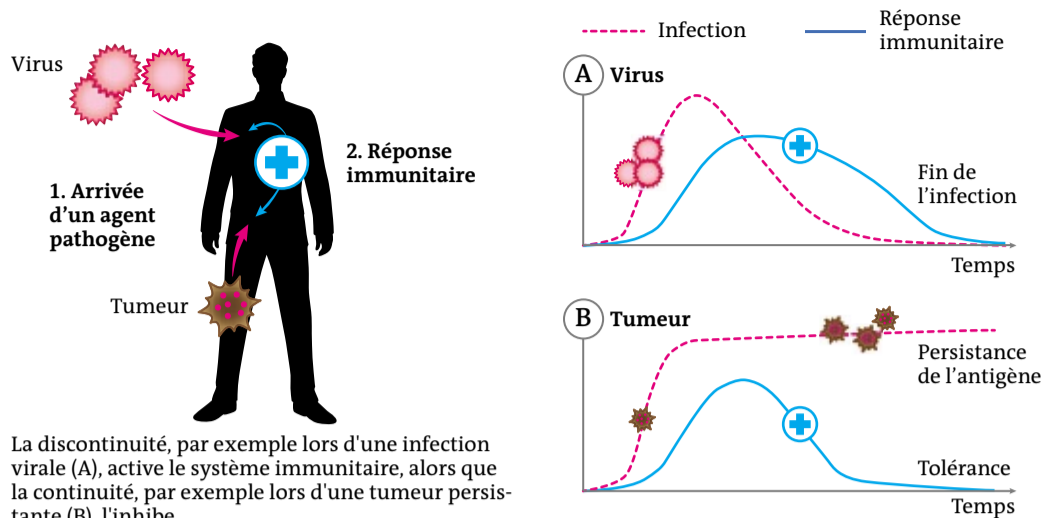
mensales en pathogènes. A l'inverse, un système trop fort cause l'altération ou la destruction partielle du microbiote, et donc la perte de fonctions qu'il assure. L'idée-clé est que le système immunitaire est en activité perpétuelle, et non seulement lorsqu'il est exposé à des pathogènes », résume Gérard Eberl.

Pour Alain Trautmann, du département immunologie et hématologie de l'Institut Cochin (Paris) : « Cette théorie est intéressante à l'échelle d'un organe, comme l'intestin et la flore microbienne qui lui est associée, qui doivent clairement être compris comme un tout. Mais il est difficile de l'appliquer à un niveau d'organisation supérieur. A l'échelle de l'évolution humaine, et même s'il y a eu coévolution des humains et des bactéries, la pression de sélection se porte en effet sur l'individu, non sur les bactéries qui y vivent, puisque ces dernières peuvent avoir d'autres hôtes que l'espèce humaine. »

Le chercheur reconnaît cependant à la théorie du super-organisme le mérite d'être une des premières à tenter d'intégrer, dans une théorie du système immunitaire, le rôle du microbiote, « face cachée de la planète microbe-homme » pour reprendre le titre du prochain cours du microbiologiste Philippe Sansonetti, professeur au Collège de France. ■

N. C.-A.-L.

Prédictions de la théorie de la discontinuité



La discontinuité, par exemple lors d'une infection virale (A), active le système immunitaire, alors que la continuité, par exemple lors d'une tumeur persistante (B), l'inhibe.

SOURCE : PRADEU, JAEGER, VIVIER

20 000

C'est, environ, le nombre de gènes que compte l'ADN humain. Mais l'ensemble des ADN des micro-organismes (bactéries, virus et champignons), présents en permanence à la surface ou à l'intérieur du corps humain, en compte plus de 1 million.

l'exposition au non-soi, mais par la variation soudaine des motifs moléculaires – la discontinuité – auxquels le système immunitaire est exposé. Cette variation peut être de nature qualitative, ce qui est le cas lorsque le non-soi d'un agent pathogène inconnu pénètre dans l'organisme.

Mais aussi quantitative, que ce soit dans le temps (comme lorsqu'un des espèces bactériennes de la flore intestinale connaît soudain une rapide croissance, à la suite d'une antibiothérapie ayant éliminé les autres espèces) ou dans l'espace (des bactéries normalement présentes dans les poumons causent ainsi des méningites lorsqu'elles font irruption dans le liquide céphalo-rachidien dans lequel baigne le cerveau).

« Notre théorie de la discontinuité ne va pas contre la théorie du soi et du non-soi, mais l'englobe dans un cadre plus large, qui

Cette collaboration inédite illustre l'importance des enjeux philosophiques que pose l'immunologie

permet de comprendre des phénomènes que l'on ne pouvait expliquer », souligne Eric Vivier. Une des vertus de la théorie de la discontinuité est de montrer les difficultés du système immunitaire à faire face à des infections chroniques, mais aussi à l'apparition de tumeurs formées de cellules modifiées qui devraient, selon la théorie du soi et du non-soi, être reconnues comme étrangères au corps et détruites.

« La théorie de la discontinuité est importante, car elle permet d'expliquer des phénomènes inintelligibles dans le cadre de la théorie du soi et du non-soi, remarque l'immunologiste Edgardo Carosella, de l'hôpital Saint-Louis à Paris, mais il faut à présent aller vers l'expérience pour en tester la pertinence. Malheureusement, le financement de la recherche par projet, qui encourage les travaux appliqués, et l'organisation de la recherche française qui fait que, contrairement à ce qui se passe dans d'autres pays, les philosophes des sciences ne travaillent pas dans les laboratoires risquant d'empêcher d'avancer rapidement dans cette voie. »

Alain Trautmann, du département immunologie et hématologie de l'Institut

Cochin (Paris), trouve intéressante l'insistance de la théorie de la discontinuité sur la cinétique des réponses immunitaires mais s'interroge sur le niveau d'organisation auquel elle est applicable. « La théorie me semble bien rendre compte de ce qui se passe au niveau élémentaire des cellules, mais pas au niveau du système immunitaire pris dans son ensemble, qui possède des propriétés émergentes et réagit à d'autres phénomènes que la discontinuité. »

De son côté, l'immunologiste Polly Matzinger, du National Institute of Allergy and Infectious Diseases américain, juge que « la théorie de la discontinuité est intéressante pour expliquer le fonctionnement des cellules NK et des macrophages [un autre type de cellules de l'immunité innée], mais [qu'elle] ne permet guère d'expliquer l'ensemble des données dont on dispose sur l'activation du système immunitaire, en particulier des lymphocytes ».

L'injection chez la souris, souligne la chercheuse, d'une quantité massive d'anticorps humains cause une réponse immunitaire s'ils sont agrégés entre eux, mais pas s'ils sont solubles. « Dans les deux cas, il y a discontinuité, mais il n'y a réponse immunitaire que dans un seul, ce qui montre que la discontinuité ne peut être le seul paramètre explicatif de l'induction d'une réponse immunitaire », observe l'immunologiste.

« L'intérêt d'une théorie est de pouvoir produire des prédictions que l'on peut tester expérimentalement », répond Eric Vivier. L'idée semble un lieu commun de philosophie des sciences, mais force est de constater que la course effrénée à la publication de nouvelles expériences, à laquelle on assiste depuis une dizaine d'années, s'est accompagnée d'un affaiblissement de la réflexion théorique en biologie.

Immunités innée et acquise

Une réaction immunitaire comprend deux composants. La première est innée et non spécifique, c'est-à-dire qu'elle est la même quel que soit l'agent déclenchant l'activation du système immunitaire. Elle implique la destruction des cellules étrangères, ou reconnues comme telles, par des cellules spécialisées comme les macrophages ou les lymphocytes *natural killer*. La seconde est acquise et spécifique. Elle implique notamment la production, par une sous-famille de lymphocytes (B), d'anticorps se liant à l'agent pathogène pour entraîner sa destruction. Les réactions acquises sont plus fortes lors de la seconde exposition à l'agent étranger. L'immunité acquise assure donc la mémoire du système immunitaire. C'est sur elle que repose le principe des vaccinations. Depuis une dizaine d'années, l'étude de l'immunité innée, un temps considérée comme moins importante, connaît un net regain d'intérêt. Le Français Jules Hoffmann, colauréat du prix Nobel de physiologie et de médecine 2011, a ainsi obtenu la prestigieuse distinction pour ses découvertes sur les mécanismes de l'immunité innée chez l'insecte.

A tel point que M. Vivier et ses collaborateurs ont dû argumenter, dans leur article de *Nature Reviews Immunology*, sur l'utilité des théories pour la recherche ! Que prédisait la théorie de la discontinuité ? Que, dans les maladies auto-immunes, le motif biochimique du soi devenu immunogénique varie au cours de l'évolution de la maladie. Ou encore que les modifications non pathologiques du soi, telles que celles que l'on observe au moment de la puberté ou de la grossesse, se font de manière progressive, ce qui permettrait au système immunitaire de s'y habituer. Le trio du philosophe, du physicien et du biologiste réfléchit actuellement aux meilleures expériences à mener pour tester la validité de ces prédictions de la théorie de la discontinuité.

Cette collaboration inédite illustre en tout cas l'importance des enjeux philosophiques que porte l'immunologie. L'étude des subtilités moléculaires des lymphocytes et des anticorps pose en effet, en filigrane, des questions chères à la métaphysique : qu'est-ce qu'un individu ? Qu'est-ce qui fonde son unicité ? Son identité ?

Comme l'écrivait la médecin et philosophe Anne-Marie Moulin dans le *Dictionnaire de la pensée médicale* (PUF, 2004) : « L'immunologie contemporaine est une science biologique privilégiée en ce qu'elle suscite et alimente la réflexion philosophique sur le destin de l'organisme humain. Plusieurs des questions qu'il intéressent, la survie, l'identité, la naissance et la mort, sont des questions qui concernent à la fois le biologiste et le philosophe. »

L'immunologie contemporaine connaîtrait ainsi un retour à ses sources philosophiques. N'est-ce pas chez John Locke, dans son *Essai sur l'entendement humain* (1690), qu'apparaît pour la première fois le concept de soi ? ■

« La philosophie nourrit les sciences et se nourrit d'elle »

Maître de conférences en philosophie des sciences à l'université Paris-Sorbonne, Thomas Pradeu est l'auteur des *Limites du soi. Immunologie et identité biologique* (Les Presses de l'université de Montréal/Vrin, 2010).

Comment le philosophe que vous êtes en est-il venu à s'intéresser à l'immunologie ?

A première vue, la philosophie et l'immunologie semblent deux domaines très opposés. Néanmoins, la philosophie a toujours été une activité qui nourrit les sciences et qui se nourrit d'elles. Même si le savoir scientifique est devenu infiniment complexe, je crois que l'on peut toujours s'inscrire dans cette tradition, à condition de se placer à une échelle très localisée : celle d'une discipline.

On ne peut pas faire de la philosophie des sciences féconde sans maîtriser le savoir d'au moins un domaine scientifique. Dans mon cas, c'est l'immunologie qui m'a intéressé, parce que cette science traite de questions de nature directement philosophique, comme celle de l'individu et de son identité.

J'ai eu la chance de rencontrer des immunologistes qui m'ont accueilli dans leurs laboratoires même si, faute de temps, j'ai choisi de ne pas faire moi-même d'expériences. J'ai ainsi une conception interventionniste de la philosophie des sciences, selon laquelle les philosophes des sciences doivent travailler avec les scientifiques, dialoguer avec eux et, si possible, apporter des contributions utiles à la science.

Comment les philosophes peuvent-ils aider les scientifiques ?

Il faut reconnaître lucidement que, dans la plupart des cas, la philosophie des sciences ne change rien aux sciences sur lesquelles elle travaille. Ce n'est d'ailleurs pas toujours son but. Mais lorsque les philosophes aident réellement les scientifiques, c'est par l'élucidation conceptuelle, en leur disant en substance : nous nous sommes intéressés à vos débats, et voici ce que nous pensons des concepts que vous utilisez.

C'est ce qu'a fait le philosophe de la biologie américain David Hull (1935-2010) avec la notion d'unité de sélection en biologie de l'évolution. La question était de savoir si la sélection naturelle s'opère au niveau des gènes, des organismes ou des groupes d'organismes. Il y avait des milliers d'articles sur cette question, et une grande confusion que

M. Hull a démolie en montrant que par « unité de sélection » chacun n'entendait pas la même chose.

Cet apport a été reconnu par les plus grands biologistes, Stephen Jay Gould par exemple. A mon modeste niveau, j'ai essayé de faire quelque chose d'analogue en montrant qu'il existe cinq définitions différentes du terme « soi » en immunologie et que les immunologistes, lorsqu'ils l'emploient, ne parlent pas toujours de la même chose.

Vous semble-t-il possible d'avoir une théorie générale de l'immunité ?

Il me semble que oui, et que c'est une tâche importante. Elle constitue l'autre aspect par lequel les philosophes peuvent contribuer à la science. Les physiciens sont familiers de cette recherche de théories de plus en plus englobantes, mais les biologistes ont moins cette tradition de pensée, à l'exception notable du domaine de la biologie de l'évolution.

L'immunologie est aujourd'hui très compartimentée : un spécialiste des lymphocytes n'est pas un spécialiste des macrophages, un chercheur travaillant sur l'immunité des insectes n'a pas toujours le temps de lire ce qu'écrit son collègue travaillant sur les tumeurs de souris.

Les philosophes peuvent contribuer à adopter un regard englobant en créant du liant entre ces compartiments de la recherche en immunologie, mais aussi entre les différents domaines de la biologie (par exemple entre l'immunologie et la neurologie ou la biologie du développement). D'une part parce qu'ils ont davantage le temps de le faire, puisqu'ils ne sont pas pris par le travail expérimental. Et d'autre part parce qu'ils ont l'habitude, la philosophie travaillant souvent sur l'applicabilité de concepts à des situations différentes.

C'est ce que j'ai essayé de faire en fondant la théorie de la continuité/discontinuité sur des exemples choisis dans l'immunologie des plantes ou de la drosophile, et non pas seulement dans l'immunologie des mammifères. Cette idée de construire une théorie unifiante de l'immunologie a été un objectif majeur de ma collaboration avec Eric Vivier et Sébastien Jaeger (Centre d'immunologie de Marseille-Luminy).

Je crois donc que la philosophie peut contribuer à la science par ces deux voies, celle de la clarification des concepts et celle de la construction des théories. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR
N. C.-A.-L.

Images fantasmées des âges farouches

LE LIVRE

Un historien décrit comment, entre science et imaginaire, se sont construites nos représentations de la préhistoire

LAURENT BRASIER

Chacun voit l'aube de l'humanité à sa porte, des braises fébrilement entretenues de *La Guerre du feu* au bikini de Raquel Welch en passant par les mèches blondes de Rahan. Car il y a la préhistoire – celle que les chercheurs tentent de reconstituer – et notre préhistoire – celle qui nous est enseignée, racontée et montrée, et qui n'a parfois que peu à voir avec la première.

Docteur en histoire de Paris-IV - Sorbonne, Pascal Sémont s'attache à décrypter minutieusement la fabrique de ce passé du fantasme depuis 1940 (découverte de Lascaux). Le corpus sur lequel il fonde ses analyses est imposant : l'enseignement, la littérature (233 romans, rééditions incluses, dont la séminale *Guerre du feu*, de J.-H. Rosny aîné), la bande dessinée, le cinéma, la peinture (le Tchèque Zdenek Burian, qui a marqué des générations entières), ainsi que des sources complémentaires, dont la télévision.

La première partie, consacrée à ces vecteurs de diffusion, souffre d'un effet catalogue. Mais elle montre bien comment les médias conditionnent étroitement nos représentations (Jean-Jacques Annaud se passionna pour l'adaptation en bande dessinée de *La Guerre du feu*, en 1953, dans *Le Journal de Mickey*) et souligne la « descente aux enfers » de la préhistoire dans les programmes et manuels scolaires.

Le livre passe ensuite en revue, de façon plaisante et très complète, les thèmes autour desquels s'organise notre imaginaire. La science préhistorique (mal assurée, incomplète, voire conjecturale pour l'école); le préhistorien (« homme fort, grand, moustachu ou barbu, portant très souvent des lunettes auxquelles s'ajoute, dans les années 1990, la calvitie »); le préhistorique. On retiendra de ce dernier qu'il est presque toujours un homme (le machisme opère à plein), mais n'est jamais petit, jamais faible – et jamais gros : dans ses notes pour un film de préhistoire qu'il ne réalisa jamais, Marcel Pagnol indiquait qu'il ne fallait que « très peu d'hommes gras » parmi les personnages.

Le reste de l'ouvrage s'attache à décrypter nos représentations sur le quotidien préhistorique : vie en groupe, place (réduite) de la femme, habitat et environnement, rapport à l'animal et à la mort, puis il se clôt sur les deux productions majeures de notre esprit, la spiritualité et l'art.

Dans ces temps premiers soumis aux brutalités de la nature et d'où s'évade une véritable arche de Noé de crocs et de griffes, l'homme préhistorique se fond dans la masse animale par sa méchanceté et sa violence.

Le pessimisme qui sous-tend cette vision, montre Pascal Sémont, découle directement de la façon dont notre société en transformation se pense et s'inscrit dans le « progrès » : le nomade cède sa place au sédentaire quand la répartition de la population entre villes et campagnes se fige; le feu disparaît des livres de classe lorsqu'il se trouve évincé de nos cuisines.

La popularité de la préhistoire, suppose l'auteur en conclusion, vient peut-être de ce que sa représentation agit « comme un antidote au doute et à l'angoisse ».

Le Passé du fantasme. La représentation de la préhistoire en France dans la seconde moitié du XX^e siècle (1940-2012), de Pascal Sémont (Editions Errance, 454 p., 46 €).

Livraison

Anniversaire

« Science & Vie », jeune centenaire

Depuis sa première livraison en avril 1913, la revue *Science & Vie* a publié 170 000 pages, 40 000 articles dans 1147 numéros. Pour célébrer son anniversaire, le mensuel réunit dans un coffret deux gros volumes, l'un rassemblant les « meilleurs articles du siècle », l'autre retraçant cent ans de découvertes, d'avancées médicales et techniques et de controverses sur leurs effets sur la société.

► « **Témoignage d'un siècle Science & Vie 1913-2013** » (Télémaque-Mondadori, 1 000 p., 75,50 € jusqu'au 31 janvier 2014, 89 € ensuite).

Le sport en chambre en est-il vraiment un ?



IMPROBABLOGIE

Pierre Barthélémy

Journaliste et blogueur
(Passeurdessciences.blog.lemonde.fr)
(PHOTO : MARC CHAUMEIL)

La science improbable ose tout et c'est même à ça qu'on la reconnaît. Rien ne l'arrête, pas même les frontières de l'intime et de l'alcôve. On se souvient par exemple du chercheur britannique Giles Brindley qui n'hésita pas,

lors d'un colloque d'urologie à Las Vegas en 1983, à baisser culotte pour montrer au public tétanisé le prodigieux effet d'une injection de papavérine dans son propre pénis, inaugurant l'ère de l'érection médicamenteuse. On n'oubliera pas non plus cette étude dans laquelle des couples avaient été mis à contribution pour analyser les échanges de poils pubiens lors des rapports sexuels, le tout au profit de la police scientifique. Et voilà que, dans un article publié, en octobre, dans la revue *PLoS One*, une équipe canadienne vient apporter la réponse à une question fameuse : le sport en chambre en est-il vraiment un (de sport) ?

Le sujet n'est pas vraiment nouveau et, depuis un demi-siècle au moins, la science a tenté de mesurer les efforts consentis dans les galipettes de matelas. Ainsi, en 1966, après onze ans d'observations (faut ce qu'il faut), une étude impliquant près de 700 volontaires âgés de 18 à 89 ans avait-elle noté une accélération du rythme cardiaque et de la respiration et une hausse de la tension artérielle. D'autres expériences avaient par la suite été menées, avec électrocardio-

gramme et mesure de la consommation d'oxygène, mais aucune n'avait tenté d'évaluer le nombre de calories brûlées durant l'acte d'amour.

Nos médecins canadiens notent que les travaux de leurs prédécesseurs comportent d'« importantes limites méthodologiques ». Primo, ils ont tous été pratiqués en laboratoire, et non dans l'environnement habituel des grands singes humains. Secundo, l'équipement utilisé à l'époque s'avérait peu adapté à ces ébats. A moins d'aimer s'embrasser à travers un masque ou de se servir des câbles reliés aux électrodes pour s'attacher ou se fouetter, tout cela n'était guère pratique et risquait de fausser le naturel et l'élan nécessaires à l'expérience (surtout si un laborantin vous observait par un hublot pour s'assurer que vous n'abîmiez pas le matériel).

Il a donc fallu trouver un protocole plus respectueux de l'intimité. Heureusement, la miniaturisation des appareils est passée par là. Vingt et un jeunes couples hétérosexuels et en bonne santé ont été recrutés avec pour mission de faire une fois par semaine l'amour pendant un

mois, en n'oubliant pas de mettre un simple brassard bourré de capteurs chargés de mesurer la dépense énergétique et l'intensité de l'effort, minute par minute.

Chacun des cobayes devait aussi remplir un questionnaire sur la fatigue et le plaisir ressentis... et passer une demi-heure à courir sur un tapis roulant, pour avoir un point de comparaison sportif.

La première semaine a, en moyenne, été la plus physique (sans doute histoire de montrer à ces chercheurs tout ce dont on était capable), mais les choses se sont calmées ensuite et, au bout d'un mois, les chiffres ont parlé. L'affaire dure entre 10 et 57 minutes, avec une moyenne à 25 minutes. Les hommes dépensent 101 calories et les femmes 69, alors qu'en trottant sur le tapis roulant les premiers ont brûlé en moyenne 276 calories et les secondes 213.

Bref, il y a mieux comme préparation aux Jeux olympiques que le mille-pattes paillard, le perroquet qui sanglote, la brouette japonaise, la marmite à tourniquet, le tournedos béarnaise et le derviche à grand braquet chers à Bobby Lapointe. ■



La comète ISON dans la zone de danger

Repérée en septembre 2012 par deux astronomes russes alors qu'elle se trouvait à près de 1 milliard de kilomètres de la Terre, la comète ISON se rapproche du Soleil, qu'elle doit en principe contourner le 28 novembre. Ce sera l'épreuve de vérité pour cette comète rasante (« sungrazer ») qui risque

alors de se désintégrer. A l'approche de notre étoile, sa chevelure de glace s'est illuminée ces derniers jours. Les astronomes amateurs s'en donnent à cœur joie, espérant qu'elle deviendra assez brillante pour mériter le qualificatif de « comète du siècle ». ■ (PHOTO : DAMIAN PEACH)

Voyage au bout du bruit



LES COULISSES DE LA PAILLASSE

Marco Zito

Physicien des particules,
Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives
(PHOTO : MARC CHAUMEIL)

Aux Etats-Unis, l'expérience LUX, avec un détecteur constitué de 300 kg de xénon liquide, vient de dévoiler ses résultats : elle exclut une large plage des paramètres de la matière noire et contredit d'autres expériences qui avaient donné des

indications positives. « Ces mesures sont dominées par le bruit de fond », commente un collègue, ce qui est typique de la physique expérimentale.

Pour comprendre pourquoi, il suffit de regarder le ciel nocturne. On distingue très clairement les étoiles les plus lumineuses, puis d'autres plus faibles. Jusqu'au point où vous ne serez plus sûr si vous voyez réellement un objet ou juste une tache plus claire qui ne correspond à rien. Selon l'acuité visuelle et la pollution lumineuse, ce seuil de vision sera différent, mais, comme l'œil, tout appareil de mesure butera sur une limite. Si vous essayez de déceler des voix de plus en plus lointaines, il arrive un moment où elles sont noyées dans un grésillement d'une autre origine.

« Bruit de fond », ou simplement « bruit », est par ailleurs le nom qu'on donne à ce niveau de perturbations omniprésentes.

Les chercheurs passent une partie de leur vie à extraire de faibles signaux au milieu de ce bruit de fond. Toutes les sources les plus intenses ont déjà été observées, et il nous faut « gratter » dans les bruits pour voir plus loin. On essaye

d'abord d'améliorer la sensibilité de l'instrument de mesure. On pourra ainsi perfectionner les techniques de détection jusqu'à ce qu'elles soient sensibles à la plus petite quantité de signal, par exemple un seul photon, ou bien réduire le niveau de bruit.

Comme une partie de ce bruit est provoquée par l'agitation thermique, on peut refroidir l'instrument de mesure, parfois jusqu'au voisinage du zéro absolu. Ou bien changer d'environnement, en envoyant le détecteur dans l'espace, sur un satellite, ou bien en plongeant le détecteur dans les entrailles de la Terre, pour réduire les rayons cosmiques.

Le résultat est souvent une nouvelle technique qui pourra s'employer dans tout autre domaine de l'activité humaine. Ainsi, des détecteurs de physique de particules sont utilisés dans la détection des feux de forêt, dans le secteur médical ou dans des procédés industriels.

On s'efforce ensuite d'être plus astucieux que le bruit. Il s'agit tout d'abord de comprendre celui-ci et de le caractériser. Pour ce faire, on définit des régions des paramètres mesurés, dominées par le bruit, et

on s'en sert comme des échantillons de contrôle.

Souvent, ce sont d'autres propriétés du signal recherché qui sont fondamentales. Ainsi, dans le cas de la recherche des neutrinos venant du Soleil, on a pu se convaincre de la vraie origine de ce signal en observant que le nombre de neutrinos variait légèrement au cours de l'année, à cause du changement de la distance entre la Terre et le Soleil. Si le dicton « le signal d'aujourd'hui est le bruit de fond de demain » est souvent vérifié, on peut parfois observer le processus inverse.

Si vous avez une télé à l'ancienne, de type analogique, vous aurez remarqué la « neige » qui remplit aléatoirement les pixels, quand vous cherchez manuellement une chaîne. Une partie de ce bruit est due au rayonnement fossile, des photons émis quand l'Univers était très jeune. Ce bruit est devenu un de nos signaux les plus intéressants !

D'ailleurs, vu la qualité de certaines émissions télé, on peut se demander si le signal de certaines chaînes n'est pas simplement un autre bruit nuisible. ■

GILLES VAN KOTE

Mascate (Oman), envoyé spécial

Chez Maurizio Tosi, c'est l'appétit qui prévaut. Un appétit de découvertes qui a fait de lui un des grands archéologues de l'époque, pour avoir imposé l'idée d'une interconnexion entre les civilisations de la vallée de l'Indus ou de Mésopotamie et la péninsule Arabique. Une envie d'engagement qui l'a conduit à collaborer pendant près de vingt ans avec les services secrets du bloc soviétique. Une faim de l'existence qui colle avec son physique gargantuesque et une vie privée chaotique qu'il dévoile avec une touchante impudeur.

En cette brûlante journée de septembre, à Mascate, dans ce sultanat d'Oman dont il fouille les sols depuis trois décennies, Maurizio Tosi dévore un mezzé libanais dans un de ses restaurants favoris, mais le cœur n'y est pas vraiment. Un cruel deuil familial, la solitude de la vie dans la capitale omanaise, où il passe la moitié de l'année depuis qu'il a été nommé, en 2010, conseiller du sultan Qabous Ben Al-Saïd pour l'archéologie, la saison des fouilles qui ne reprendra que dans quelques semaines, quand les températures diurnes seront redevenues supportables : l'heure est aux confidences.

A deux reprises dans sa carrière, Maurizio Tosi s'est trouvé au bon endroit au bon moment. En 1967, tout juste sorti de l'université de Rome, il part pour le sud-est de l'Iran participer à des fouilles et découvrir, avec d'autres, Shahr-e-Soukhteh (la ville brûlée, en farsi), site proto-urbain majeur datant de l'âge de bronze. C'est le début d'une passion qui le verra labourer cette région du monde, du Pakistan au Yémen, d'Oman au Turkménistan.

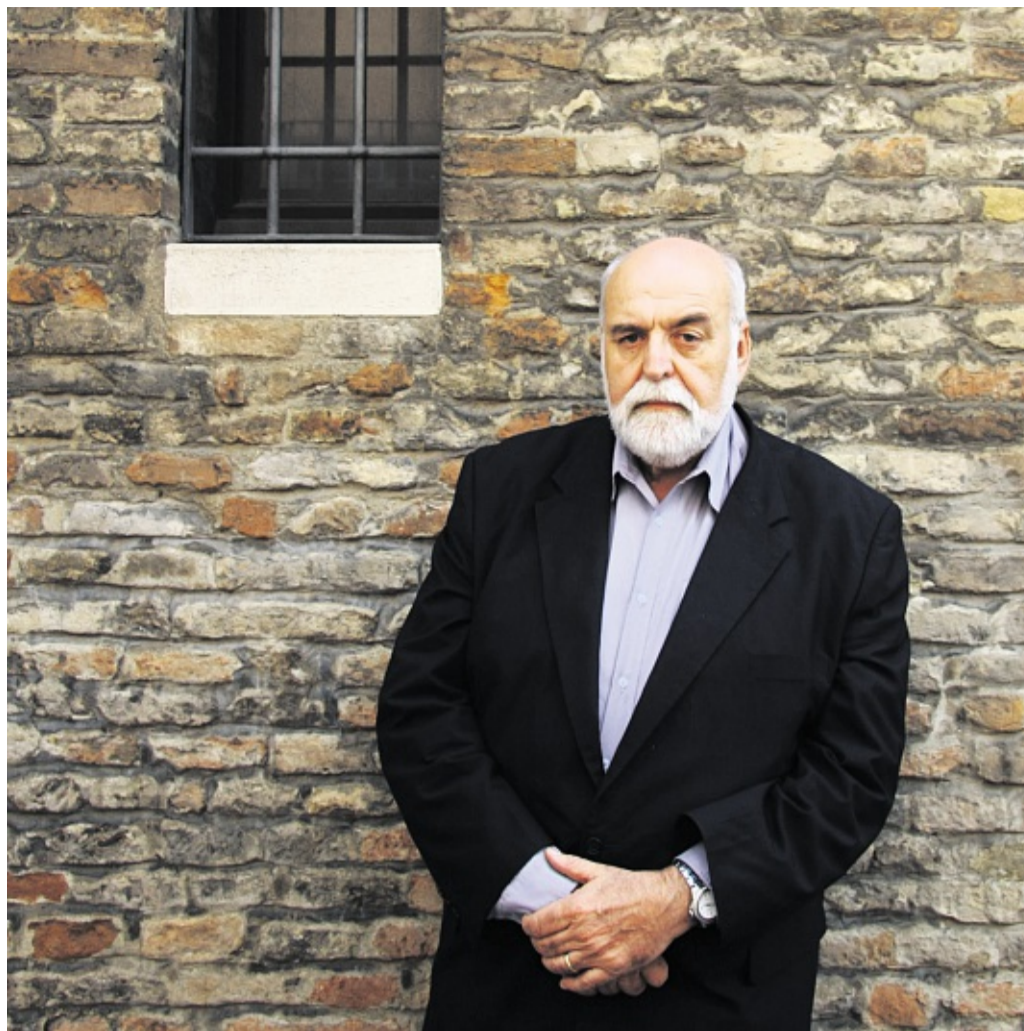
Le deuxième jalon est posé par le jeu du hasard le jour de Noël 1981. Le scientifique italien, dont les premières missions dans le sultanat d'Oman datent de 1975, se trouve sur une plage du Ras Al-Jinz, le cap le plus oriental du pays, pour y voir pondre les tortues marines. Il se penche, ramasse un morceau de poterie portant des inscriptions. Celles-ci se révèlent provenir de la civilisation harappéenne, dans l'actuel Pendjab pakistanais, qui connut son apogée au III^e millénaire avant Jésus-Christ.

Voilà établie l'existence de liens anciens entre la péninsule Arabique et la vallée de l'Indus. « L'Arabie était jusqu' alors considérée comme un cul-de-sac de l'histoire où pas grand-chose ne s'était passé, témoigne l'archéologue français Vincent Charpentier, collaborateur et ami de

« Ici, tout est visible et intact, on trouve partout des sites des V^e et IV^e millénaires avant Jésus-Christ »

Maurizio Tosi. Maurizio a montré non seulement que de grandes civilisations y ont existé, mais aussi qu'elles étaient connectées avec la Mésopotamie et l'Indus. »

Dès lors, au côté de son ami Serge Cleuziou, archéologue français disparu en 2009, le géant italien va consacrer une grande partie de son énergie à révéler les mystères de Magan, région riche en cuivre citée dans des textes cunéiformes remontant à 2300 ans avant Jésus-Christ, qui se serait trouvée dans la région actuellement occupée par le sultanat. « Nous avons affirmé à une civilisation arabe qui n'est basée ni sur la hiérarchie ni sur l'urbanisation, mais sur des



DENNIS FRENEZ

Maurizio Tosi, archéologue et ex-espion

PORTRAIT | Conseiller du sultan d'Oman, le paléoethnologue italien a aussi été un agent du renseignement du bloc soviétique

alliances tribales et un réseau d'oasis, explique Maurizio Tosi. On a souvent tendance à confondre villes et civilisations, c'est une erreur. »

Pour donner corps à l'existence de relations maritimes entre Magan et l'Orient, le professeur de paléoethnologie de l'université de Bologne participe à la reconstitution d'un exemplaire des bateaux noirs de Magan, qui tiennent leur nom du calfatage assuré avec du bitume. Las, parti en 2005 pour relier Mascate au port indien de Mandvi, le navire sombre au large de la capitale omanaise.

Le sultanat est devenu un eldorado pour les archéologues. « Ici, tout est visible et intact, on trouve partout des sites des V^e et IV^e millénaires avant Jésus-Christ », confiait l'archéologue italien Maurizio Cattani, en 2010, à la revue *Science*. C'est que le pays ne s'est ouvert au monde et aux fouilles qu'avec l'avènement du sultan Qabous, en 1970. Aujourd'hui, les missions archéologiques s'y succèdent, faute également de pouvoir se rendre en sécurité en Irak, en Syrie, en Libye ou en Égypte.

L'un des motifs de fierté de Maurizio Tosi est d'avoir vu le sultanat s'approprier son histoire au fur et à mesure des découvertes archéologiques. Le ministère du patrimoine et de la culture a édité *A l'ombre des ancêtres*, l'ouvrage qu'il a consacré, avec Serge Cleuziou, en 2007, aux racines de la civilisation à Oman. Lors d'un tour dans le cœur historique de Mascate, il montre

avec fierté le bâtiment flambant neuf, situé en face d'un des palais du sultan, où doit ouvrir en 2014, le Musée national, avec sa section d'archéologie qui puisera dans les 40 000 objets figurant dans ses collections. Seule ombre au tableau : il n'existe quasiment pas d'archéologues locaux, faute d'enseignement à l'université.

A 69 ans, Maurizio Tosi se dit « toujours marxiste, même si ça ne veut plus dire grand-chose ». Sans son engagement politique, il ne serait sans doute jamais devenu archéologue. Fils d'un haut fonctionnaire de l'Italie mussolinienne, petit-fils d'un proche de Giovanni Gentile, le « philosophe du fascisme », il a ressenti un « appel de justice » qui l'a conduit à rejoindre les rangs du Parti communiste italien dans les années 1960. C'est là que les services secrets allemands sont venus le chercher, raconte-t-il sans se faire prier. Une de ses premières missions a été d'infiltrer le mouvement fédéraliste. « Ça a tellement bien marché que j'ai failli en devenir le leader », s'amuse-t-il.

Vont bientôt venir les premières missions au Moyen-Orient, pour différents services secrets d'Europe de l'Est. « L'archéologie était une couverture », assure-t-il, qui lui permettait de se rendre dans des pays sensibles. C'est après une dernière mission en Afghanistan, en 1984, officiellement sur la piste d'anciennes mines de lapis-lazuli, qu'il renonce à l'espionnage. L'archéologue l'avait emporté. ■

AFFAIRE DE LOGIQUE

Les primaires (épisode 2)

N° 843

En salles : un film pour aimer les maths

Cinq candidats aux primaires (A, B, C, D et E) se disputent l'investiture d'un parti dans un village. Sur le bulletin de vote, le nom des candidats est précédé d'une case vide. Les votants doivent cocher en noir les cases associées au(x) candidat(s) qu'ils soutiennent et laisser les autres en blanc. Il n'est pas exigé de voter pour un unique candidat, il est même possible de ne cocher aucune case ou au contraire les cinq. Chose étonnante, on constate lors du dépouillement que, quel que soit le groupe de deux votants choisis, deux des cases au moins ne sont pas de la même couleur sur les bulletins des deux votants.

Combien y a-t-il de votants, au maximum, dans ce village ?

SOLUTION DU N° 842
Les scores des candidats dans les trois villes sont :

	P	S	T
A	193	35	22
B	175	53	4
C	185	43	14
D	187	41	16
E	172	56	1

On appelle P le total des sympathisants des cinq candidats dans la préfecture, S celui de la sous-préfecture et T celui de la troisième ville. On remarque que la somme des partisans d'un même candidat dans la préfecture et dans la sous-préfecture est égale à S. De même, la somme

des partisans d'un même candidat dans la sous-préfecture et dans la troisième ville est égale à T.

On en déduit deux types de relations :

• Relations sur la somme totale des voix par ville :
P = 4S et S = 4T, d'où P = 16T
• Relations sur la différence des voix par ville entre deux candidats X et Y :
Si X dépasse Y de n voix dans la préfecture, Y dépassera X de n voix dans la sous-préfecture et donc X dépassera de nouveau Y de n voix dans la troisième ville.

Ainsi, de l'écart des voix dans

la préfecture est celui des voix dans la troisième ville.

Voici un tableau représentant cette stabilité (e et x sont des nombres entiers positifs inconnus). Les scores vont du plus petit au plus grand, avec les mêmes écarts sur les lignes 1 (préfecture) et 2 (troisième ville).

	E	B	C	D	A
1	175-x	175	185	187	193
2	e	e+x	e+x+10	e+x+12	e+x+18

On écrit alors P = 16T
915 - x = 16(5e + 4x + 40)
275 = 65x + 80e
55 = 13x + 16e
x = 3, e = 1 est la seule solution positive, d'où le tableau.

ÉLISABETH BUSSER ET GILLES COHEN © POLE 2013

www.affairedelogique.com

Le « roi des harengs » refait surface

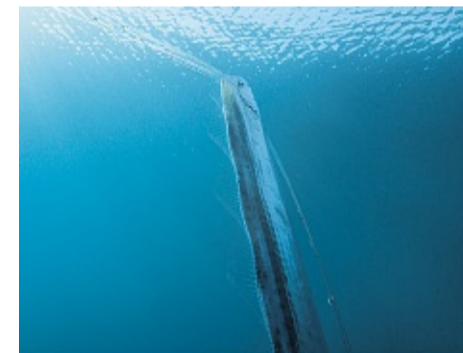
ZOOLOGIE

HERVÉ MORIN

C'est un animal extrêmement élégant, d'un exotisme extraordinaire : on aurait tout aussi bien pu se trouver sur une exoplanète. Le cameraman sous-marin Jean-Charles Granjon reste littéralement sous le charme après sa rencontre avec le régalec, un poisson qui a longtemps nourri les légendes colportées par les marins. « Entre deux plongées, je me suis assoupi, il était dans mes rêves », raconte-t-il. Et à 60 mètres de profondeur, l'animal, avec la fine chevelure de ses nageoires dorsales, semblait lui faire de l'œil, « un peu comme une sirène », se tenant toujours à la limite du halo des projecteurs : « Il nous attirait toujours plus profond... »

Regalecus glesne, le « roi des harengs » (qui n'en est pas un) ou encore le « ruban des mers », lui et l'équipe de Saint Thomas Productions l'ont longtemps traqué sans succès, en vue d'un documentaire pour Arte en 2015 : onze plongées infructueuses, à l'aplomb d'une installation scientifique ancrée entre la Corse et le continent. C'est là qu'un plongeur scientifique l'avait observé, trois fois seulement en une centaine de plongées de maintenance.

La persévérance a payé : la douzième palanquée a frayé pendant trois heures avec deux spécimens, l'un de 5 mètres de long, l'autre de 2 mètres seulement, qui avait perdu une partie de sa queue. C'est là l'un des multiples mystères du plus long des poissons osseux - il



Le régalec est le plus long des poissons osseux, qui peut atteindre 11 mètres.

JEAN-CHARLES GRANJON/SAINT THOMAS PRODUCTIONS 2013

peut atteindre 11 mètres. On sait qu'il peut s'en séparer, par autotomie, comme le lézard, mais on ignore si c'est une technique de fuite en cas d'attaque (on ne lui connaît pas de prédateur), une étape normale de sa croissance ou un mécanisme régulateur pour survivre lors d'une disette : rapportée à sa taille, sa bouche est petite et ses lents mouvements ne semblent pas pouvoir lui assurer une alimentation (du krill) très abondante.

Les rares témoignages de plongeurs et des vidéos récentes de ROV (robot sous-marin) ou de submersibles suggèrent qu'il nage le plus souvent à la verticale. C'est bien ce qu'a constaté Jean-Charles Granjon. « La posture horizontale semblait instable pour lui. Il était peu farouche, comme toute la faune de large qui n'a jamais vu l'homme, dit-il. On a pu le frôler, effectuer des prélèvements en vue d'une étude génétique. » Les documentaristes collaborent avec l'ichtyologue américain Tyson Roberts (Smithsonian Tropical Research Institute, Panama), en vue de poser des capteurs sur l'animal pour pouvoir mieux connaître son comportement.

Suivre des spécimens au long cours permettrait d'étayer une hypothèse avancée par M. Roberts, selon laquelle l'animal pourrait changer de genre au cours de sa vie, ainsi qu'il l'expliquait récemment dans le *New York Times*. Début novembre, la presse anglo-saxonne s'est en effet intéressée au régalec, car deux grands spécimens se sont échoués coup sur coup sur les côtes californiennes. L'un d'eux, un mâle, avait perdu sa queue. L'autre, une femelle de plus de 4 mètres, était dotée d'une paire d'ovaires de 1,8 mètre remplis d'œufs. Les deux animaux ont été promptement disséqués, une partie de leurs organes distribués à une poignée de laboratoires, le reste des carcasses dormant dans des congélateurs.

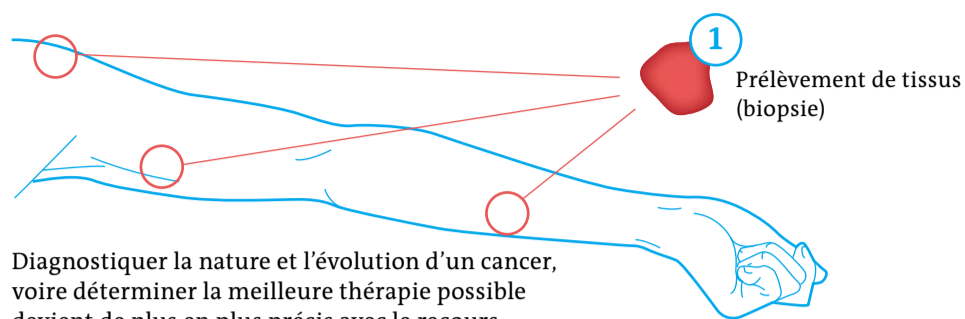
Pour Jean-Charles Granjon et ses équipiers, la quête du régalec n'est pas terminée. Elle doit les conduire bientôt vers des détecteurs de muons mouillés au large de Toulon. Repensant aux reflets de la main d'un collègue sur le miroir d'une peau parfaitement adaptée au camouflage, il voit dans ce grand discret « une belle expression de ce que les abysses peuvent nous offrir ». ■

Le film documentaire d'Olivier Peyon « Comment j'ai détesté les maths » (sortie en salles le 27 novembre, courez-y) ne manquera pas de faire réagir. Ne vous fiez pas au côté racoleur de son titre, et si vous êtes lassés d'entendre revendiquer « Moi, je suis nul en maths », rassurez-vous : le « délit de sale gueule » des maths n'est évoqué que durant les cinq premières minutes. C'est à un voyage initiatique dans un univers mathématique sans frontières que le réalisateur Olivier Peyon nous convie. Les plus grands mathématiciens du monde entier, Cédric Villani en tête, y jouent leur propre rôle, et leurs discours sensibles, intelligents et variés nous invitent à rêver de l'esprit de liberté que portent les mathématiques, à savourer leur côté esthétique, attirant, voire magique, à nous rendre compte de la façon dont elles ont bouleversé le monde d'aujourd'hui, sans éluder les abus qu'elles peuvent entraîner quand elles ne sont pas utilisées à bon escient...

Le film est donc surtout une déclaration d'amour aux mathématiques, un plaidoyer destiné à balayer les idées reçues. Le réalisateur, qui n'est pourtant pas mathématicien, a été suffisamment convaincu pour être convaincant : les maths ont bel et bien à voir avec la liberté de penser, de chercher, de douter, de créer et de trouver. Ceux qui s'en servent comme d'un bouclier pour asséner des certitudes et clore tout débat ont du souci à se faire. Pour preuve, cette déclaration étonnante qui, faite un jour au jeune réalisateur, l'a décidé à entreprendre le film : « Si on enseignait l'esprit de liberté des maths aux enfants, tous les élèves deviendraient des rebelles. »

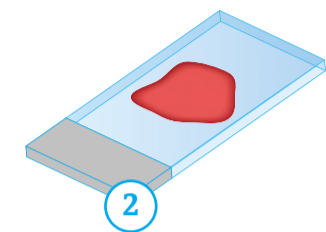
Informations sur <http://www.hautetcourt.com/film/fiche/190>

La technique jet d'encre pour améliorer le diagnostic médical

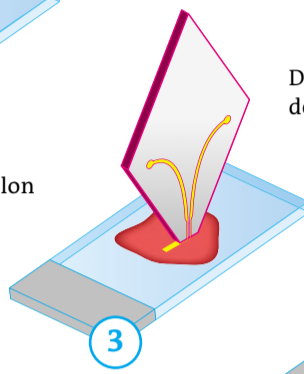


Diagnostiquer la nature et l'évolution d'un cancer, voire déterminer la meilleure thérapie possible devient de plus en plus précis avec le recours à des réactifs chimiques spécifiques.

Ces derniers, en association avec des colorants, sont déposés sur de minces couches de tissus prélevés par biopsie et déposés sur des lames de verre. Un nouveau système que l'entreprise IBM testera à partir de janvier à l'Hôpital universitaire de Zurich promet d'améliorer cette phase d'immunohistochimie. Il s'agit d'une pointe percée de deux canaux de 100 micromètres de large. Le premier sert à l'injection et le second à l'aspiration des liquides. Cela évite d'étaler le réactif et le confine sur des surfaces de 100 micromètres de large. « L'avantage, a priori, est de diminuer les quantités de réactifs qui sont très coûteux et de localiser sur de petites surfaces les échantillons sont de petites tailles », estime Frédéric Maitre, anatomopathologiste au centre hospitalier d'Orléans. « Nous utilisons 100 à 1000 fois moins de produits que par les techniques classiques », indique Emmanuel Delamarche du laboratoire de recherche d'IBM à Zurich. « Nous pouvons aussi faire des lignes en variant les concentrations et les temps de dépôt, ce qui améliore le contraste », ajoute le chercheur. Une seconde paire d'ouvertures peut aussi être ajoutée pour multiplier le nombre de réactions. Les tests devront aider les professionnels à mieux estimer les avantages de cette innovation.

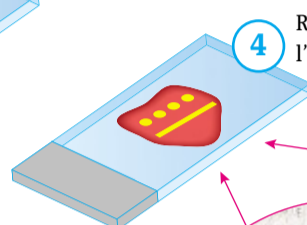


2 Préparation de l'échantillon sur une lame de verre



3 Ajout du réactif

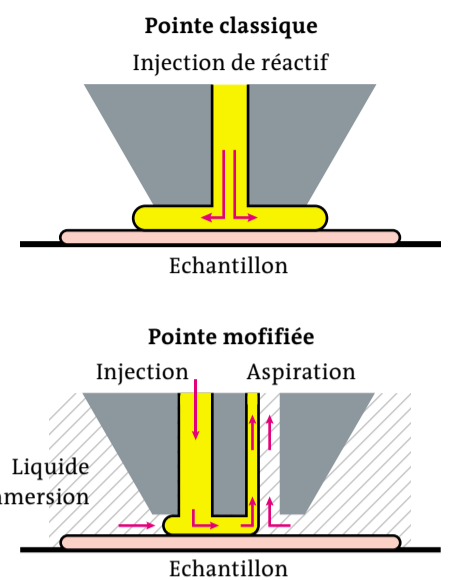
Dispositif d'injection de réactif et de colorant



4 Résultat de l'immunohistochimie

La lecture

Des lignes et des points peuvent être « dessinés ». Le violet correspond au marquage des noyaux des cellules. Le marron montre la présence d'une protéine indicatrice de lésions cellulaires. Ces taches font 100 micromètres de large.



Liquide d'immersion

Echantillon

Pointe modifiée

Injection Aspiration

Echantillon

Pointe classique

Injection de réactif

Echantillon

Echelle non respectée

TEXTE: DAVID LAROUSSIERE INFOGRAPHIE LE MONDE

SOURCE: IBM

Pour la première fois, en France, un arrêté conditionne la prise en charge d'un traitement au comportement de malades souffrant d'apnées du sommeil. Le docteur Nicolas Postel-Vinay met en garde contre l'enjeu d'un tel dispositif

Télesurveillance : Big Brother pénalise les patients

TRIBUNE

Certaines associations de patients n'en voulaient pas, mais leurs protestations n'y ont rien fait : depuis le 1^{er} octobre, les personnes traitées pour un syndrome d'apnées du sommeil sont désormais « télesurveillées ». De quoi s'agit-il ? La télesurveillance consiste à interpréter à distance des données de suivi médical, ce qui implique successivement d'enregistrer des données, de les transmettre (par Internet, notamment), de les interpréter pour, in fine, prendre des décisions.

Cette modalité de surveillance appartient au domaine nouveau de la télémédecine (médecine à distance), aux côtés d'autres possibilités comme la téléconsultation (consultation à distance). La télesurveillance vient de prendre pied dans la réalité en France, non sans poser question.

Rappelons d'abord que le syndrome d'apnées du sommeil se caractérise par la survenue, pendant le sommeil, d'épisodes d'interruption de la ventilation (apnées) ou de réduction de la ventilation (hypopnées). Trop fréquents, ces troubles peuvent entraîner une somnolence le jour (responsable d'accidents de la route et d'accidents de travail) et des complications cardio-vasculaires (hypertension, infarctus). En France, de 1 à 3 millions de patients sont concernés par cette maladie.

Le principal traitement consiste à mettre, la nuit, un masque sur le visage afin de respirer un air sous pression (pression positive continue). Ces dispositifs sont mis à disposition au domicile des patients par des prestataires de services, les dépenses inhérentes sont remboursées par l'Assurance-maladie.

Chaque année, le nombre de patients ainsi traités augmente, et les coûts s'envolent (438 millions d'euros en 2011, selon la Haute Autorité de santé). Pour tenter de limiter les frais, les ministères de la santé et du budget ont publié, le 9 janvier, un arrêté « portant modification des modalités d'inscription et de prise en charge du dispositif médical à pression positive continue pour le traitement d'apnées du sommeil (...) ». Concrètement, ce texte demande de poser des capteurs électroniques afin d'enregistrer et de transmettre les données d'utilisation des appareils. Si la durée d'utilisation des appareils tombe au-dessous d'un certain seuil, les malades sont alors qualifiés de « non observants ». Méchante étiquette avec, à la clé, une possible décision de cessation du remboursement. Pour la première fois, en France, un arrêté conditionne la prise en charge d'un traitement au comportement des patients (dormir avec le masque suffisamment longtemps et régulièrement).

Comment ne pas souligner que l'enjeu de ce dispositif peut largement dépasser le simple périmètre financier de l'apnée du sommeil ? On remarquera aussi que, pour la première fois, une technique est imposée pour « télesurveiller » (néologisme auquel nous n'avons pas fini d'être confrontés) l'observance des malades.

On n'arrête pas le progrès ? Certains l'ont tenté. Quelques mois avant la mise en place de ce système, la Fédération française des associations et amicales de patients insuffisants ou handicapés respiratoires (FFAAIR) a qualifié la télesurveillance de « projet inacceptable en l'état » et a déposé un recours devant le Conseil d'Etat, le 2 avril. Le mois suivant, elle affichait sa « protestation ferme » et dénonçait les « mouchards devant équiper à grands frais les appareils mis à leur disposition ». Son recours a été rejeté. La télesurveillance des patients à leur domicile, hier encore cantonnée à la science-fiction, a débuté.

Pour l'instant, personne ne connaît les conséquences humaines d'une sanction financière de la mauvaise observance. Pour venir en aide aux patients ayant des difficultés à respecter les prescriptions, la communauté médicale internationale et les autorités de san-

cas d'une prescription justifiée, comment le médecin va-t-il pouvoir aider son patient ? Dans le cas contraire, à savoir une prescription inutile, ce qui, hélas !, ne manque pas d'arriver, pourquoi avoir recours à une « pénalisation » du patient (le terme est celui de la FFAAIR), lorsque le médecin ne respecte pas la bonne indication ?

Avec la télesurveillance, les pouvoirs publics jouent du bâton envers les malades non observants. Y a-t-il une carotte ? Des experts de télémédecine espèrent que les capteurs électroniques enregistrant les paramètres du sommeil permettront d'améliorer les traitements. Peut-être. Mais à quel coût ? Et avec quels avantages démontrés ? Seul l'avenir le dira.

C'est dire l'importance de disposer, d'ici une à deux années, d'évaluations rigoureuses qui devraient inclure l'avis des associations de patients à qui le système vient d'être imposé. Seront-elles, cette fois, écoutées dans cette expertise ? Ou bien les pouvoirs publics resteront-ils juges et parties ? ■

Nicolas Postel-Vinay est praticien dans l'unité d'hypertension artérielle de l'hôpital européen Georges-Pompidou, à Paris, et directeur du site automesure.com

Avec la télesurveillance, les pouvoirs publics jouent du bâton envers les malades non observants. Y a-t-il une carotte ? Des experts de télémédecine espèrent que les capteurs électroniques enregistrant les paramètres du sommeil permettront d'améliorer les traitements

té ont mis en avant des solutions d'autonomie et d'encouragement. Il y a vingt ans, une discipline à part entière a été créée en ce sens : l'éducation thérapeutique, qui a pour valeur la participation des patients et le respect de leur libre arbitre quant à leurs soins. Mais la télesurveillance alliant sanction et suivi électronique est une mesure de philosophie contraire.

Quelle place devra prendre le médecin découvrant les résultats de cette surveillance électronique se soldant par le déremboursement d'un patient ? Dans le



LE MONDE MENSUEL N° DE NOVEMBRE À RETROUVER EN KIOSQUE