

ANNE-GAELLE AMIOT

L'être humain a-t-il atteint ses limites ?

En octobre, un article de la revue « Nature » annonçait que la longévité ne dépasserait 115 ans que dans des cas exceptionnels. Contestées, ces conclusions ont relancé le débat sur l'évolution des capacités de notre espèce. Enquête

SANDRINE CABUT ET NATHANIEL HERZBERG

Après le « plus vite, plus haut, plus fort », le prochain défi de l'être humain sera-t-il juste de lutter pour se maintenir à niveau ? Après des décennies d'amélioration des caractéristiques humaines (longévité, performances physiques et intellectuelles, taille...), de nombreuses données suggèrent que des limites sont en train d'être atteintes dans tous ces domaines.

Etat des connaissances et des controverses sur ces nouveaux plafonds de verre.

Age : l'espérance de vie plafonne

Le record de longévité détenu depuis bientôt deux décennies par la Française Jeanne Calment, morte en 1997 à 122 ans, va-t-il être pulvérisé par les générations à venir ?

La question des limites de la durée de vie humaine fascine autant qu'elle divise. La dernière polémique en date a été soulevée par une étude américaine, publiée en octobre dans la revue *Nature*. Selon le biologiste Jan Vijg et ses collègues, l'âge maximal au décès plafonne depuis 1995 autour de 115 ans, et la probabilité de dépasser 125 ans est très faible. Face à ces conclusions, obtenues à partir de données démographiques d'une quarantaine de pays, plusieurs spécialistes ont bondi, pointant des faiblesses statistiques jugées difficilement admissibles pour une publication du niveau de *Nature*.

Interrogé par *Le Monde*, le démographe Jean-Marie Robine (directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale et professeur à l'École pratique des hautes études) se dit réservé au sujet de ces résultats. Expert dans ce domaine – il conduit notamment une étude sur

l'évolution du nombre de centenaires dans cinq pays –, il connaît de près les travaux de l'équipe américaine puisqu'il a été l'un des trois relecteurs de leur article. « Dans un premier temps, la revue *Nature* l'avait refusé. De mon point de vue, ces chercheurs avaient utilisé de mauvaises données et une mauvaise méthodologie, raconte M. Robine. Ils ont complètement refait leur étude et sont parvenus aux mêmes conclusions. Je pouvais difficilement aller contre la publication de la deuxième version, qui avait intégré toutes mes préconisations, mais je pense toujours que leur protocole ne permet pas de répondre à la question posée. »

Pendant que l'équipe de Jan Vijg affirme, à tort ou à raison, que la durée de vie humaine a atteint ses limites, un voyant s'allume au niveau d'un autre indicateur : l'espérance de vie à la naissance, définie par l'Insee comme « la durée de vie moyenne – autrement dit l'âge moyen au décès – d'une génération fictive soumise aux conditions de mortalité de l'année ».

Aux Etats-Unis, pour la première fois depuis vingt ans et le pic du sida, l'espérance de vie a diminué, passant de 78,9 en 2014 à 78,8 ans en 2015. Entre ces deux années, la mortalité a augmenté pour huit des dix principales causes de

décès (maladies cardiaques, respiratoires...). Seule celle liée au cancer a régressé.

En France, l'Insee fait état de près de 600 000 décès en 2015, de l'ordre de 40 000 de plus qu'en 2014, un record depuis l'après-guerre. « Sous l'effet du surcroît de mortalité enregistré aux âges élevés en 2015, l'espérance de vie à la naissance diminue nettement, à la fois pour les femmes (-0,4 an) et pour les hommes (-0,3 an). Elle s'établit à 85 ans pour les femmes et 78,9 ans pour les hommes », notait l'Insee en janvier 2016. Une première à ce niveau pour cet indicateur qui a connu une croissance quasi continue au XX^e siècle (exception faite des deux guerres mondiales).

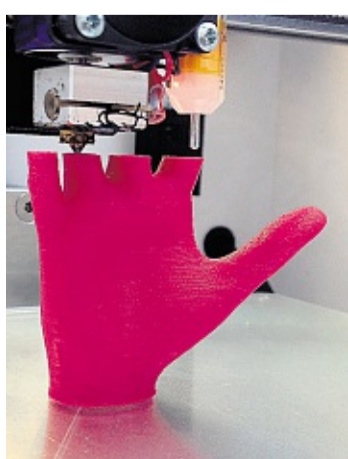
Pour un certain nombre d'experts, ces indices confirment que l'homme atteint des limites. Jay Olshansky, professeur de santé publique à l'université de Chicago (Illinois), est de ceux-là. Il y a une dizaine d'années, il a été l'un des premiers à s'alarmer du fléchissement de l'espérance de vie chez les Américains blancs défavorisés, et à suspecter le rôle majeur de l'obésité. « Vu l'ampleur de cette épidémie aujourd'hui, l'impact sur l'espérance de vie pourrait bien devenir plus important, et se faire sentir dans d'autres pays », craint-il.

→ LIRE LA SUITE PAGES 4-5

Astronomie Baptêmes d'étoiles et d'exoplanètes

L'Union astronomique internationale vient d'officialiser le nom d'usage de 227 étoiles. Avec en ligne de mire un autre chantier : nommer les nouvelles planètes extrasolaires.

PAGE 2



Sciences collaboratives L'atelier des membres bioniques

A Rennes, le laboratoire Human Lab aide les amputés à se reconstruire en leur permettant de fabriquer leurs prothèses grâce à des logiciels libres et des imprimantes 3D.

PAGE 3



Portrait Francis Hallé, l'amoureux des arbres

Botaniste et dendrologue internationalement reconnu, l'explorateur des canopées a voué sa vie aux végétaux et à la défense des dernières forêts primaires de la planète.

PAGE 8

Les cartes du ciel ont été dépoussiérées

ASTRONOMIE - L'Union astronomique internationale vient d'officialiser le nom d'usage de 227 étoiles. Un travail patrimonial mais aussi prospectif : les exoplanètes, dont les découvertes se multiplient, vont aussi devoir être baptisées

Que d'étoiles dans les immensités du cosmos ! Notre œil en discerne quelques milliers. Le catalogue du satellite d'astrométrie spatiale Gaia de l'ESA, l'Agence spatiale européenne, publié en septembre 2016, en référence 1,2 milliard. Et le compte n'y est toujours pas : ces astres seraient au moins cent fois plus nombreux dans notre galaxie. Dès lors, pourquoi se soucier de baptiser une poignée d'entre eux, comme vient de le faire l'Union astronomique internationale (UAI) ? La vénérable institution, fondée en 1919, chargée, entre autres, d'arbitrer les litiges en matière de désignation des corps célestes, a récemment cru bon d'officialiser les noms d'usage de 227 étoiles. Une initiative qui, tout en garantissant la transmission d'un héritage historique aux générations futures, préparerait l'avenir. Avec, en ligne de mire, la dénomination des exoplanètes.

Aldébaran, Altair, Pollux, Sirius, Vega... Certains noms d'étoile nous sont parvenus grâce aux Grecs, aux Latins et aux Arabes, qui s'en servaient pour la navigation astronomique. D'autres ont été inventés après la Renaissance – et jusqu'au XX^e siècle –, lorsque, accédant aux mers du Sud, les explorateurs ont eu besoin de tracer leur route en se repérant sur le ciel austral. Une entreprise de qualification des astres, réservée aux plus brillants, visibles à l'œil nu et associés à des constellations ou des astérismes – ces figures dessinées par les étoiles particulièrement brillantes. Cette pratique de dénomination est depuis longtemps abandonnée, même si certaines de ces appellations, caractéristiques d'une époque qui vit proliférer les globes et les atlas célestes « artistiques », sont encore employées. Ainsi, les 81 étoiles référencées dans la revue des Ephémérides nautiques, publiée chaque année par le Bureau des longitudes à Paris, sont toujours signalées selon les noms traditionnels par lesquels elles sont connues de tous les marins du monde.

Plusieurs paramètres à prendre en compte

C'est que les astronomes professionnels ont, petit à petit, substitué au système classique un mode de désignation alphanumérique, plus pratique pour retrouver rapidement un astre au milieu de la multitude toujours plus prodigieuse révélée par les télescopes. Variable, la méthode de classement est propre à chaque catalogue. Et peut aboutir à identifier une étoile à l'aide de plusieurs labels. Exemple fameux : Bételgeuse, qui est évoquée dans la littérature d'au moins six façons différentes : Alpha Orionis, HR 2061, BD + 71055, HD 39801, SAO 113271 et PPM 149643... L'UAI distingue donc le nom de la désignation alphanumérique.

Problème, explique Thierry Montmerle, de l'Institut d'astrophysique de Paris, qui fut secrétaire général de l'UAI de 2012 à 2015 : « Si la méthode répond aux exigences des scientifiques, elle n'est pas forcément en mesure de satisfaire les demandes du public. Notamment en ce qui con-



La constellation de Pégase telle qu'elle est représentée dans l'atlas de l'astronome persan du X^e siècle Abd Al-Rahman Al-Sufi. Surraat Al-Faras (« le nombril du cheval »), alias Alpha Andromedae, s'appelle désormais Alpheratz. BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE

cerne les mondes qui pourraient éventuellement graviter autour de ces étoiles. » En effet, depuis la découverte de la première d'entre elles, en 1995, plus de 3 500 exoplanètes ont été détectées dans d'autres systèmes solaires, suscitant l'emballement épisodique de la blogosphère. Des pétitions réclamant de baptiser ces objets célestes de

telle ou telle façon, plus ou moins romanesque, ont recueilli un grand nombre de signatures. Et certains petits malins auraient profité de l'occasion pour tenter de monnayer un service.

L'UAI a donc dû prendre les devants en lançant, en 2013, une consultation mondiale ouverte au plus grand nombre, en vue de déter-

miner les noms d'une sélection de 31 exoplanètes et de 14 étoiles réparties dans 19 systèmes solaires. Avec 500 000 votes et la participation des cinq continents, l'expérience, qui a abouti à enrichir la carte du ciel d'astres joliment appelés Copernicus (55 Cancri), Cervantes (Mu Arae), ou encore Libertas (Xi Aquilae), a été un succès. Mais a conduit l'UAI à réfléchir à de nouvelles règles du jeu plus éprouvées, avant d'envisager de la réitérer. L'un des noms d'étoile proposés a en effet dû être retiré hâtivement de la liste quand il fut établi qu'il faisait référence à un homme politique. Les exoplanètes étant nécessairement associées à des étoiles, il s'agissait aussi de s'assurer que ces dernières n'étaient pas déjà dénommées. C'est le résultat d'une partie de ce travail d'investigation des archives – il pourrait à terme concerner un millier d'étoiles et se prolonger par une étude des qualificatifs employés par les autres cultures – qui est livré aujourd'hui.

Un long travail de recouplement

Consistant en une intercomparaison de catalogues provenant de différentes sources, la tâche rappelle l'effort conduit dans les années 1920 par l'UAI, en vue d'établir les noms et, surtout, les frontières des 88 constellations utilisées par les astronomes pour se repérer sur la voûte céleste.

Bien qu'elle n'ait concerné, dans cette première étape, que les 213 étoiles les plus connues (en plus des 14 nouvellement dénommées), elle n'a pas pour autant été facile. Certains des noms passés en revue avaient été attribués par erreur à plusieurs astres à la fois. D'autres – comme celui de Fomalhaut, dans la constellation du Poisson austral, épelé de trente façons différentes – avaient été dotés, dans la littérature scientifique, d'orthographe variables ou fantaisistes.

A de multiples reprises également, les experts ont dû trancher entre plusieurs appellations en privilégiant tantôt l'antériorité historique, tantôt l'usage. Ainsi, indique Thierry Montmerle, « les noms d'Alpheratz et d'Hadard, qui figuraient toutes deux dans le Nautical Almanac, publié par les Etats-Unis et le Royaume-Uni, ont été préférés à ceux de Sirrah et d'Agna pour évoquer Alpha Andromedae et Alpha Ursae Minoris ». La notoriété n'a toutefois pas toujours été le critère. Une étoile à la dénomination aussi célèbre qu'Alpha Centauri A (Alpha du Centaure A) s'est ainsi vu attribuer, sur la nouvelle liste, une appellation plus confidentielle : Rigil Kentaurus. Ce qui n'est pas le cas, en revanche, d'Alpha Centauri C. Celle-ci n'est rien d'autre que Proxima Centauri, l'étoile la plus proche du Soleil, découverte en 1915 et autour de laquelle a été mise au jour, en 2016, une exoplanète. Tout comme les nouveaux mondes dont la présence a été révélée à proximité des désormais bien nommées Algéba (Gamma Leonis), Hamal (Alpha Arietis) et Muscida (Omicron Ursae Majoris), il faudra songer un jour à la baptiser, elle aussi. ■

VAHÉ TER MINASSIAN

Alerte sur les microalgues toxiques

Océanologie - Des chercheurs de l'Ifremer ont compilé des milliers d'études et s'alarment de la prolifération de cette flore marine

Morts en masse de saumons, de sardines, de baleines, de coquillages et marées rouges à répétition : catastrophes en 2016 dues à des microalgues toxiques. Leur prolifération tend à devenir plus fréquente, plus dense, et à s'étendre en mer ainsi que dans les plans d'eau douce. Avec la Société internationale pour l'étude des algues nuisibles, la Commission océanographique intergouvernementale de l'Unesco a publié un inquiétant état des lieux.

A priori invisibles à l'œil nu, les microalgues sont composées d'organismes marins unicellulaires de 20 à 50 microns à peine. Mais leur concentration est parfois si dense que leur biomasse teinte l'eau en rouge franc, dessine des traces bleues ou brunes observables sur les images satellitaires. Ces phénomènes d'efflorescences (blooms en anglais) ont des effets

redoutables. Les microalgues peuvent décimer des stocks de poissons sauvages et ruiner les élevages conchylicoles, attaquer les oiseaux de mer ou le caractère imperméable de leurs plumes, intoxiquer homards, tortues de mer, dauphins, phoques, et même entraîner l'échouage de baleines. Elles sont aussi responsables de pathologies chez les humains, parfois létales.

Quatre chercheurs de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) – Patrick Lassus, Nicolas Chomérat, Philipp Hess et Elizabeth Nézan –, biologistes marins et chimistes, ont compilé des milliers d'études et de rapports, répertorié les principaux événements de toxicité majeure survenus dans le monde pour produire l'inventaire de l'évolution de ces floraisons au cours des trente dernières années. « Nous avons souhaité profiter des

savoirs acquis pendant quatre décennies par le docteur Patrick Lassus et réaliser une mise à jour pour informer les gouvernements et les acteurs socioéconomiques », résume Philipp Hess, chercheur au laboratoire Phycotoxines du centre Ifremer de Nantes.

Leur ouvrage bilingue, *Microalgues toxiques et nuisibles de l'océan mondial* (Guides et manuels de la Commission océanographique intergouvernementale, n° 68, 523 p., 37 euros), recense des données identifiant 174 algues nuisibles autour du globe, dont 100 produisent des toxines susceptibles d'entraîner, chez les humains, diarrhées, réactions cutanées, amnésie, paralysie... Certains de ces dinoflagellés et diatomées néfastes épargnent l'homme, mais mettent en danger à la fois la faune et la flore marines en se concentrant si intensément qu'ils réduisent l'oxygène dans l'eau. D'autres encore obligent à inter-

rompre la production d'eau potable dans les usines de dessalement, à fermer des plages...

Troubles respiratoires

Dès le début du XX^e siècle, les taxinomistes avaient répertorié un grand nombre d'algues microscopiques. « Nous disposons de longues séries de données sur certaines espèces, comme *Karenia brevis*, qui est suivie sur les côtes de Floride depuis 1848, rapporte Philipp Hess. Ce dinoflagellé peut à la fois contaminer des coquillages puis ceux qui vont les manger et susciter par aérosol des maux de gorge, des crises d'asthme ou d'eczéma chez les gens sur le rivage... »

Las, les scientifiques soupçonnent une probable amplification de ces blooms. Pour certaines parties du monde, ils en sont sûrs. « Dans la rade de Brest, avant le début des années 1990 nous n'avions observé que quelques cellules d'*Alexandrium minutum*

contenues dans des sédiments, témoigne le chercheur. Puis il y a eu un grand bloom en 2012. » Depuis, les concentrations de ce phytoplancton potentiellement paralysant sont devenues récurrentes.

De son côté, l'ouest de la Méditerranée connaît une forte augmentation d'*Ostreopsis*, un dinoflagellé repéré en 1972, habitué des eaux tropicales, suffisamment toxique pour susciter des états grippaux et des troubles respiratoires par inhalation des gouttelettes transportées par le vent. « En 2005, à Gênes, 200 personnes ont été contaminées, 40 ont dû être hospitalisées », souligne Philipp Hess.

L'intoxication à la ciguatera, de funeste réputation en Polynésie et dans l'océan Indien, n'est plus l'apanage de ces régions. Les ciguatoxines produites par les microalgues du genre *Gambierdiscus* atteignent désormais les îles Canaries, dans l'Atlantique. Dans le

monde, elles rendent malades 25 000 à 50 000 personnes par an.

Le réchauffement de l'océan joue probablement un rôle dans cette expansion. D'autres facteurs y contribuent : l'explosion du transport maritime et la diffusion des eaux de ballast, la construction d'infrastructures qui favorisent le confinement de l'eau et en modifient les modèles de circulation, la surpêche qui déstabilise la chaîne alimentaire, plus les rejets massifs de nitrates, phosphates et déchets en tout genre.

« L'eutrophisation d'une baie joue toujours en faveur des microalgues, toxiques ou non », note Philipp Hess. Il souligne les progrès constatés là où des efforts sont réalisés pour traiter les eaux usées. S'il espère voir leur travail servir d'alerte, il attend aussi que cette publication incite les experts du monde entier à mettre en commun leurs bases de données. ■

MARTINE VALO

Dessine-moi une main bionique

INGÉNIERIE - A Rennes, l'atelier Human Lab veut développer la fabrication collaborative de prothèses, tandis qu'un réseau de « handi labs » se développe en Bretagne

L'endroit ressemble à un fab lab (contraction de l'anglais *fabrication laboratory*, « laboratoire de fabrication »), l'un de ces espaces de travail collaboratif, équipés d'outils numériques, qui ont essaimé dans les villes et les collectivités depuis dix ans. Sauf qu'ici les imprimantes 3D et les machines pilotées par ordinateur côtoient un fauteuil roulant pour enfant fabriqué à partir de matériel de récupération. Sur une table, un « gant sonar », sorte de boîtier portable censé repérer la présence d'obstacles à distance, est en cours de finalisation.

Dans la banlieue de Rennes, le Human Lab a ouvert ses portes en novembre à l'initiative d'un jeune Rennais qui en est aujourd'hui l'un des quatre salariés. Amputé de la main droite en 2002 à la suite d'un accident du travail, Nicolas Huchet s'est fait connaître en bricolant avec une équipe de bénévoles un prototype de main robotisée équipée de capteurs qui coordonnent le mouvement des cinq doigts en fonction de l'activité réalisée.



Une main robotique open source à fabriquer soi-même proposée par la start-up Open Bionics. MYHUMANKIT

Culture du « do it yourself »

Avec le Human Lab, il veut développer la fabrication collaborative de prothèses et d'aides au handicap à prix modiques. Soutenue par la Fondation de France, la fondation Google.org, la GMF, l'Agefiph et la région Bretagne, l'initiative respecte la charte du MIT et s'inscrit dans le mouvement mondial des *makers* (« faiseurs ») et de la culture du DIY (*do it yourself*) né aux Etats-Unis au début des années 2000.

Valides et handicapés collaborent sur cinq projets qui vont de la compensation auditive à la création artistique avec « Print my leg », un programme conçu pour personnaliser sa prothèse. Les prototypes sont fabriqués à partir de plans disponibles sur Internet sous licences Creative Commons : chacun peut les utiliser à condition de partager à son tour les améliorations qu'il a apportées. « On enrichit les innovations des autres, la recherche progresse plus vite, on s'aide avec les doigts du voisin », résume Hugues Aubin, ancien responsable du numérique de la ville de Rennes, qui a rejoint le Human Lab et milite en faveur de biens communs numériques.

Avec le développement de l'impression 3D et du logiciel libre, un réseau de handi labs commence à se développer en France, notamment en Bretagne, région pilote de la culture collaborative. Le centre mutualiste de Kerpape (Morbihan), qui accueille 400 personnes handicapées près de Lorient, a ouvert le sien en février 2016. « Avant, on travaillait au service de la personne handicapée. L'intérêt du fab lab, c'est qu'on aide les patients et les familles qui le souhaitent à réaliser eux-mêmes ces matériels. Les choses avancent plus vite et cela apporte de l'estime de soi », explique Jean-Paul Departe, l'un des deux ingénieurs, pour qui l'innovation est d'abord sociale. En participant à la fabrication de sa prothèse, la personne handicapée devient actrice du soin même si, selon l'ingénieur, le rôle des professionnels reste indispensable. « L'ergothérapeute connaît la pathologie et son évolution. Il peut, par exemple, conseiller d'attendre un peu dans certaines situations avant de concevoir une aide, pour renforcer les muscles. »

Au quotidien, Sylvie Petit, ancienne restauratrice à Royan

amputée de la main droite après avoir été renversée par un camion, utilise une prothèse remboursée par la Sécurité sociale, une pince « efficace mais limitée par rapport aux prothèses high tech qui, elles, ne sont pas prises en charge », explique-t-elle. Avec une équipe de bénévoles du CréaLAB, le fab lab d'Angoulême, elle a conçu à partir de plans japonais le prototype d'une main équipée d'un moteur et de capteurs. « Pendant longtemps, je ne suis sortie qu'en manches longues, j'avais honte. Même si ma nouvelle main n'est pour le moment qu'un prototype, ce projet a changé mon regard sur mon handicap », constate-t-elle.

Du sur-mesure à bas coût

A Kerpape, l'accès aux machines du handi lab permet aussi de diminuer le coût de certains projets réalisés sur mesure. « Dès que l'on veut personnaliser une assistance, on est confronté à des petits marchés aux prix élevés », explique Jean-Paul Departe. De leur côté, les industriels observent ces initiatives avec attention. « On voit bien l'intérêt des fab labs

en termes d'innovation, estime Raphaël Terrier, ingénieur biomédical et responsable de l'unité Aide électronique chez Proteor, leader français. Mais ensuite les dispositifs nécessitent d'être normalisés dans un processus industriel, et les patients attendent aussi un service après-vente et des mises à jour régulières qui supposent une exploitation commerciale. »

Au fab lab de l'université de Brest, Adamou Amadou Souley, responsable du handi lab, en est persuadé : « L'open source et les espaces collaboratifs sont un espoir pour un grand nombre de personnes handicapées qui dans le monde n'ont pas accès à une prothèse. » Originaire du Niger, le jeune Brestois, atteint d'un handicap moteur à la suite d'une poliomyélite, coordonne un projet d'orthèse motorisée pour membres inférieurs. « Tout le monde ne peut pas venir dans un pays riche pour s'équiper. Avec les licences libres, il n'y a plus de frontières, on réduit le fossé entre pays pauvres et riches », affirme celui qui prévoit d'ouvrir, dans quelques années, un handi lab au Niger. ■

CLAIRE LEGROS
(RENNES, ENVOYÉE SPÉCIALE)

TÉLESCOPE

PHYSIQUE

Pas de différence entre l'hydrogène et l'antihydrogène

A l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (le CERN), une équipe internationale, Alpha, a pour la première fois sondé les propriétés du plus petit atome existant : un antiélectron en rotation autour d'un antiproton. Cet antihydrogène, excité par un laser, a répondu exactement comme son homologue l'hydrogène. Les chercheurs doivent maintenant améliorer leur expérience, débutée il y a près de vingt ans, dans l'espoir de trouver des différences avec la matière ordinaire, afin de comprendre pourquoi celle-ci a dominé l'antimatière au moment de la formation de l'Univers. > Ahmadi et al., « Nature », 19 décembre.

NANOTECHNOLOGIE

Des fils électriques autoassemblés par des molécules-cages



Les « diamandoïdes » ont ainsi été baptisées par les Anglo-Saxons parce que leur structure rappelle celle du diamant. Ces molécules en forme de cage, faites de carbone et d'hydrogène, ont été découvertes dans les champs d'hydrocarbures. Elles ont l'inconvénient pour les pétroliers de s'agglomérer au point de menacer, parfois, l'extraction. Cette propriété a été mise à profit par une équipe américaine pour produire par autoassemblage des nanofils conducteurs, dont la section ne dépasse pas quelques atomes. La recette ? Mettre dans une solution ces molécules (diamantane, adamantane) au contact d'atomes de cuivre, de soufre, de zinc, de cadmium ou de fer : les forces d'attraction dites de van der Waals ont fait le reste en guidant l'assemblage coordonné de filaments conducteurs, isolés par une fine couche de diamandoïdes. Reste désormais à imaginer des applications pour ces fils.

(HAO YAN/SIMES/SLAC NATIONAL ACCELERATOR LABORATORY)
> Yan et al., « Nature Materials », 26 décembre.

PRÉCISION

Matière noire

A la suite de l'article sur la matière noire paru dans *Le Monde* du 28 décembre, l'astrophysicien David Elbaz précise que la détection de rayons gamma en provenance de galaxies « noires » comme Dragonfly 44 n'a pas encore eu lieu et qu'elle ne démontrerait pas obligatoirement l'existence de matière noire. Cette détection représenterait cependant une étape importante pour comprendre la nature de la matière noire.

Des souris obèses démotivées

BIOLOGIE - Le dysfonctionnement d'un neurotransmetteur pourrait causer leur inactivité

Animaux et humains obèses sont moins actifs que les individus de poids normal. Est-ce parce que leur corpulence entrave l'exercice physique, ou parce qu'ils connaissent une perte de motivation à bouger ? C'est la question que s'est posée Alexxai Kravitz, de l'Institut américain du diabète et des maladies digestives et rénales. Il s'est demandé si cette baisse d'activité n'aurait pas pour origine le dysfonctionnement d'un neurotransmetteur, la dopamine, impliqué dans les circuits de la motivation.

« D'autres études avaient fait le lien entre des défauts de signalisation de la dopamine et l'obésité, mais la plupart s'intéressaient au processus de récompense – la façon dont les animaux se sentent quand ils mangent différentes nourritures, indique Alexxai Kravitz dans un

communiqué qui accompagne la publication des travaux de son équipe dans la revue *Cell Metabolism* du 29 décembre. Nous avons étudié quelque chose de plus simple : la dopamine est critique pour le mouvement, et l'obésité est associée à un manque de mouvement. Des problèmes sur les voies de signalisation de la dopamine pourraient-ils à eux seuls expliquer l'inactivité ? »

Récepteurs dopaminergiques

Les chercheurs ont étudié des souris nourries normalement et d'autres qui suivaient un régime enrichi en graisses, pendant dix-huit semaines. Dès la deuxième semaine, les souris gavées avaient pris du poids et, à partir de quatre semaines, elles bougeaient moins. Mais cette baisse d'activité physique survenait avant qu'elles aient pris l'essentiel de leur

surpoids. Cela appuyait l'hypothèse que celui-ci n'était pas seul responsable de cette apathie. En étudiant le cerveau des souris devenues obèses, les chercheurs ont constaté un déficit au niveau de certains récepteurs de la dopamine. Lorsqu'on leur injectait un produit qui rétablissait l'activité de ce circuit dopaminergique, elles redevenaient plus actives.

L'expérience a aussi fait appel à des souris génétiquement modifiées pour présenter le même déficit de ces récepteurs D2 de la dopamine. Elles aussi étaient moins actives, mais elles ne gagnaient pas plus rapidement du poids que leurs cousines non transgéniques quand elles étaient soumises à un même régime gras. « Nos expériences appuient la conclusion que l'inactivité physique est une conséquence de l'obésité mais qu'elle n'est pas en elle-

même suffisante pour causer des changements de poids », écrivent les chercheurs, qui vont désormais voir si le mécanisme mis en évidence est réversible après un retour à une alimentation saine.

« La force de l'étude est de fournir une base moléculaire claire entre régime gras, signalisation dopaminergique et activité », estime Serge Luquet (université Paris-VII, CNRS UMR 8251), qui étudie les liens entre dopamine et obésité. Elle permet aussi de compartimenter l'aspect dit de « récompense » et la composante « motivationnelle » dépendant de la dopamine. Ce travail, transposable à l'homme, ajoute Serge Luquet, « suggère que manger gras conduit à une perturbation de l'activité des circuits contrôlant la motivation, induisant une diminution de l'activité ». ■

HERVÉ MORIN

Dans l'interêt de la science

france

mathieu vidard
la tête au carré
14:00-15:00

avec, tous les mardis,
la chronique de Pierre Barthélémy

Le Monde
science & médecine

Les plafonds de verre de l'humanité

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

Le démographe Jean-Marie Robine est moins pessimiste. Selon lui, les mauvais chiffres français de 2015 sont en partie liés à l'impact « conjoncturel » de la grippe chez les personnes âgées. Les autorités sanitaires françaises ont effectivement enregistré un nombre record de victimes des virus grippaux à l'hiver 2014-2015 : 18 000 décès en excès, dont 90 % chez des plus de 65 ans. « Il faut regarder l'évolution sur une longue période, et cela montre que nous ne sommes pas à nos limites », insiste Jean-Marie Robine. En France, par exemple, l'espérance de vie n'a pas cessé d'augmenter depuis 1945. Jusqu'ici, elle a progressé en moyenne de trois mois par an, ce qui est considérable. Ces huit dernières années, néanmoins, les hommes n'ont gagné que dix-neuf mois, les femmes huit mois.

« Ce que l'on observe, c'est que, quelle que soit la cause de décès, elle se produit plus tard, ce qui signifie qu'on résiste plus longtemps. La durée de vie maximale n'augmente peut-être pas, mais on meurt plus tard, dans une fenêtre de temps plus étroite », dit encore le démographe. Pourvu que ça dure.

Taille :

le tassement de la croissance

Jamais l'humain n'a autant grandi qu'au XX^e siècle : une dizaine de centimètres en moyenne, et bien davantage dans certains pays. En Iran, les hommes ont gagné 17 cm en cent ans, les femmes sud-coréennes 20 cm, selon des données publiées le 26 juillet par une équipe internationale dans la revue *Life*. Mais cette poussée de croissance marque désormais le pas. « Beaucoup de signaux indiquent que cette phase séculaire s'est récemment terminée », souligne Joerg Baten, professeur d'histoire de l'économie à l'université de Tuebingen (Allemagne), qui a analysé les données anthropométriques depuis 1810 dans 156 pays. C'est notamment le cas dans la plupart des pays d'Europe, continent leader par la taille moyenne de ses habitants. « Aux Pays-Bas, en Allemagne, au Royaume-Uni et dans les pays scandinaves, la taille des jeunes de 20 ans n'a pas augmenté cette dernière décennie », précise M. Baten.

La stature stagne aussi dans certaines zones d'Asie, au Bangladesh et au Japon, par exemple. Elle a même commencé à diminuer dans des pays africains. Ainsi, depuis environ une génération, la taille moyenne se réduit en Égypte, en Ouganda, en Sierra Leone... Les jeunes adultes y sont aujourd'hui plus petits qu'il y a cinquante ans.

Comment expliquer ces évolutions, et que présagent-elles pour l'avenir ?

Aubaine pour les chercheurs, les données ne manquent pas et permettent des analyses sur de longues périodes. Militaires, criminels, esclaves ou domestiques ont vu leur taille répertoriée, notamment en Europe, depuis le XIX^e siècle. Les anthropologues, de leur côté, mesurent les squelettes des premiers hommes. « Sur une échelle de temps longue, les caractéristiques morphologiques humaines ont peu évolué », constate le médecin et anthropologue Alain Froment (Musée de l'homme). L'homme de Cro-Magnon, qui vivait il y a environ quarante mille ans, mesurait souvent plus de 1,70 m, et son squelette était peu différent du nôtre. La

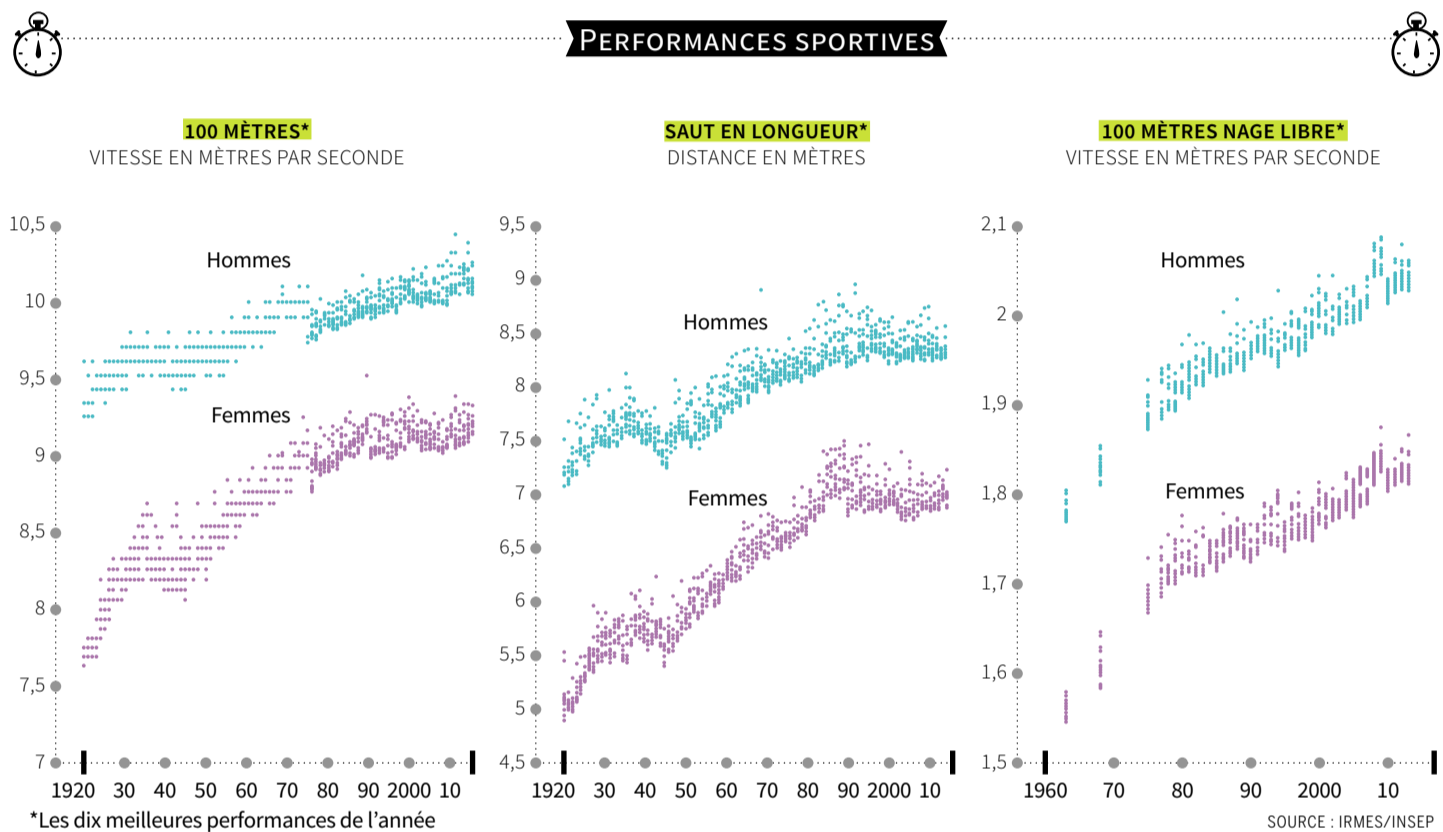
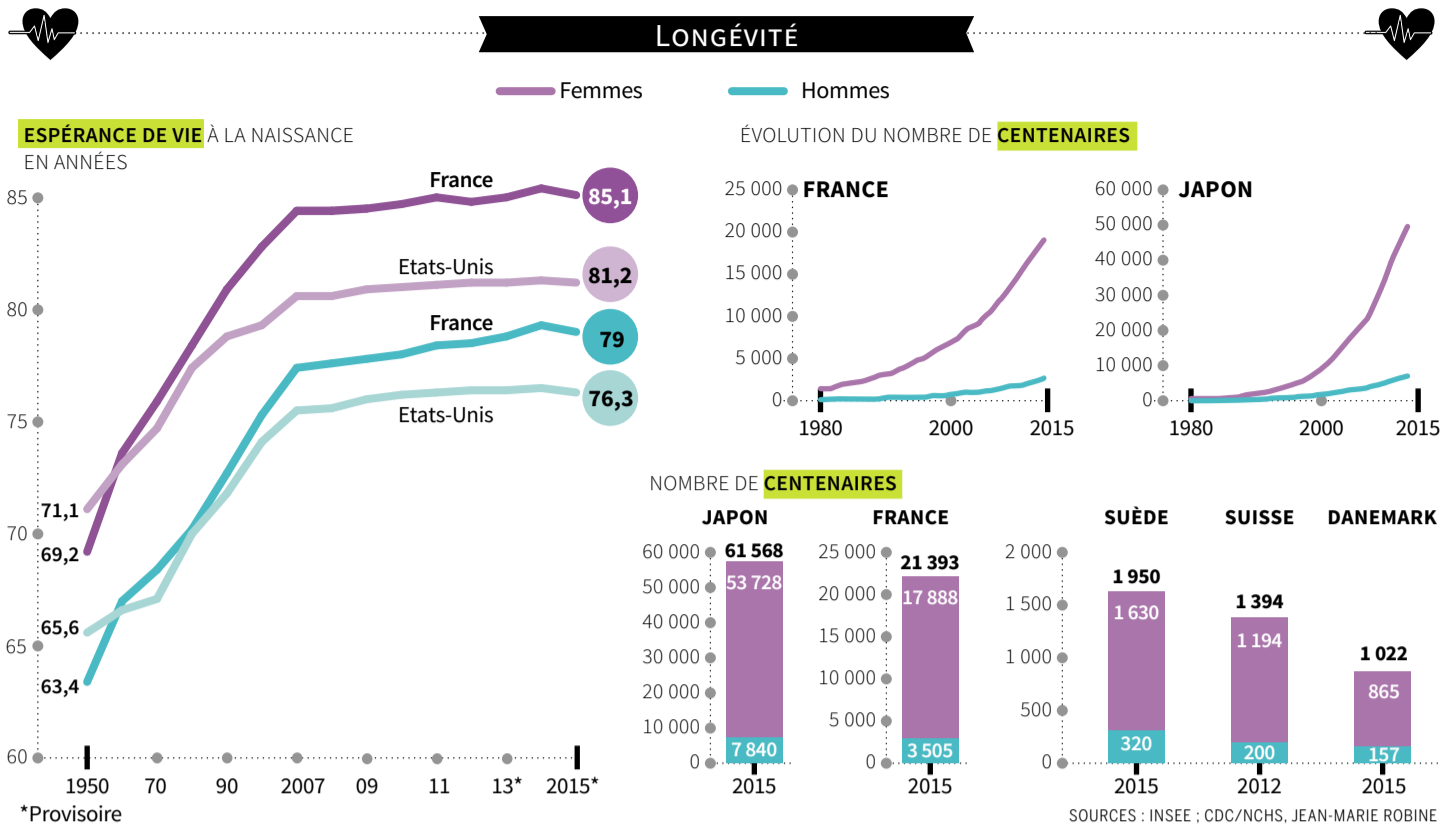
taille a ensuite diminué d'une dizaine de centimètres du néolithique au XVIII^e siècle, du fait de conditions difficiles. Les gens vivaient entassés, leur alimentation était très dépendante des récoltes, et ils étaient soumis à de nombreuses maladies infectieuses infantiles, qui peuvent affecter la croissance. L'amélioration des conditions de vie, de l'alimentation, les progrès de l'hygiène et de la médecine au XIX^e et surtout au XX^e siècle s'est accompagnée d'une croissance impressionnante de la stature moyenne.

Avec des bénéfices non négligeables pour l'espèce. « Nous avons montré que, jusque dans les années 1970, un centimètre supplémentaire correspond à 1,2 année d'espérance de vie en plus », indique M. Baten, en précisant que ce calcul s'applique à une population, pas à l'échelle individuelle. D'autres études ont retrouvé des liens positifs entre la taille et le niveau du QI. Les grands feraient de meilleures études, occuperaient davantage des postes à responsabilités...

La croissance de la taille ces cent dernières années a cependant été variable d'un pays à l'autre, en raison de facteurs génétiques et d'environnement. Au total, environ 700 gènes sont impliqués dans la détermination de la stature d'un individu. « Leur rôle n'est pas encore parfaitement élucidé, mais il est évident. Il existe par exemple des nanismes insulaires, liés à l'isolement et l'endogamie », cite Alain Froment. Surtout, le poids de l'environnement et des paramètres socio-économiques apparaît majeur, notamment par l'alimentation. « Le sucre, dont la consommation a beaucoup

« SUR UNE ÉCHELLE DE TEMPS LONGUE, LA MORPHOLOGIE HUMAINE A PEU ÉVOLUÉ »

ALAIN FROMENT
MÉDECIN ET ANTHROPOLOGUE



augmenté au XX^e siècle, induit une réponse insulinaire, qui est anabolisante », insiste l'anthropologue. L'appétence traditionnelle des Européens (notamment des Néerlandais) pour les produits laités, riches en calcium et en protéines, est aussi avancée pour expliquer leur croissance record. Mais les nouvelles habitudes alimentaires, avec une moindre consommation de lait et de viande, pourraient bien changer la donne. « Aux Pays-Bas, la consommation de lait a baissé de 5 % entre 2000 et 2010 », souligne M. Baten. Le contexte de crise économique pourrait aussi jouer. « En Allemagne, on a constaté que les enfants dont les parents sont au chômage sont plus petits », note encore Joerg Baten.

Selon ce chercheur, ce coup d'arrêt de la croissance n'est pas forcément définitif. « Il n'y a pas de raison que les Européens n'atteignent pas au moins le niveau actuel des Néerlandais (recordmen mondiaux), 1,83 m pour les hommes et 1,71 pour les femmes », estime-t-il. Et à plus long terme ? Développement technologique ou bricolage génétique mis à part, notre corps ne devrait pas changer notablement d'apparence dans les prochains millénaires, prévoit Alain Froment. « L'espèce est programmée pour une certaine taille, un certain poids. Les extrêmes ne sont généralement pas favorables », justifie-t-il.

Performances sportives : la stagnation des records

Petit retour en arrière. Le 30 août 1991, à Tokyo, en finale des championnats du monde, l'Américain Mike Powell sautait 8,95 m en longueur et effaçait le record du monde, détenu depuis vingt-trois ans par son compatriote Bob Beamon. Deux ans plus tard, le 27 juillet 1993, au meeting de Salamanque, le Cubain Javier Sotomayor franchissait 2,45 m en hauteur, dépassant de 1 centimètre sa propre marque, établie quatre ans auparavant... Pour les amoureux de l'athlétisme, ces records, toujours invincibles, relèvent de la légende. Pour les scientifiques de l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport

(Irmes), ils constituent les éléments d'une démonstration.

Depuis dix ans, cette équipe parisienne le martèle avec constance : « Les performances stagnent. » Certes, le record du 400 m masculin, ceux des 10 000 m, 100 m haies et lancer du marteau féminin sont bien tombés en 2016. Mais ces arbres ne peuvent masquer la forêt.

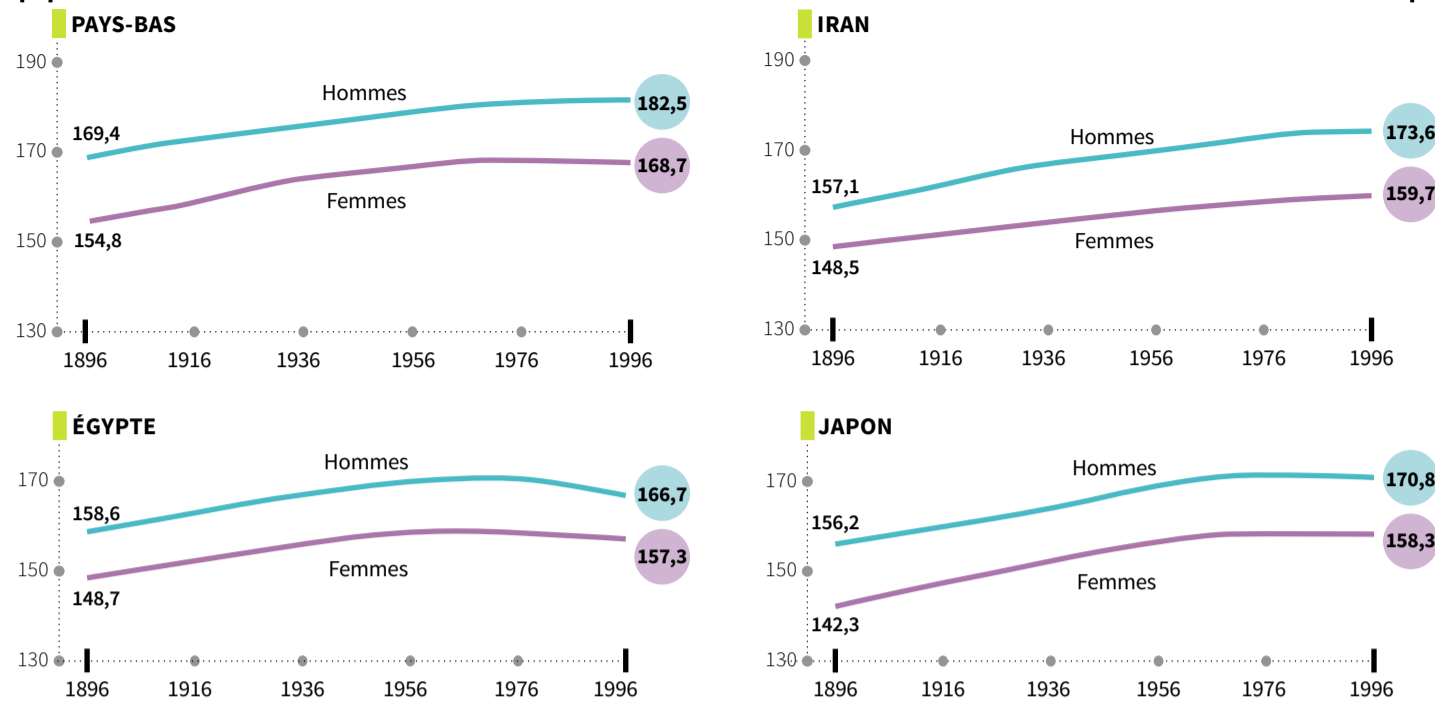
Dans un article publié en 2015 dans la revue *Sports Medicine*, les chercheurs ont analysé les 3263 records établis depuis 1896 en athlétisme, cyclisme, patinage de vitesse, haltérophilie et natation. Ils constatent une progression par paliers, ralentie par les guerres et accélérée par les innovations technologiques ou pharmacologiques. Entre 1990 et 2009, l'introduction des combinaisons en natation (bannies depuis) a fait chuter les temps des records de 3 %. De même, le monde de l'athlétisme n'a pas oublié ce 13 septembre 1993, quand cinq athlètes chinoises battirent, dans la même course à Pékin, le record du monde du 3000 m. « C'était évidemment du dopage », insiste Jean-François Toussaint, le directeur de l'Irmes. Mais en dépit de ces cahots, l'étude fait clairement apparaître, « en fréquence comme en amplitude (...), une baisse majeure de la progression, suggérant l'existence d'une limite ».

Les records seraient-ils trompeurs, biaisés par des athlètes d'exception ? L'Irmes a aussi analysé l'évolution des dix meilleures performances, chaque année, dans soixante-dix disciplines de l'athlétisme et de la natation. Le même « plateau » apparaît, au point d'inquiéter certains responsables sportifs, qui craignent de voir fléchir l'intérêt des spectateurs.

Les raisons sont multiples. Les techniques d'entraînement se sont professionnalisées et ont atteint une quasi-perfection. De même, la sélection morphologique et phénotypique joue déjà à plein : le vivier des coureurs de fond d'Afrique de l'Est et des sprinteurs venus d'Afrique de l'Ouest et des Caraïbes sature les compétitions. Les conditions ? Difficile de faire de meilleures pistes et pas question de contrôler les conditions météo. Les

TAILLE

EN CENTIMÈTRES, PAR ANNÉE DE NAISSANCE

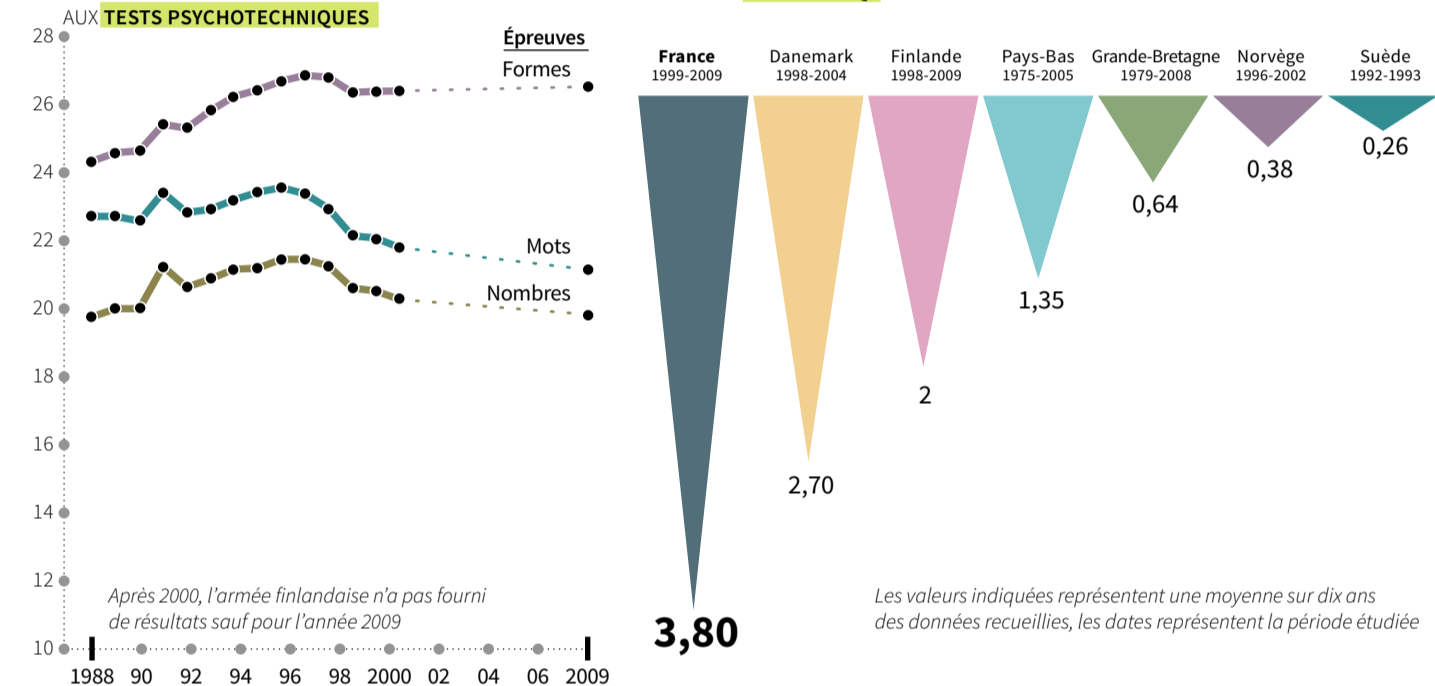


SOURCES : NCD-RISC

INTELLIGENCE

RÉSULTATS DES APPELÉS FINLANDAIS AUX TESTS PSYCHOTECHNIQUES

PERTE DE POINTS DE QI



SOURCE : DUTTON ET AL.

scientifiques de l'Immes s'alarment au contraire d'une hausse des températures et des intempéries qui pourraient défavoriser les performances.

Pour vaincre cette limite, les chercheurs rêvent... ou cauchemardent. De nouvelles ressources, comme les nanomatériaux ou même des tissus artificiels. D'un changement des règles. De quoi améliorer le spectacle, sans doute pas la réalité humaine. D'autant que cette limite n'est pas propre à Sapiens. «Les performances s'essoufflent aussi chez les chevaux de course et les lévriers», sourit Jean-François Toussaint.

Intelligence : la décrea a commencé

Alerte rouge ! «Nos enfants sont plus bêtes que nous et les leurs risquent bien d'être encore plus stupides.» L'homme qui pose ce diagnostic n'est pas un hurluberlu. Professeur émérite à l'université Otago de Dunedin, en Nouvelle-Zélande, James Flynn fait plutôt figure de pape dans les mesures de l'intelligence. En 1987, il a démontré qu'au cours du XX^e siècle le quotient intellectuel moyen de la population avait enregistré une croissance continue. Etabli dans quatorze pays, ce phénomène a pris le nom d'«effet Flynn».

Mais en trente ans, le paysage a radicalement changé. Le premier signal est venu de Norvège. En étudiant les tests psychométriques des jeunes conscrits, des psychologues ont constaté une baisse «significative» de 0,38 point de leur quotient intellectuel (QI) entre 1996 et 2002. Depuis, ces résultats ont été confirmés dans sept pays : l'Australie, le Danemark, le Royaume-Uni, la Suède, les Pays-Bas, la Finlande... et la France. Autrement dit dans tous les pays développés étudiés à l'exception des Etats-Unis.

Deux Britanniques, Edward Dutton et Richard Lynn, ont disséqué le cas français et dressé un triste constat : une baisse de 3,8 points de QI entre 1999 et 2008-2009. Leur méthodologie est différente, leur échantillon – 79 personnes, contre plusieurs milliers en Scandinavie – plus réduit, donc plus sensible. «Une paille

«NOS ENFANTS SONT PLUS BÊTES QUE NOUS ET LES LEURS RISQUENT BIEN D'ÊTRE ENCORE PLUS STUPIDES»

JAMES FLYNN
CHERCHEUR

dans le vent, selon Flynn, mais qui mérite d'être suivie.» Car, simple brise ou future tempête, un phénomène général frappe l'Europe. Une analyse plus fine des résultats permet de mieux le comprendre. Au cours des décennies passées, les scores réalisés aux tests verbaux et numériques étaient déjà en baisse, compensés par une forte progression aux épreuves graphiques. «Les tests graphiques stagnent et laissent désormais apparaître un mouvement entamé en réalité depuis longtemps», indique Edward Dutton, professeur à l'université d'Oulu, en Finlande.

Dans un article publié en 2013 dans la revue *Intelligence*, trois psychologues européens auraient ainsi que «les victoriens étaient plus intelligents que nous». Analysant les temps de réaction moyens enregistrés depuis 1884 et le taux de génies, ils ont ainsi estimé à 14 le nombre de points de QI perdus depuis la révolution industrielle. En 2012, dans *Trends of Genetics*, Gerald Crabtree, professeur de biologie du développement à l'université Stanford (Californie), estimait de son côté que le cerveau humain avait atteint son apogée il y a plusieurs milliers d'années et qu'il subissait depuis des mutations délétères.

Pour Pierre-Marie Lledo, qui dirige le département de neurosciences de l'Institut Pasteur, à Paris, la tendance à la baisse du QI reste cependant délicate à interpréter. «Cela peut signifier que nous déléguons certaines tâches intellectuelles asservissantes aux outils numériques. Par exemple, on peut considérer que nous externalisons notre mémoire avec les moteurs de recherche», souligne le chercheur.

Bien d'autres hypothèses sont avancées. Certains invoquent le poids de l'immigration – moins éduqués, les immigrés tireraient l'ensemble vers le bas. D'autres incriminent une dégradation des systèmes éducatifs. Edward Dutton invoque, lui, un facteur dit «dysgénique» : «Les gens les plus éduqués sont ceux qui font le moins d'enfants, ça finit par se voir.» «Jim» Flynn avance une autre explication : «La société propose de moins en moins d'emplois intellectuels et de plus en plus de jobs basiques dans le secteur tertiaire. Vous ajoutez à cela des adolescents qui, plutôt que lire, préfèrent tuer des Martiens sur Internet, et vous avez la réponse. N'oubliez jamais que l'intelligence est un muscle qu'il faut entretenir.»

Professeure au Muséum national d'histoire naturelle, la biologiste Barbara Demeneix veut bien croire à l'influence de ces facteurs. Mais, selon elle, l'essentiel est ailleurs. «Entre 1970 et 2010, la production chimique a été multipliée par 300, dit-elle. Nous avons montré comment ces molécules bouleversent la fonction thyroïdienne des grenouilles, qui n'avaient pas changé depuis 450 millions d'années. Et, depuis l'an passé, nous savons qu'une perturbation de la fonction thyroïdienne de la mère enceinte a des effets directs sur le QI de l'enfant.» Pour la chercheuse, l'affaire est entendue. Et préoccupante.

Car, insiste-t-elle, les dérèglements thyroïdiens subis in utero et aux premiers âges de la vie affectent aussi la peau, le squelette, les muscles, le métabolisme ou le système cardio-vasculaire de l'enfant. Autrement dit, au-delà du QI, l'espérance de vie serait, elle aussi, sérieusement affectée par les polluants chimiques que nous absorbons. Quant à la taille, elle est conditionnée par l'âge de la puberté... lui-même largement sous l'influence des perturbateurs endocriniens. Alors, tueur en série ou coupable idéal ? Pour l'heure, en tout cas, personne n'incrimine les affreuses molécules dans l'incapacité des sauteurs en hauteur à battre les 2,45 m de Javier Sotomayor. ■

NATHANIEL HERZBERG
ET SANDRINE CABUT

« LA SURVIE DE NOTRE ESPÈCE EST EN JEU »

Ancien volleyeur de haut niveau, cardiologue de formation, Jean-François Toussaint est professeur de physiologie à l'Hôtel-Dieu (AP-HP, université Paris-Descartes). A l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep), il dirige l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport (Irmes), qu'il a fondé en 2006.

Vous avez étudié l'évolution des performances des sportifs de haut niveau. Quelles sont les principales conclusions ?

Nous avons constaté qu'après une progression rapide au XX^e siècle, les records stagnent désormais dans de nombreuses disciplines. Pour parvenir à ce résultat, nous avons analysé l'évolution des performances des dix meilleurs athlètes mondiaux dans soixante-dix disciplines olympiques, en athlétisme et en natation, le constat étant le même en cyclisme, en patinage de vitesse et en haltérophilie. Ce travail, portant sur plus de 41 000 champions, montre que nous sommes parvenus au maximum des capacités physiques humaines, malgré toutes nos innovations technologiques ou le dopage.

Dans le domaine des lancers – poids, javelot, disque, marteau –, les meilleures performances n'ont plus progressé depuis vingt-cinq ans. En athlétisme, 64 % des épreuves plafonnent, et chaque année une nouvelle épreuve s'ajoute à la liste. En natation, les performances ont continué de s'améliorer dans les années 2000 du fait des combinaisons, mais elles atteignent aussi leur plateau. La question est désormais de savoir si ce phénomène est définitif ou pas. Nos analyses laissent penser que la plupart des records ne seront plus améliorés qu'à la marge, par des athlètes exceptionnels ou bénéficiant d'une aide artificielle.

En quoi ces résultats peuvent-ils nous éclairer sur les tendances concernant la population générale ?

Il en va des performances sportives comme des autres paramètres tels que la taille ou la durée de vie : en étudiant les comportements aux limites, ceux des sujets exceptionnels, on comprend aussi ce qui se passe sous la courbe extrême, chez les individus «normaux».

Le domaine du sport est précieux pour de telles recherches, tant par la précision de ses mesures que par la durée de son archiver, sur des décennies voire des siècles. Au Japon, les données sur les lutteurs de sumo sont ainsi enregistrées depuis 1750...

Le plafonnement des performances est retrouvé pour d'autres variables : en étudiant la morphologie des sportifs américains, nous avons observé que la taille des basketteurs professionnels, 2 mètres en moyenne, n'a plus augmenté depuis trente ans. Dans les années 1980, on avait pourtant assisté à un gain brutal de 4 centimètres. Cela correspondait au recrutement, au profit des clubs

américains, des plus grands joueurs de tous les autres pays ; mais, depuis, ça ne bouge quasiment plus. Or, la stabilisation de la taille a été constatée dans la population générale de la plupart des pays du monde. Elle commence même à diminuer depuis une génération dans certains pays, comme l'Egypte. De même, l'espérance de vie s'essouffle dans les pays développés. C'est le cas aux Etats-Unis, en France, mais aussi au Japon, un pays longtemps en tête de tous les classements.

Comment relier tous ces résultats ?

C'est l'objet d'un âpre débat, tant scientifique que sociologique et philosophique, entre «prolongévistes», pour qui les limites humaines sont loin d'être atteintes, et réalistes, qui estiment que nous sommes parvenus à un palier critique et qu'il y a urgence à agir. La réaumentation récente de la mortalité, en France comme aux Etats-Unis, en montre le sens.

Qu'il s'agisse des performances physiques, intellectuelles, de la taille ou de la durée de vie, toutes ces courbes ont une évolution désormais concordante, que l'on peut aussi mettre en rapport avec celle de l'énergie. Pendant plusieurs siècles, la démographie, la durée de vie, les paramètres morphologiques ont progressé parallèlement à l'augmentation de la consommation énergétique, de l'économie et des productions agricoles. Mais ce système, qui nous a permis, entre autres, de mieux nous nourrir, est en bout de course. Depuis les années 1990, l'énergie *per capita* [par individu] commence à décroître. Par ailleurs, tout se passe comme si la technologie se retournait contre nous : l'optimisation de la croissance et le développement font apparaître à retardement des effets secondaires. Les conséquences du réchauffement climatique sur la santé commencent à peine à se faire sentir : les canicules provoquent des décès chez les plus vulnérables tandis que certaines maladies infectieuses – et leur résistance aux traitements – progressent à nouveau.

La situation est-elle réversible ?

A l'échelle individuelle, on peut bien sûr agir sur les principaux facteurs comportementaux comme le tabac, l'alcool, la nutrition et l'activité physique : ces paramètres permettent de gagner jusqu'à quatorze années de vie. Mais, au niveau global, l'unique solution pour ne pas perdre les acquis des deux derniers siècles est de réduire drastiquement notre empreinte environnementale et, en particulier, notre dépendance aux énergies carbonées. C'est ce que nous avons préconisé dans un rapport récent du Haut Conseil de la santé publique. Le réchauffement climatique anticipé avec le seul CO₂, actuellement présent dans l'atmosphère n'est désormais plus de 2 °C, mais il varie entre 3 et 7 °C... A ce niveau, c'est bien la survie de notre espèce qui est en jeu. ■

PROPOS RECUEILLIS
PAR S. CA. ET N. H.

LE LIVRE

Débat épistolaire
entre scientifiques

Un témoignage de l'intérieur sur les difficultés de mettre en place des politiques de santé publique

Pierre Choderlos de Laclos, avec *Les Liaisons dangereuses*, ou Kressmann Taylor, avec son *Inconnu à cette adresse*, nous ont rendu familier le roman épistolaire. Marc Danzon et Yves Charpak ont détourné le genre pour présenter leur vision de la santé mondiale sous forme d'une correspondance s'étalant de 2014 à 2015. Tous deux ont étroitement travaillé ensemble de 2000 à 2007 au sein du bureau régional Europe de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Psychiatre de formation, Marc Danzon en a été le directeur de 1999 à 2010. Médecin épidémiologiste, Yves Charpak était son principal conseiller scientifique.

Crises sanitaires, mise en place d'ambitueuses politiques de santé, grands thèmes, organisation au sein des Nations unies, action des lobbies ou rapports entre experts et politiques sont ainsi passés en revue dans des lettres qui mêlent débat scientifique, anecdotes personnelles et élaboration d'une vision stratégique. Le plus souvent, les mises de Marc Danzon débouchent sur une interrogation adressée à Yves Charpak. Directeur du Comité français d'éducation pour la santé au tournant des années 1990 puis responsable pour la santé publique à la Fédération nationale de la Mutualité française avant de rejoindre l'OMS, Marc Danzon s'en remet souvent aux compétences et à la rigueur scientifiques d'Yves Charpak pour valider ses intuitions ou confronter sa vision plus axée sur la communication en santé.

Un dialogue savoureux

De fait, leurs regards se complètent avec complicité et confiance mutuelle, sans pour autant tomber dans la congratulation réciproque ou l'accord parfait. Dans le chapitre consacré à l'alcool, Marc Danzon évoque ainsi « cette fameuse étude qui démontre que la consommation d'alcool à dose modérée serait favorable à la santé » pour souligner qu'elle est « bien plus restrictive que ce que l'on en dit ». Dans sa réponse décortiquant la toxicité complexe de l'alcool, Yves Charpak réfute l'idée d'une étude pionnière et souligne que « le chemin qui va de l'observation d'une corrélation entre une consommation et des états de santé à la démonstration qu'il y a bien un lien de causalité qui justifierait d'intervenir pour changer le risque, est très long et n'a pas été fait à [sa] connaissance pour l'alcool ».

Loin d'être austère, le dialogue entre ces deux experts est même savoureux lorsqu'il est émaillé d'anecdotes comme celle sur les difficultés à respecter les us et coutumes répandus en Europe orientale qui requièrent de chacun des convives d'un banquet de porter un toast avant de boire son verre cul sec.

Ce livre est un plaidoyer pour la santé publique et les indicateurs de santé, aussi imparfaites que soient les statistiques, pour l'évaluation des politiques publiques et pour le rôle irremplaçable de l'OMS, sans dissimuler les travers de cette dernière. ■

PAUL BENKIMOUN

« Notre santé dans l'ère politique mondiale », de Marc Danzon et Yves Charpak (Belin, 256 p., 20 €).

L'AGENDA

CONFÉRENCE

Le cerveau décortiqué

Que se passe-t-il dans un cerveau qui parle, lit, compte ou pense? Quels sont les principes physiques de l'imagerie par résonance magnétique? Quels sont les défis éthiques posés par l'exploration du cerveau? Réponses avec le médecin et physicien Denis Le Bihan, directeur de Neurospin (CEA, Saclay). Ce grand spécialiste de la neuro-imagerie, en particulier de l'IRM, fera un exposé sur ces thèmes et échangera avec le public à l'Académie des sciences (23, quai de Conti, 75006 Paris) le 10 janvier, de 17 à 19 heures.

> Entrée libre sur inscription préalable, renseignements sur <http://academie-sciences.fr>

LES DERNIERS
FEUX DE CASSINI

Ce sera l'événement astronomique de 2017. Cassini entame son « grand final » : la sonde a récemment modifié sa course autour de Saturne, afin d'effectuer le 15 septembre un plongeon mortel dans l'atmosphère de la planète. Elle aura alors bouclé une mission de près de vingt ans dans les parages de Vénus puis de Jupiter, avant l'exploration du système saturnien, marquée par le largage du module européen Huygens, puis son atterrissage sur la lune Titan début 2005. Sur cette photo publiée le 26 décembre 2016 par la NASA, Cassini survole à une distance de 1,2 million de kilomètres le pôle Nord de Saturne, et son motif nuageux en forme d'hexagone. On distingue aussi les anneaux internes, que Cassini frôlera à 22 reprises avant son suicide.

(NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE)



IMPROBABLOGIE

PLIEUR DE PQ, UN EMPLOI À PLEIN TEMPS

Par PIERRE BARTHÉLÉMY

Peut-être, pendant les vacances de Noël, avez-vous séjourné dans un hôtel. Et peut-être même avez-vous remarqué, dans la salle de bains, que la feuille disponible du rouleau de papier toilette était pliée de manière plus ou moins sophistiquée ou esthétique – on en a vu en forme de cœur, de diamant, d'éventail ou d'oiseau, et on ne doute pas que, vu l'usage que l'on fait de ladite feuille, un facétieux inventera un jour une technique pour reproduire la tête de Donald Trump. Ce pliage est un signe discret envoyé aux clients de l'hôtel leur indiquant que le ménage a été fait jusque dans les lieux d'aisance et qu'aucun humain ne s'est assis sur le saint trône depuis.

La pratique est très répandue et personne ne s'interroge vraiment à son sujet. Sauf Rickard Ljung. Ce chercheur suédois, qui travaille à l'unité d'épidémiologie du prestigieux Institut Karolinska de Stockholm, vient d'enrichir la littérature « improbabilogique » en se demandant, dans une étude vite torchée (deux pages) et publiée le 12 décembre 2016 par le *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*,

combien de temps était chaque année consacré au pliage de papier hygiénique dans le monde entier.

Après avoir récupéré quelques statistiques planétaires sur le secteur de l'hôtellerie et pris en compte le nombre total de lits multiplié par le taux moyen d'occupation de chaque établissement, Rickard Ljung et ses deux acolytes en ont déduit que le ménage était fait chaque jour dans environ 10 millions de chambres. Restait à déterminer la durée de la mise en plis du papier toilette. Pour ce faire, les auteurs de l'étude se sont mis aux travaux manuels et ont chronométré, à soixante reprises, l'origami de PQ le plus simple qui soit, à savoir le pliage des deux coins du papier, ce qui forme un triangle semblable à la pointe d'une cravate. La durée moyenne de 5,73 secondes a été arrondie à 10 secondes, car il fallait prendre en considération le temps passé par les employés des hôtels à se sécher les mains ou enlever les gants utilisés pour le ménage avant de plier.

Sautons les méthodes de calcul utilisées dans cet article. Au bout du compte, on retiendra que, chaque année, dans les hôtels de la planète Terre, on consacre plus de 10 millions d'heures à plier du papier toilette, soit l'équivalent de plus de 5000 emplois à temps

plein. Au fur et à mesure qu'on prend connaissance de ce travail, on se demande si son objectif réel n'est pas de dénoncer une pratique dévoreuse de productivité et de justifier des licenciements dans l'hôtellerie... Mais Rickard Ljung n'est pas dans cet état d'esprit. Il souligne dans sa conclusion que les personnes chargées du ménage font un travail éreintant. Leur épargner des tâches sans réel fondement comme le pliage d'un papier destiné à nettoyer, précisément, des fondements « améliorerait leur santé et leur bien-être ».

On respire. On était sur le point d'envisager une mesure de représailles, à savoir dénoncer Rickard Ljung à l'inspection du travail suédoise pour avoir fait travailler illégalement des enfants. En effet, les deux coauteurs de l'étude, Hedvig et Harald Ljung, âgés de 11 et 13 ans, sont les rejetons du chercheur... Ils apprennent la science en s'amusant.

On regrette simplement que l'étude ne précise pas le temps consacré à sa réalisation. En le multipliant par le nombre de travaux décrits depuis cinq ans dans cette chronique, on pourrait sans doute se faire une idée du nombre d'emplois à plein temps qui, dans le secteur de la recherche, sont consacrés à la science improbable! ■

AFFAIRE DE LOGIQUE – N° 990

Bonne année !

Vous remplissez deux colonnes de la façon suivante.

Colonne 1 : vous écrivez 1 sur la ligne 1. Puis, successivement, sur chaque ligne, vous écrivez à votre choix le nombre écrit au-dessus (colonne 1, ligne précédente) ou son double. Colonne 2 : elle contient les totaux de la colonne 1. Vous écrivez 1 sur la ligne 1. Puis, sur chaque ligne, vous écrivez le nombre écrit en colonne 2 sur la ligne précédente auquel vous avez ajouté le nombre écrit en colonne 1 de la ligne que vous remplissez.

En combien de lignes, au minimum, pourrez-vous obtenir 2016 en colonne 2 ? Et 2017 ? Mémes questions si, sur la colonne 1, vous pouviez écrire un des 2 nombres déjà écrits sur la ligne précédente (colonne 1 ou 2 cette fois, à votre choix), ou son double.

SOLUTION DU N° 989

Il est toujours possible de trouver 5 nombres qui ont le même PGCD que la liste complète.

Premier cas : Tous les nombres de la liste (on l'appelle L) sont premiers entre eux : leur PGCD (plus grand diviseur commun) est 1. On remarque alors qu'aucun de ces nombres ne peut avoir plus de 5 diviseurs premiers distincts. S'il en avait six ou plus, il dépasserait largement 15 000, car $2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 = 30\ 030$. 1.a) Supposons que tous les nombres de L aient 5 diviseurs premiers distincts. Soit N l'un d'entre eux et, a, b, c, d et e ses

diviseurs premiers.

Il existe alors forcément dans L un nombre A non multiple de a, ainsi que B non multiple de b, C non multiple de c, D non multiple de d, E non multiple de e. • Si, parmi A, B, C, D, E, l'un, par exemple A, n'est multiple que de trois des diviseurs, par exemple c, d et e, les 5 nombres N, A, C, D et E sont premiers entre eux. Fin. • Si A, B, C, D, E ont tous 4 des 5 diviseurs, ils ne peuvent alors être tous multiples d'un même sixième nombre premier sans que le plus grand dépasse 15 000. En effet, il serait supérieur à $3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 = 15\ 015$. A, B, C, D et E sont alors premiers

entre eux. Fin.

1.b) Si un des nombres de L, N, n'a que 4 diviseurs premiers distincts (ou moins), a, b, c, d, il existe alors pour la même raison dans L un nombre A non multiple de a, ainsi que B non multiple de b, C non multiple de c, D non multiple de d. Alors, les 5 nombres N, A, B, C et D sont premiers entre eux. Fin. Deuxième cas : Les nombres de L ont un plus grand diviseur commun D strictement supérieur à 1. On les écrit tous sous la forme Dx , et on est ramené au cas précédent en raisonnant sur les nombres x, tous premiers entre eux.

Des formes, dans l'art comme dans l'industrie

• Formes optimales au Havre le 11 janvier

Dans le cadre de son séminaire de vulgarisation mathématique, la Fédération Normandie-Maths propose, mercredi 11 janvier à 14h à l'amphi normand de l'université, une conférence de Yannick Privat (CNRS) : « À la recherche de formes optimales : enjeux mathématiques et applications. » Dans cet exposé, ouvert à tous, l'orateur, après avoir expliqué très simplement l'optimisation de formes, tentera de mettre en évidence les évolutions et l'impact de la recherche dans cette discipline. Il sera question de profil aérodynamique, de forme des antennes ou des composants électroniques, et même d'outils liés à la médecine. Autant d'objets que l'optimisation de formes peut permettre de concevoir plus facilement, de rendre plus solides et de faire durer plus longtemps. Informations sur <http://normandie.math.cnrs.fr/vulgarisation.html>

• Hommage à François Morellet à Chambéry jusqu'au 2 avril

Un hommage posthume sera rendu à l'artiste François Morellet, disparu en mai dernier, par le Musée des beaux-arts de Chambéry. L'exposition inédite « François Morellet et ses amis », présentée jusqu'au 2 avril 2017, accueille des pièces exceptionnelles de cet artiste que les mathématiques ont fortement inspiré. Parmi elles, le premier de ses « Néons » ou le tableau *Les 3200 carrés* au titre si évocateur, ainsi que leurs dessins préparatoires, feront mieux comprendre ces œuvres où un principe préétabli contrôle la création artistique que la place laissée au hasard se traduit par l'imprévisibilité du résultat. Un système qui rappelle les structures oulipiennes. Les amis de François Morellet, Victor Vasarely, Max Bill, Kasimir Malevitch, pour qui la géométrie a aussi beaucoup compté, l'entoureront dans cette exposition. Autour de cette manifestation, des visites-ateliers pour les enfants, des *workshops* pour les ados et des films pour les adultes seront proposés. Programme sur <http://www.chambery.fr/206-musee-des-beaux-arts.htm>

CARTE
BLANCHEL'impertinente
science du vivantPar NICOLAS GOMPEL
ET BENJAMIN PRUD'HOMME

Chacun à sa manière, les chercheurs en biologie déchiffrent le fonctionnement du vivant, le tout formant un portrait le plus global possible. Pourtant, paradoxalement, la réalité d'un projet de recherche n'a souvent rien de global mais s'enfonce au contraire rapidement dans le détail extrême : la phosphorylation d'une lysine en position 109 de telle protéine, le changement de régime alimentaire de l'accenteur mouchet en période nuptiale, le nombre de boutons synaptiques de telle jonction neuromusculaire chez le criquet pèlerin en captivité. Difficile de voir grand avec cette approche fragmentée du vivant ! Difficile également de choisir quoi étudier et quels projets financer.

Les chercheurs et les agences qui financent leurs recherches utilisent la notion un peu floue de pertinence comme critère de sélection des projets scientifiques. La pertinence mesure l'impact d'un projet, l'avancée des connaissances qu'il a permises. En somme, elle répond à cette lancinante question : à quoi ça sert ?

A posteriori, il est toujours plus facile de répondre. Il était pertinent de s'intéresser aux enzymes de restriction bactériennes, ces ciseaux à ADN, car elles ont révolutionné la biologie moléculaire. Mais cette révolution était imprévisible, illustrant ainsi que décider a priori de la pertinence d'un projet de recherche peut s'avérer hasardeux. Si « les prévisions sont difficiles, surtout lorsqu'elles concernent l'avenir », comme l'expliquait le comédien et humoriste Pierre Dac, c'est particulièrement vrai pour les retombées d'un projet de recherche. Comment alors décider a priori de la pertinence d'un projet ?

Disette budgétaire

Les politiques de la recherche publique privilégient les projets visant à améliorer la santé et le bien-être humains, ou qui déboucheront sur des applications à fort potentiel économique. Un choix en partie compréhensible en ces temps de disette budgétaire et du fait de l'importance de justifier auprès du public chaque euro dépensé. La pertinence de ces projets est alors jaugée à l'aune des finalités annoncées. Les choses se compliquent pour des projets qui ne se situent pas immédiatement en amont d'applications, et qui ne cherchent qu'à augmenter la connaissance et la compréhension du monde.

Comprendre pour comprendre, enrichir la bibliothèque du savoir sans préjuger de l'utilité de chaque ouvrage qu'on y place. L'important, c'est que la bibliothèque soit riche et constitue progressivement un ensemble cohérent. Comment juger alors que l'étude d'un fragment du vivant mérite qu'on y consacre du temps et de l'argent ? Comment répartir judicieusement le budget entre recherche strictement fondamentale et recherche plus appliquée, dont on attend des retombées rapides ?

L'idée, souvent avancée, qu'on ne saurait prédire de quelle découverte fondamentale viendra la prochaine révolution technologique, et qu'il faut donc soutenir la recherche dans toutes les directions, ne saurait suffire. Le caractère foisonnant du vivant justifie tout autant une exploration multidirectionnelle. La diversité du vivant se déploie dans le temps et dans l'espace, à travers une infinité d'espèces, ainsi qu'à toutes les échelles, des molécules aux cellules, des organismes aux écosystèmes. Ce foisonnement nous oblige, pour le comprendre et en tirer des principes de fonctionnement généraux, à l'explorer sous toutes ses facettes, et à tisser des liens entre des phénomènes et des niveaux de complexité a priori distincts.

C'est dans ce contexte que la pertinence d'un projet peut être estimée, en expliquant de quelle manière la nouvelle connaissance obtenue s'intégrera telle une pièce dans le grand puzzle de la compréhension du vivant. Ignorer le foisonnement du vivant revient à l'explorer avec des œillères. ■

Nicolas Gompel est généticien à l'université Louis-et-Maximilien de Munich (Allemagne). Benjamin Prud'homme est généticien à l'Institut de biologie du développement de Marseille-Luminy (CNRS).

Permettre l'analyse génétique de l'embryon
avant le transfert utérin

TRIBUNE - Une proposition de loi a été déposée en novembre 2016. Son objectif : détecter plus précocement d'éventuelles anomalies chromosomiques ou métaboliques

Le moment où les femmes envisagent une grossesse est de plus en plus tardif. Cela n'est pas sans conséquences, car tous les indicateurs démontrent que les risques d'anomalies génétiques graves pour l'enfant augmentent en fonction de l'âge de la future mère. On peut le vérifier en utilisant les techniques de fécondation in vitro, où, en moyenne, 60 % des embryons transférés n'aboutiront pas à une naissance du fait d'anomalies chromosomiques ou métaboliques. Ce pourcentage peut être encore plus élevé et dépasser les 80 % dans certaines conditions (âge de la mère supérieur à 40 ans, antécédents de fausses couches à répétition, échecs répétés d'implantations).

Mettre fin à un paradoxe

Or le prélèvement de cellules embryonnaires juste avant l'implantation (entre le troisième et le sixième jour de culture in vitro) a été réalisé en Grande-Bretagne depuis 1991, et autorisé en France depuis plus de quinze ans, dans le cadre du diagnostic préimplantatoire. Mais le recours à cette technique n'est juridiquement possible que lorsque les gènes de maladies d'une particulière gravité sont présents chez l'un des parents. Toutes les données démontrent que les nouveaux-nés soumis à de tels prélèvements de cellules embryonnaires précoces sont viables et normaux.

Dans le cadre de notre droit actuel, toute femme enceinte qui le souhaite peut bénéficier de la recherche d'anomalies chromosomiques dès le troi-

sième mois de la gestation, avec comme conséquence, en cas d'anomalie avérée, la prise d'une décision douloureuse : interrompre la grossesse ou accepter la venue au monde d'un enfant atteint d'une grave maladie.

C'est pour modifier cette situation qu'une proposition de loi souhaite élargir, indépendamment de l'identification d'une maladie génétique, les conditions du diagnostic préimplantatoire avant transfert utérin « au diagnostic d'un risque d'une particulière gravité du développement embryonnaire » chez les patients à risque.

La loi de bioéthique de 2011 prévoit un réexamen d'ensemble de la loi en 2018, après l'organisation d'un débat public et une évaluation. Il nous apparaît que cette proposition de loi pourrait être discutée sans cette procédure contraignante, dans la mesure où la pratique concernée est déjà proposée à toutes les femmes enceintes dès la fin du premier trimestre de gestation. Il y a d'ailleurs eu jurisprudence car, récemment, deux modifications partielles des lois de bioéthique ont été discutées et votées au Parlement – autorisation de recherche sur les cellules souches embryonnaires (2013) ; possibilité de prévenir, de soigner des pathologies chez l'embryon (2015), validée par décision du Conseil constitutionnel du 21 janvier 2016.

Il y a, en effet, paradoxe et incohérence à ce que l'analyse du risque chromosomique du fœtus soit autorisée pour les femmes enceintes qui le souhaitent après quelques semaines de

**AUTORISER
LE DIAGNOSTIC
PRÉIMPLANTATOIRE
DES FACTEURS
GÉNÉTIQUES OU
MÉTABOLIQUES
PERMETTRAIT DE
RÉDUIRE LE DÉLAI
D'OBTENTION D'UNE
NAISSANCE VIABLE**

grossesse dans le cadre du dépistage anténatal, alors que ce même examen reste interdit par prélèvement d'une cellule de l'embryon avant qu'il soit transféré dans l'utérus.

Réduire les incohérences

La modification législative proposée aurait l'avantage de ne transférer qu'un seul embryon, évitant ainsi des grossesses multiples et leurs complications. Le fait d'autoriser le diagnostic préimplantatoire des facteurs génétiques ou métaboliques pour une population à risque permettrait de réduire le délai nécessaire pour obtenir une naissance viable, d'abaisser l'incidence des fausses couches, de réduire le nombre de grossesses multiples, de diminuer le nombre de transferts d'embryons non viables, d'éviter la congélation d'embryons anormaux, donc de limiter les embryons surnuméraires, et, enfin, de diagnostiquer

des patients n'ayant aucune chance de réussite lors d'une PMA, en vue de leur conseiller d'arrêter des tentatives inutiles. Elle éviterait des prises en charge coûteuses pour la Sécurité sociale.

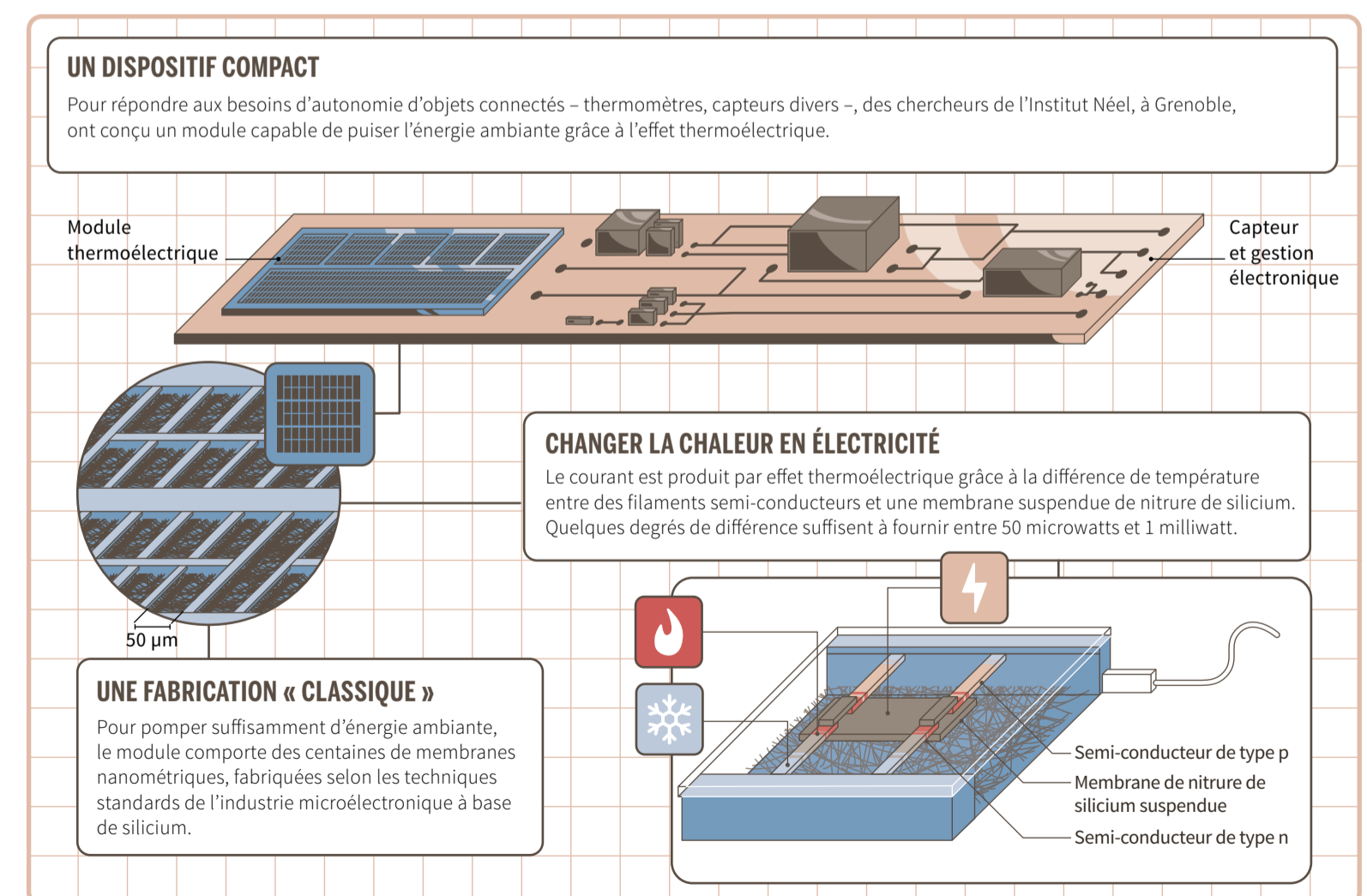
Cette avancée législative serait la première pierre d'une proposition d'assouplissement des règles de l'encadrement de la reproduction sexuée qui a été demandée par de nombreux médecins biologistes de la reproduction, dans le cadre de la création d'un grand « plan contre l'infertilité ». D'autres mesures – sur l'élargissement du don d'ovocyte, sur l'autoconservation ovocytaire actuellement limitée aux cas des femmes présentant une pathologie à risque pour leur fertilité, sur le don de sperme pour des femmes célibataires – devraient être, à notre sens, réexaminées en 2018.

Ce plan de lutte contre l'infertilité permettrait de réduire les incohérences actuelles, de définir des objectifs prioritaires, tout en tenant compte des contraintes de financement, et en respectant les principes éthiques fondamentaux inscrits dans le droit français : la non-commercialisation du corps humain et le refus du risque d'utiliser ou d'aliéner une autre personne à son profit. ■

¶ **Jean-Yves Le Déaut**, député, président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) et **René Frydman**, spécialiste de la médecine de la reproduction.

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

UN MODULE POUR POMPER L'ÉNERGIE AMBIANTE



L'effet thermoélectrique, découvert au XIX^e siècle, est un phénomène physique qui lie le flux de chaleur traversant certains matériaux au courant électrique qui les parcourt. Cet effet est mis à profit dans des dispositifs de

réfrigération et de génération d'électricité – certaines sondes spatiales en ont bénéficié. Une équipe de l'Institut Néel (CNRS), à Grenoble, vient de miniaturiser le procédé avec Modulo, un module thermoélectrique destiné

à alimenter de façon autonome des objets connectés sans fil en profitant de l'énergie ambiante. Les applications envisagées sont industrielles – des thermomètres connectés, par exemple –, la pile bouton, très peu chère,

constituant un rival redoutable sur le marché de la domotique. L'empoussiérage et l'humidité sont aussi des obstacles qu'il reste à lever pour préserver l'efficacité du module. ■

HERVÉ MORIN

Francis Hallé, un botaniste à la cime

PORTRAIT - Scientifique de renommée internationale, cet amoureux des arbres milite pour la préservation des dernières forêts primaires de la planète et de la biodiversité

J' ai perdu mon temps; la seule chose importante dans la vie, c'est le jardinage. » Sigmund Freud a-t-il vraiment prononcé cette phrase à la fin de sa vie? S'il ne manque pas de la citer, le botaniste et dendrologue Francis Hallé n'est pourtant pas sûr qu'elle soit authentique. Et il l'avoue avec une certaine malice, à proximité des arbres soigneusement alignés du Jardin du Luxembourg, à Paris. Car, dans la vie de Francis Hallé, les arbres ne sont jamais bien loin. Il en a épousé la cause, et est aujourd'hui internationalement reconnu par ses pairs pour ses travaux sur leur architecture ou sur le concept de « réitération », c'est-à-dire leur processus de duplication. Les expéditions qu'il a menées dans la canopée des forêts tropicales avec le Radeau des cimes, une gigantesque nacelle déposée par un dirigeable, l'ont fait connaître du grand public. Ainsi que les milliers de dessins d'une incroyable précision due à son sens aigu de l'observation.

En cette fin d'année 2016, Francis Hallé est très présent dans les librairies de son quartier parisien d'élection, le Quartier latin – le reste du temps, il vit à Montpellier. Pas moins de trois ouvrages récents portent sa signature : un délicieux *Atlas de botanique poétique* (Arthaud, 128 p., 25 euros) et, précisément, deux livres de dessins : *50 ans d'explorations et d'études scientifiques de la forêt tropicale* et *50 ans d'observation de jardins botaniques dans le monde* (Museo Editions, 366 p., 39,50 euros chacun).

Fascination pour le monde végétal

L'un a été préfacé par Patrick Blanc, l'inventeur des murs végétalisés (dont celui du Musée du quai Branly, à Paris), mais avant tout botaniste réputé, spécialiste des plantes épiphytes des sous-bois et bois tropicaux – des végétaux qui vivent sur d'autres plantes sans les parasiter. La préface du second est de Gilles Clément, paysagiste, écrivain et « jardinier », entre autres concepteur des jardins méditerranéens du Domaine du Rayol, dans le Var.

Patrick Blanc, qui a les cheveux toujours... verts, rappelle son admiration pour le savant, dont il est proche : « *Le travail scientifique de Francis, c'est les rubiacées. Des petites plantes. Son sujet d'étude, c'est l'architecture des arbres jeunes, qui ne dépassent pas 5 à 6 mètres de haut.* » Et d'insister : « *Il ne faut pas confondre le goût émotionnel qu'il a pour les arbres, qui est tout à fait réel, et ce que Francis a écrit de scientifique.* » Le discret Gilles Clément, lui, le dit d'entrée : « *Francis, c'est un ami. On se comprend peut-être parce qu'on a une espèce d'acceptation du raisonnement scientifique, mais sans lui donner le pouvoir quelquefois un peu totalitaire qui est dans la pensée de certains chercheurs ou de ceux qui utilisent la science.* » Amitié qui n'empêche pas les discussions sur des sujets qui pourraient fâcher – comme les plantes « invasives » ou... « vagabondes ».

Autre admirateur, Marc Jeanson, le jeune responsable de l'herbier du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et lecteur précoce d'*Eloge de la plante* (Seuil, 1999), qui s'enthousiasme : « *Son opposition entre le monde animal et le monde végétal a été étayée par beaucoup d'éléments scientifiques. Les plantes sont plus finies, plus abouties que ne le sont les animaux – et l'homme, qui se rattache au règne animal. Et ça, c'était quand même très, très fort.* »

Francis Hallé est né en 1938, en Seine-et-Marne, dans une famille de sept enfants. Son père était ingénieur agronome et sa mère avait une grande sensibilité artistique. Il y eut aussi de nombreux peintres dans la famille Hallé, dont un Noël Hallé, qui eut une certaine notoriété au XVIII^e siècle, avant que Diderot ne l'assassine : « *Vous m'ennuyez, monsieur Hallé...* » Un avis que partage le botaniste : « *Cet académisme religieux est un peu passé de mode. C'étaient pas des grands artistes, les Hallé.* »

Mais son regard s'anime à l'évocation d'un de ses grands-pères, peintre lui aussi : « *Je le regardais peindre des arbres. Ça me fascinait. C'était un peintre de la Bretagne. Et à l'époque, en Bretagne, il n'y avait pas beaucoup de maisons et énormément d'arbres.* »

Il va suivre les traces de son frère Nicolas, entomologiste, botaniste, chercheur au Muséum, responsable des herbiers et... grand dessinateur lui aussi. Entrepreneant des études scientifiques, étudiant les animaux, Francis Hallé aura une révélation en voyant pousser une plante dans un pot oublié sur son rebord



Francis Hallé, à Montpellier, en décembre 2016.

JULIEN GOLDSTEIN/GETTY IMAGES POUR « LE MONDE »

de fenêtre. Il le raconte avec émerveillement, en 2002, dans un documentaire : « *Un matin, j'ai vu une plante qui sortait. Et je ne m'en suis pas occupé. Elle a grandi, elle a fleuri, elle a donné des graines. Elle s'est ressemée. Il y en avait une douzaine. C'est une chose qui m'a profondément marqué. Je suis devenu botaniste à ce moment-là.* »

Missions d'exploration des canopées

Commence alors une carrière qui, grâce à l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (devenu l'actuel Institut de recherche pour le développement), le conduira en Afrique – dont huit ans en Côte d'Ivoire avec sa femme, Odile (ils auront quatre enfants ensemble), puis au Congo-Brazzaville et au Congo-Kinshasa –, avant son installation à Montpellier, où il enseignera la botanique de 1971 à 1999. De 1986 à 2001, il sera responsable des missions d'exploration des canopées des forêts tropicales avec le fameux Radeau des cimes, qui le conduiront en Guyane, au Cameroun, au Gabon ou à Madagascar.

Cette extraordinaire aventure scientifique, il la mènera avec deux complices, Dany Cleyet-Marrel et Gilles Ebersolt, respectivement pilote d'aérostat et architecte inventeur. Ils concevront ensemble les différents ballons dirigeables qui déposeront sur la cime des grands arbres le filet en Kevlar entouré de boudins gonflables qui le font ressembler à un immense Zodiac en étoile. Il n'est pas question, bien sûr, d'avoir le vertige. Ayant des origines bretonnes, marin lui-même, Francis Hallé, qui a navigué au large de l'île de Groix, est aussi parfaitement à l'aise en hauteur, harnaché comme sur un catamaran.

Fasciné par la biodiversité exceptionnelle de la partie sommitale des grands arbres tropicaux – qui abrite plus des deux tiers du vivant –, Francis Hallé a pris, entre autres avec Nicolas Hulot, dans les colonnes du *Monde*, la

défense des dernières forêts primaires de la planète, ces « milieux vivants, nécessaires à la préservation de l'environnement, de l'eau, des sols, de la vie sauvage, ainsi qu'à l'existence de populations humaines en symbiose avec eux ». Aujourd'hui, évoquant la déforestation accélérée, il ne manque pas de rapporter les mots écrits par la primatologue britannique Jane Goodall dans son livre *Graines d'espoir* (Actes Sud, 2015) : « *Pourquoi, lorsqu'un chef-d'œuvre de l'homme est détruit, cela s'appelle du vandalisme, mais quand la nature est détruite, cela s'appelle le progrès?* » Sans jamais élever la voix, sans colère apparente, avec humour, l'auteur de *Plaidoyer pour l'arbre* (Actes Sud, 2005) a entrepris d'éveiller les consciences. A commencer par celle des édiles, souvent trop prompts à couper les platanes de bords de route pour... éviter les accidents mortels (*Du bon usage des arbres. Un plaidoyer à l'attention des élus et des énarques*, Actes Sud, 2011).

Avec Luc Jacquet, l'auteur du film à succès *La Marche de l'empereur* (2004), il réalise le projet, inabouti depuis vingt ans, d'un documentaire pour le grand public sur les dernières forêts primaires. Avec pour référence *Le Monde du silence* (1956), de Louis Malle et Jacques-Yves Cousteau. Ce sera *Il était une forêt*, en 2013. Le résultat, en termes de fréquentation, sera légèrement décevant. Mais le film poursuit sa carrière dans des circuits associatifs ou scolaires, suscitant une large adhésion.

Actuellement, Francis Hallé confronte ses propres données avec « *les systématiques issues de la phylogénèse moléculaire* ». Il y aurait d'« *intéressantes convergences* »... Il projette aussi une expédition en Birmanie. Encore faut-il obtenir les autorisations et... réunir les fonds. Avant, peut-être, d'éprouver encore une fois l'émerveillement de la découverte. ■

LUCIEN JEDWAB

COLLECTION « VOYAGE DANS LE COSMOS »

2017, année des trous noirs

L'année qui commence sera celle des trous noirs, ces ogres cosmiques dont rien, pas même la lumière, ne s'échappe. En 2017, en effet, deux nouveaux instruments promettent une révolution : photographier le présumé trou noir supermassif qui trône au centre de notre galaxie. C'est un formidable défi technique car, s'il « pèse » 4 millions de masses solaires, le monstre de la Voie lactée, appelé Sagittarius A* (Sgr A*), n'a que dix fois la taille du Soleil. Et comme il est très loin (à 27 000 années-lumière), il ne forme qu'un petit point obscur dans le ciel.

Pour lui tirer le portrait, les astronomes misent sur l'interférométrie, technique qui consiste à mettre en réseau plusieurs télescopes afin d'obtenir la sensibilité qu'aurait un gigantesque engin impossible à construire. Ainsi, l'instrument Gravity fonctionne avec les quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre du VLT (pour Very Large Telescope, sis au Chili) tandis que l'Event Horizon Telescope (EHT) est constitué d'un ensemble de sept télescopes répartis sur toute la planète. Chacun des deux réseaux serait capable de distinguer une pièce de 1 euro sur la Lune.

Dès ce printemps, l'EHT devrait prendre un cliché du trou noir lui-même, ou plutôt de ses contours, définis par l'horizon des événements, zone au-delà de laquelle aucune information ne peut s'échapper. Gravity doit quant à lui regarder l'environnement immédiat de Sgr A*, avec notamment pour objectif de comprendre quel phénomène est à l'origine de ses sursauts lumineux réguliers. « *Ils sont probablement liés au disque de gaz en rotation autour du trou noir*, explique Frédéric Vincent, de l'Observatoire de Paris-Meudon. *Il est possible que le champ magnétique qui parcourt ce disque arrache régulièrement à ce dernier des boules de gaz. Mais les flashes pourraient également être dus à un point chaud dans le disque, qui passe régulièrement dans notre champ de vision.* » Gravity devrait permettre de trancher entre ces deux scénarios.

Les astrophysiciens attendent aussi de ces deux instruments qu'ils confirment – ou infirment – l'existence même du trou noir central de la Voie lactée. En effet, les trous noirs prédits par la relativité générale ont une forme bien précise et produisent, via la lumière qui gravite alentour, des signaux très caractéristiques. « *Grâce à Gravity et à l'EHT, nous verrons si ce que nous observons correspond bien à un trou noir ou s'il s'agit d'un autre type d'objet ultracompact, par exemple une étoile bosonique*, poursuit Frédéric Vincent. *Constitués de bosons de Higgs, ces objets théoriques n'ont pas les mêmes propriétés que les trous noirs mais, vus de loin, leur ressemblent en tous points.* »

Pour David Elbaz, du CEA, « *l'instrument LIGO, qui a permis de découvrir les ondes gravitationnelles en septembre 2015, a déjà répondu à la question de savoir si les trous noirs existent. Tout dans ce signal – sa forme, son amplitude – correspond exactement aux trous noirs prédits par la relativité générale. C'est pour moi une preuve irréfutable de leur existence.* »

« *Un trou noir est défini par le fait qu'il possède un horizon des événements. Mais nous ne sommes pas sûrs que les données de LIGO impliquent la présence d'un tel horizon*, répond Frédéric Vincent. *D'après de récentes études, elles signifient uniquement que l'objet observé possède un anneau de photons, c'est-à-dire une zone très proche de l'objet compact, où des photons peuvent orbiter indéfiniment. Or cet anneau est compatible aussi bien avec les trous noirs classiques qu'avec des trous noirs prédits par des théories alternatives de la gravitation, ou encore avec les étoiles bosoniques.* » Trou noir ou pas? Réponse dans l'année. ■

LOUISE MUSSAT



9,99 €, en vente le 4 janvier.