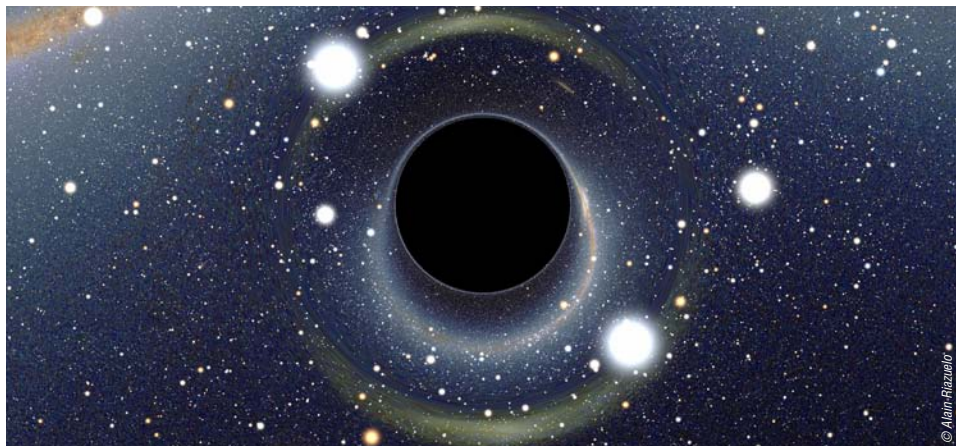


Astrophysique

L'horizon des trous noirs remis en question

Que devient l'information dans un trou noir ? Stephen Hawking apporte une nouvelle contribution à un vieux débat, en proposant de revoir la notion clef d'horizon des événements.



Cette simulation illustre les effets de courbure de l'espace-temps au voisinage d'un trou noir. Mais que se passe-t-il à l'horizon des événements ?

Stephen Hawking, de l'Université de Cambridge, au Royaume-Uni, a créé l'émotion chez les spécialistes. Dans un article rendu public il y a quelques semaines, il propose de revoir radicalement la description des trous noirs, en abandonnant une de leurs caractéristiques principales, l'horizon des événements – du moins tel qu'on le définissait jusqu'à présent.

Cette proposition fait suite à un problème soulevé en 2012 par Joe Polchinski et ses collègues, de l'Institut Kavli de physique théorique, en Californie. L'objectif de ces physiciens était de rassembler les développements les plus récents en relativité générale, mécanique quantique et thermodynamique sur ce qui se passe à proximité d'un trou noir.

Ces astres compacts déforment autour d'eux l'espace-temps à un point tel que, en deçà d'une limite nommée l'horizon des événements, rien ne peut échapper à leur attraction gravitationnelle, pas même la lumière. Dans le cadre de la relativité générale, cependant, un observateur en chute libre ne perçoit rien de particulier

quand il traverse l'horizon des événements. Mais J. Polchinski et son équipe ont dû attribuer des propriétés particulières à cette région pour garantir la conservation de l'information.

De quoi s'agit-il ? En 1974, S. Hawking avait montré qu'un trou noir rayonne : il perd une partie de sa masse par « évaporation ». Ce phénomène repose sur l'apparition spontanée et fugace de paires particule-antiparticule, possible n'importe où et quand selon les lois de la mécanique quantique. Si une telle paire naît à proximité de l'horizon, l'un de ses membres peut tomber dans le trou noir et l'autre s'échapper. Ainsi, pour un observateur éloigné, le trou noir rayonne.

Ce rayonnement n'est pas en contradiction avec la relativité générale, mais il l'est avec le principe de conservation de l'information. En effet, le rayonnement de Hawking étant aléatoire, il ne peut exister de lien entre lui et la matière qui a formé le trou noir. Toute information éventuelle contenue dans la matière engloutie semble ainsi détruite.

La question est restée très débattue. Près de 20 ans plus

tard, Juan Maldacena, de l'Université Harvard, a présenté un argument fort en faveur de la conservation de l'information, mais il restait à en comprendre le mécanisme. Une piste était de supposer que l'information est sauvegardée grâce à l'intrication de chaque paire particule-antiparticule avec l'ensemble du rayonnement de Hawking. L'intrication est un phénomène purement quantique où les états de deux particules (ou davantage) sont corrélés au point qu'elles forment un système indissociable, quelle que soit la distance qui les sépare.

Cependant, on montre que la particule d'une paire ne peut être intriquée simultanément avec son antiparticule et l'ensemble du rayonnement. J. Polchinski a donc supposé que l'intrication au sein de chaque paire est rompue près de l'horizon des événements. Il en résulterait une forte émission d'énergie, phénomène qui a été surnommé « pare-feu » (*firewall*). Mais dans ce scénario, l'horizon devient une région particulière, en contradiction avec la relativité générale.

S. Hawking propose de résoudre les difficultés en supposant que, en raison de fluctuations quantiques, l'horizon des événements ne peut s'établir. Il y aurait malgré tout un horizon apparent, jouant le même rôle, mais sur des durées limitées. Ce serait grâce à cette instabilité que de la matière, donc de l'information, peut s'échapper du trou noir. Le scénario de S. Hawking est à l'étude, bien que de nombreux physiciens soient sceptiques.

→ Sean Bailly

S. Hawking, en ligne, 2014
<http://arxiv.org/abs/1401.5761>

Éthologie

Le radeau de la fourmi



Les fourmis placent leurs larves à la base du radeau pour améliorer sa flottabilité.

En cas d'inondation, les fourmis se rassemblent pour former des radeaux vivants. Le phénomène est bien connu chez les espèces qui vivent dans des plaines inondables. Mais ce qui l'est moins est la structure de ces radeaux : comment s'organisent les fourmis sur ces fragiles embar-

cations ? Certaines positions, telle la base du radeau, paraissent plus dangereuses, avec un risque élevé de mort par noyade.

L'équipe de Michel Chapuisat, de l'Université de Lausanne, a étudié en laboratoire la formation de ces radeaux chez la fourmi *Formica selysi*. Les chercheurs ont

montré que la reine est la mieux protégée au centre du radeau. Mais, plus surprenant, les fourmis utilisent les larves et les pupes pour le fond de l'embarcation. Elles profitent du fait que ces individus immatures ont une densité plus faible, ce qui améliore la flottabilité du radeau. De plus, la mortalité des larves se révèle très faible. Cette structure bénéficie à l'ensemble du groupe en exposant peu la progéniture au danger. Mais certaines fourmis hésitent à participer à l'édifice, d'autres menaces pesant sur ces radeaux, telle la prédation.

→ S. B.

PLoS ONE, vol. 9(2), e89211, 2014

Neurobiologie

Les circuits cérébraux du geste juste

La réalisation d'un geste adéquat nécessite l'évaluation permanente des actions et, le cas échéant, leur correction. Par exemple, au tennis, si le joueur lance la balle en l'air trop haut durant le service, des commandes motrices adaptent le geste en cours de réalisation. Grâce à des enregistrements intracérébraux, Francesca Bonini, de l'Université d'Aix-Marseille, et ses collègues ont précisé le circuit cérébral responsable de l'évaluation de telles commandes.

L'activité cérébrale a été mesurée chez des patients épileptiques, à qui l'on avait inséré des électrodes dans le cerveau dans le cadre d'un examen neurochirurgical préparatoire. Les chercheurs ont soumis les patients à une tâche dite de Simon, où le circuit d'évaluation et de rectification des erreurs gestuelles est mis en œuvre. Ils ont révélé un rôle central de l'aire motrice supplémentaire, une aire cérébrale



Le champion de tennis Roger Federer a-t-il un circuit cérébral d'évaluation des erreurs motrices particulièrement performant ?

essentielle au déclenchement et à la planification des actions, située en avant du cortex moteur.

Il semble que ce soit cette aire qui évalue la pertinence des actions – et non la zone cingulaire rostrale, comme on le pensait auparavant ; cette zone est aussi impliquée, mais plus tard dans l'action. L'aire motrice supplémentaire s'active d'autant plus que la confiance envers le geste est faible. Selon Franck Vidal, l'un des participants à l'étude, également de l'Université d'Aix-

Marseille, elle s'appuierait sur une « copie » des commandes motrices envoyées aux muscles pour simuler en quelque sorte le mouvement en cours et ainsi évaluer sa pertinence, sans même attendre les retours sensoriels. Ce circuit rapide d'évaluation des erreurs est essentiel pour ajuster les mouvements et aboutir à des gestes rapides et précis, tels ceux d'un sportif de haut niveau.

→ Guillaume Jacquemont

F. Bonini et al., Science, en ligne le 20 février 2014

En bref

Éléphants consolateurs

Bien que l'empathie soit une faculté assez répandue, peu d'animaux consolent et rassurent leurs congénères. C'est pourtant le cas des grands singes, des chiens, de certains oiseaux... Joshua Plotnik et Frans de Waal, de l'Université Emory aux États-Unis, ont aussi observé ce comportement chez les éléphants d'Asie, au sein d'un groupe de 26 animaux captifs. Quand un congénère semble inquiet, les autres viennent vers lui et le rassurent par des vocalisations particulières et des contacts apaisants.

Un oiseau géant herbivore

Après l'extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années, une lignée d'oiseaux du genre *Gastornis* a fourni les plus gros animaux de la Terre. Delphine Angst, du Laboratoire de géologie de Lyon, et ses collègues ont étudié l'insertion du muscle adducteur du bec de ces oiseaux hauts de deux mètres, et en ont déduit qu'ils arrachaient et broyaient des végétaux avec une grande force. Ils ont également confirmé leur régime herbivore en mesurant le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de leurs os.

Un cimetière de chiens

Pour la première fois, des archéologues de l'Institut mexicain d'anthropologie et d'histoire ont découvert un cimetière aztèque de chiens à Mexico. Sous une rue de la ville actuelle, ils ont mis au jour 12 squelettes de chien complets et bien préservés. Une poterie trouvée dans la même strate a permis de dater le cimetière entre 1350 et 1520. Les chiens jouaient un grand rôle dans la mythologie aztèque, mais rien n'indique que ceux que l'on vient de découvrir aient reçu un traitement particulier.

Brève d'avril

D'inhabituelles vagues sur les berges

De galantes baigneuses folles de surf qu'on ne peut plus qu'arrêter s'agitent à l'arrivée de terribles embruns et de tempêtes interdisant les pédalos. Quelques furieux crawleurs attirés peinent. On voit un amateur de planche en manque, un cavalier a peur, fou de trot et de Pornic... Un pêcheur au petit matin n'a pu retirer sa pêche du flot. D'autres pêcheurs épuisés par trop de luttas se fâchent car leurs lignes cassées leur font perdre leur latin. D'énormes houles accompagnées d'écume se déversent sur les plages. D'incroyables rouleaux ravagent les sables, et en masse brisent des falaises abaissées. Les touristes privés des plaisirs de la mer sont chassés... De soi-disant experts en climat toqués arborent leurs choix en niant: pour eux, les hommes s'abusent en pensant faire chauffer leur Terre aussi facilement qu'une petite chape. Alors pourquoi tant de signes montrent qu'on a failli ? Et pourquoi ce gros temps qui sévit sans cesse, bande de falots ?

(28 contrepèteries, titre compris)



Le 1^{er} avril, vous trouverez sur notre site quelques indices pour résoudre les contrepèteries de Maël Jortin.

www.pourlascience.fr


Vincent Colot

Ces deux plantes montrent des différences de floraison (précoce à gauche, tardive à droite) dues à des variations épigénétiques héréditaires.

Science des matériaux

Des muscles artificiels en... fil de pêche

Les prototypes de robots humanoïdes intègrent en général des systèmes qui s'inspirent du corps humain. Des muscles artificiels assurent par exemple la motricité. Une équipe internationale menée par Ray Baughman, de l'Institut de nanotechnologie à l'Université du Texas, vient de démontrer que le fil de pêche est un excellent candidat pour reproduire l'action des muscles biologiques.

De nombreux matériaux ont été étudiés pour mettre au point des muscles artificiels : métaux ou polymères à mémoire de forme, fibres à base de nanotubes de carbone, polymères conducteurs, etc. Mais ils présentent tous des inconvénients : coût prohibitif, usure rapide ou hystérésis importante – la tendance à conserver la forme atteinte après une déformation. R. Baughman et son équipe ont montré que des fibres torsadées



Un simple fil de nylon torsadé se contracte fortement si on le chauffe.

de nylon ou de polyéthylène présentent des avantages en terme de coût, d'hystérésis et de longévité, mais aussi de performances : elles dépassent celles des muscles des mammifères.

Comment est-ce possible ? Les fils de nylon ou de polyéthylène se contractent en chauffant, mais peu. En enroulant les fils sur eux-mêmes, les chercheurs ont montré que la contraction des fibres ainsi obtenues est beaucoup plus forte : 34 pour cent pour le nylon chauffé à 240 °C et 16 pour

cent pour le polyéthylène chauffé jusqu'à 130 °C (le polyéthylène est limité par une température de fusion plus basse que le nylon). Si le polyéthylène se contracte moins, il est cependant plus résistant, un avantage pour concevoir des muscles destinés à soulever des masses importantes. Enfin, le phénomène est réversible : en refroidissant, les fibres torsadées retrouvent leur longueur initiale.

→ S. B.

C. S. Haines et al., *Science*, vol. 343, pp. 868-872, 2014

Biologie végétale

Hérédité épigénétique de caractères complexes

Comment se transmettent les caractères complexes, liés à un grand nombre de gènes et à leurs interactions ? À côté des mécanismes génétiques classiques, on sait que des modifications dites épigénétiques, qui modulent l'expression d'un gène sans modifier sa séquence, peuvent être transmises à la descendance : on parle alors d'hérédité épigénétique.

Pour la première fois, des chercheurs de l'Institut de biologie de l'École normale supérieure, à Paris, et du Centre de bio-informatique de Groningen, aux Pays-Bas, ont montré que l'hérédité épigénétique peut

expliquer la transmission de caractères complexes.

Le mécanisme épigénétique concerné est la méthylation de l'ADN. Il correspond à la fixation de groupes chimiques (méthyle) le long du génome, qui modifient l'accessibilité de l'ADN lors de la phase de transcription. En général, plus une portion du génome est méthylée, moins elle est exprimée.

Grâce à une mutation particulière, Vincent Colot et ses collègues ont mis au point une lignée de plantes (*Arabidopsis thaliana*) ayant le même génome, mais des profils de méthylation différents. Ils ont ensuite pu établir que les différences de méthylation expliquent

respectivement 60 et 90 pour cent des variations héréditaires de deux caractères complexes : la taille de la racine et la période de floraison.

Quelle est la portée de ces résultats ? À elles seules, les variations de la séquence d'ADN ne suffisent pas à expliquer l'hérédité des caractères complexes. Les mécanismes épigénétiques étaient une piste possible pour fournir une explication plus complète. Ce point restait incertain, le voici démontré... en environnement contrôlé. Dans la nature, la question reste ouverte.

→ Yvan Pandelé

S. Cortijo et al., *Science Express*, en ligne le 6 février 2014

Géophysique

Un point chaud complexe

L'archipel des Galápagos est un ensemble d'îles volcaniques formé à partir d'un point chaud, zone où remonte un panache de roches chaudes en provenance du manteau terrestre. Douglas Toomey, de l'Université de l'Oregon, et ses collègues ont étudié la structure de ce point chaud par une technique tomographique fondée sur des ondes sismiques, qui permettent de sonder le panache à très grande profondeur.

En général, le panache est dévié à quelques dizaines de kilomètres de profondeur dans la direction de déplacement de la plaque de la croûte terrestre qu'il traverse. Ici, la présence d'une dorsale peu éloignée du point chaud contribue à dévier le panache bien plus profondément, à environ 150 kilomètres de la surface. Il s'ensuit une séparation inhabituelle des différentes roches du panache, qui sont plus ou moins déviées vers la dorsale en fonction de leur viscosité et de leur composition. Grâce à ce scénario, on comprend mieux la composition des roches de surface, qui semblaient présenter des anomalies.

→ S. B.

D. R. Villagómez et al., *Nature Geoscience*, en ligne le 19 janvier 2014



L'île volcanique de Bartolomé, dans l'archipel des Galápagos.

Parasitologie

Paludisme : un agent africain

Le parasite *Plasmodium vivax*, responsable de la forme la plus répandue de paludisme (l'autre est due à *P. falciparum*), constituait une énigme : alors que seuls les Africains ont développé une résistance vis-à-vis de cet agent de la maladie, son étude phylogénétique suggérait qu'il était apparu... en Asie, l'une des principales régions touchées. Une équipe internationale vient de résoudre ce paradoxe : *P. vivax* serait d'origine africaine. Les biologistes ont découvert, dans l'ADN des excréments de chimpanzés et gorilles sauvages d'Afrique centrale, des traces de parasites proches des souches humaines. Leur analyse phylogénétique indique que les souches humaines forment une lignée dérivée d'un ancêtre des parasites simiens. Il y a plus de 30 000 ans, des primates africains auraient infecté les populations humaines locales, qui auraient développé une résistance. Les parasites humains actuels seraient issus d'un unique ancêtre échappé d'Afrique.

→ Marie-Neige Cordonnier

W. Liu et al., *Nature Communications*, en ligne le 21 février 2014

Paléontologie humaine

Homo erectus, deux fois sorti d'Afrique

La nouvelle datation d'un fossile découvert en 2002 suggère qu'après une première sortie d'Afrique de *Homo erectus*, il y a plus de 1,6 million d'années, une deuxième a suivi, il y a environ 1,2 million d'années.

En datant le plus vieil hominidé découvert en Turquie, l'hominidé de Kocabaş Anne-Élisabeth Lebatard, de l'Université d'Aix-Marseille, et des collègues français et turcs viennent d'apporter une information essentielle sur la colonisation par *H. erectus*, qui a précédé celle des hommes modernes.

En 2002, Mehmet Cihat Alçiçel, de l'Université de Pamukkale, avait mis au jour des fragments de calotte crânienne à Denizli (Turquie) dans une carrière de travertin (tuf calcaire) proche du site naturel de Pamukkale. L'analyse de ces ossements avait suggéré qu'ils appartiennent à une forme de *H. erectus* plus proche de ceux d'Éthiopie (datés entre 1 million et 1,6 million d'années) que des *H. erectus* trouvés en Géorgie (1,8 million d'années) et en Chine (0,8 million d'années). L'hominidé de Kocabaş semble donc avoir appartenu à une

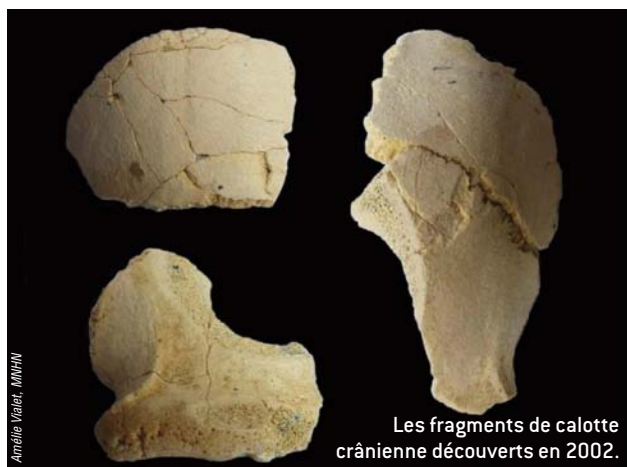
population africaine en train de s'étendre au-delà du Sinaï, plutôt qu'aux souches de *H. erectus* déjà présentes en Eurasie. Pour autant, ce tableau était troublé par les premières datations, qui donnaient au fossile un âge de 0,5 million d'années.

Cependant, les chercheurs n'y croyaient guère, car les techniques de datation par résonance paramagnétique électronique et par thermoluminescence utilisées pour dater les roches enserrant les fragments osseux avaient été poussées à leur limite de fiabilité. Après avoir retrouvé la strate du fossile, ils ont daté par plusieurs méthodes la précédente et la suivante. Ils sont ainsi parvenus à la conclusion que le bloc de travertin où se situait le fossile date de 1,1 à 1,3 million d'années.

L'âge de l'hominidé de Kocabaş suggère ainsi qu'il a fait partie d'une population de *H. erectus* qui, autour de 1,2 million d'années, s'est étendue de l'Afrique de l'Est jusqu'à la Turquie, et a pu participer à la colonisation de l'Europe.

→ François Savatier

Earth and Planetary Science Letters, vol. 390, pp. 8-18, 2014



Les fragments de calotte crânienne découverts en 2002.

Climatologie

Un effet modéré des éoliennes sur le climat

Le brassage de l'air par les éoliennes peut-il modifier le climat ? D'après une étude de Robert Vautard, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS/CEA/UVSQ) et ses collègues, l'effet des parcs éoliens serait très modéré, du moins en Europe.

Pour aboutir à cette conclusion, les chercheurs ont simulé l'impact des éoliennes sur le climat européen en s'appuyant sur un scénario réaliste, qui prévoit un doublement de la production éolienne en Europe d'ici 2020. Selon les résultats de ces simulations, significatifs seulement en hiver, les éoliennes entraîneraient un réchauffement maximal de 0,3 °C autour de la mer Baltique et un refroidissement de même

ampleur en Europe du Sud. Le volume des précipitations hivernales devrait aussi diminuer de moins de cinq pour cent selon les régions.

Ces conclusions viennent tempérer celles d'études précédentes, qui se fondaient notamment sur des scénarios d'implantation moins réalistes. Les conséquences de l'implantation d'éoliennes sont ainsi très limitées en regard des variations interannuelles et du réchauffement climatique lié à l'effet de serre. Reste à évaluer des scénarios à plus long terme, car l'Union européenne prévoit de renforcer encore l'implantation d'éoliennes dans sa feuille de route à l'horizon 2050.

→ Y. P.

Nature Communications, en ligne le 11 février 2014



Les éoliennes provoquent des turbulences qui accentuent le brassage vertical de l'air dans leur sillage, et finissent par modifier légèrement la circulation des vents.

10 mètres de long : *Torvosaurus gurneyi*, découvert au Portugal, est à ce jour le plus grand dinosaure carnivore ayant vécu en Europe.

Médecine

Cancer du sein avancé : vers une médecine personnalisée



© iStockphoto.com

Analyse de l'ADN d'un échantillon par électrophorèse.

Le cancer du sein métastatique, forme avancée de la maladie, est une des principales causes de mortalité liée au cancer dans le monde. En 2008, l'Union européenne comptait 332 000 nouveaux cas de cancer du sein et 89 000 décès liés à cette maladie. Environ 5 à 10 pour cent des cancers sont métastatiques au diagnostic et, parmi eux, la probabilité de survie à cinq ans est de 20 pour cent. L'efficacité des traitements généraux (chimiothérapie, hormonothérapie) sur ces cancers a peu progressé, et les espoirs se portent sur la médecine personnalisée – la recherche d'un traitement propre à chaque patiente, déterminé notamment en fonction des spécificités génétiques et biologiques de sa tumeur.

Un premier pas dans cette direction a été franchi par Fabrice André, de l'Institut Gus-

tave Roussy, à Villejuif (U981, INSERM-Université Paris-Sud) et ses collègues. Par une étude à grande échelle, les cancérologues ont montré qu'une démarche de médecine personnalisée peut être intégrée aux structures cliniques, permettre l'accès à des traitements ciblés, et fournir des résultats encourageants.

Entre juin 2011 et juillet 2012, des biopsies des métastases de 423 patientes atteintes d'un cancer du sein métastatique ont été effectuées, suivies d'une analyse du génome des cellules prélevées. Cette analyse a permis d'identifier des modifications génétiques fréquentes dans ce type de cancer, mais aussi d'autres plus rares. Pour 46 pour cent des patientes, les modifications génétiques pouvaient être ciblées par un traitement. Un an après, 55 d'entre elles avaient reçu un traitement ciblé à la suite

de cette analyse. Parmi elles, quatre ont vu leur état s'améliorer, et neuf autres leur maladie se stabiliser pendant plus de 16 semaines.

La méthode est loin de fournir un traitement ciblé et efficace à la majorité des patientes. Néanmoins, elle montre qu'il est possible de concilier médecine personnalisée et approche clinique.

Une difficulté est l'hétérogénéité des populations de cellules cancéreuses d'un même patient. Les biopsies ne reflètent sans doute qu'une partie de cette diversité. Pour que cette démarche devienne efficace, d'autres approches de médecine personnalisée devront lui être associées, telles que la quantification de l'hétérogénéité des métastases et l'immunothérapie.

→ M.-N. C.

F. André et al., *Lancet Oncol.*, en ligne le 7 février 2014

Environnement

Le pétrole, nocif pour le cœur

De nombreuses études ont montré que les poissons exposés au pétrole répandu lors des marées noires sont victimes de troubles mortels du rythme cardiaque. Fabien Brette, de l'Université Stanford, aux États-Unis, et ses collègues ont découvert l'un des mécanismes en cause.

Les chercheurs ont cultivé des cellules musculaires de cœur de deux espèces de thons. Leur contraction est provoquée par des flux d'ions à travers la membrane (*via* des canaux ioniques), qui activent des fibres contractiles. En enregistrant ces flux dans les cellules *in vitro*, les chercheurs ont montré que le pétrole bloque certains canaux, tels ceux qui laissent passer le potassium. C'est ce qui perturberait la régularité des contractions du cœur. Les mécanismes de contraction étant voisins chez tous les vertébrés, les chercheurs s'attendent à ce que de nombreuses autres espèces que les thons soient touchées.

→ G. J.

F. Brette et al., *Science*, en ligne le 13 février 2014

L'activité cardiaque des thons est perturbée par les composés toxiques du pétrole.

Géosciences

Dater la croûte terrestre

La Lune s'est formée à la suite d'une collision entre la Terre et un astre de la taille de Mars, il y a un peu plus de 4,5 milliards d'années. La surface de la Terre s'est ensuite refroidie et une croûte s'est formée. Les travaux de John Valley, de l'Université du Wisconsin, et ses collègues confirment l'âge de cette croûte.

Des zircons, des minéraux du groupe des silicates, se sont formés en même temps que la croûte et en sont les derniers vestiges. Une méthode radiométrique, fondée sur le rapport des concentrations de l'uranium et du plomb, permet de les dater. Mais elle était contestée, car la diffusion des atomes de plomb dans le cristal aurait pu la fausser. Or J. Valley et ses collègues ont montré que le déplacement des atomes crée des agrégats de plomb trop petits pour influencer sur la mesure des concentrations. Certains zircons prélevés en Australie seraient ainsi vieux de 4,374 milliards d'années. La croûte terrestre se serait donc formée à peine 100 millions d'années après la Lune.

→ S. B.

J. Valley et al., *Nature Geoscience*, en ligne le 23 février 2014

Cosmologie

Des neutrinos massifs, clef d'une énigme cosmologique

La distribution des galaxies dans l'Univers, telle qu'on l'observe, n'est pas en accord avec les prévisions fondées sur l'étude du rayonnement du fond diffus cosmologique, la lumière émise par l'Univers âgé de 380 000 ans. Par rapport aux observations, les calculs prévoient deux fois plus de grandes structures regroupant de nombreuses galaxies. Richard Battye, de l'Université de Manchester, et Adam Moss, de l'Université de Nottingham, suggèrent que les neutrinos, des particules élémentaires, seraient responsables de cette différence.

Le satellite *Planck* a mesuré le rayonnement du fond diffus cosmologique. Ce dernier est altéré lorsqu'il passe près des amas de galaxies, ce qui permet d'estimer leur distribution. Par ailleurs, les observations du fond diffus cosmologique par *Planck* renseignent sur les conditions qui régnaient dans l'Univers primordial. C'est en extrapolant à partir de ces conditions la formation et l'évolution des amas de galaxies que les cosmologistes trouvent qu'il devrait y en avoir deux fois plus qu'observé.

L'équipe de *Planck* a suggéré que si les neutrinos sont plus massifs qu'on ne le pensait,

cela pourrait corriger l'extrapolation. En effet, les neutrinos interagissent peu avec la matière. Ils ne participent donc pas à la formation des amas de galaxies et s'échappent de ces régions. Leur masse totale constitue autant de matière perdue pour la formation des amas. Par conséquent, si la masse des neutrinos est sous-estimée dans l'extrapolation, la production d'amas galactiques est surestimée.

Or la masse des neutrinos n'est pas connue avec précision: les physiciens n'ont cerné qu'un intervalle de valeurs possibles, inférieures à l'électronvolt. Deux physiciens de la collaboration *Planck*, R. Battye et A. Moss, ont estimé que la somme des masses des trois types de neutrinos connus doit être d'environ 0,32 électronvolt pour résoudre le conflit. Une autre solution serait l'existence d'un quatrième type de neutrino, dit stérile car il interagirait encore moins avec la matière que les autres neutrinos.

Des précisions sur la masse des neutrinos pourraient venir des expériences de physique des particules T2K, au Japon, ou NOVA, qui vient de démarrer aux États-Unis.

→ S. B.

R. A. Battye et A. Moss, *Physical Review Letters*, vol. 112, 051303, 2014

La formation des galaxies dans l'Univers primordial dépend indirectement de la masse des neutrinos, qui est mal connue.

En bref

Invasion de vers plats

Les transports modernes amènent souvent des espèces animales ou végétales exotiques, qui entrent en compétition avec les espèces locales et déséquilibrent l'écosystème. Dernier exemple en date: le ver plat (ou plathelminthe) *Platydemus manokwari*, qui vient d'être repéré en France. Originaire de Nouvelle-Guinée, il est particulièrement vorace. Il est capable de se nourrir des escargots communs européens et pourrait étendre son régime aux vers de terre.



Pierre Gros

Silhouettes sonores

La vision est-elle nécessaire pour se représenter la posture d'un individu? Non, répondent des neurobiologistes de l'Université hébraïque de Jérusalem. Ils ont appris à des adultes aveugles de naissance à percevoir des silhouettes humaines via un logiciel qui traduit une image en un «paysage» sonore. Après plusieurs mois d'apprentissage, ces personnes étaient capables d'identifier et de reproduire la posture d'une silhouette. Comme chez les individus ayant une vue normale, ce processus activait chez les non-voyants une région du cortex visuel spécialisée dans la perception des parties du corps, ce qui suggère que cette région se construit indépendamment de la vision.

Neurobiologie

Bonne odeur, appétit et cannabinoïdes

Qui n'a jamais eu l'eau à la bouche en humant l'odeur des croissants chauds devant une boulangerie? Cette attraction est d'autant plus irrésistible que l'on a faim. L'équipe de Giovanni Marsicano, du Neurocentre Magendie (INSERM Bordeaux), a montré sur des souris que ce lien entre la faim et l'augmentation de l'attraction pour les bonnes odeurs résulte de l'action des cannabinoïdes. Cette famille de substances comprend le THC, la molécule active du cannabis, mais aussi plusieurs molécules naturellement synthétisées dans le cerveau.

Chez une souris repue, un mécanisme inhibiteur commandé par diverses aires corticales atténue les réponses du bulbe olfactif. Les neurobiologistes ont montré que les cannabinoïdes inhibent... ce mécanisme inhibiteur. La concentration des cannabinoïdes

est assez faible quand on a mangé peu de temps auparavant, mais elle augmente après un jeûne, qui en active la synthèse. La réponse du bulbe olfactif à la perception d'une odeur s'accroît d'autant, ce qui intensifie la sensation de faim et la prise de nourriture.

Ainsi, après un jeûne, des souris modifiées génétiquement de façon que les cannabinoïdes ne puissent agir dans le bulbe olfactif se nourrissaient moins que des souris normales. Le même effet était observé lorsqu'on bloquait cette action par des substances pharmacologiques. Ce manque d'appétit résulterait d'une perception moins intense des odeurs, elle-même due au mécanisme inhibiteur, qui persiste en l'absence d'action des cannabinoïdes.

Ces résultats pourraient inspirer la conception de médicaments contre les troubles du



© Shutterstock / Raisa Kanareva

Une odeur est perçue comme d'autant plus intense qu'il y a de cannabinoïdes dans le cerveau – lequel en fabrique davantage en cas de jeûne.

comportement alimentaire, telles l'obésité ou l'anorexie. Ces médicaments agiraient ponctuellement sur les récepteurs des cannabinoïdes dans le bulbe olfactif pour moduler la sensation de faim.

→ G. J.

E. Soria-Gómez et al., *Nature Neuroscience*, en ligne le 9 février 2014

Mathématiques

Équations de Navier-Stokes: une preuve difficile

Les équations dites de Navier-Stokes sont utilisées pour décrire et calculer, au moins de façon approchée, les écoulements de fluides. Mais ont-elles, au moins en théorie, des solutions régulières, c'est-à-dire où les grandeurs telles que la vitesse du fluide ne tendent pas vers l'infini au bout d'un temps fini? Même dans des situations simples, on l'ignore. Cela constitue l'un des sept «problèmes du millénaire» mis à prix en 2000 par l'Institut Clay.

Au début de 2014, un mathématicien kazakh, Mukhtarbay Otelbaev, a proposé une preuve de la régularité des solutions des

équations de Navier-Stokes, suscitant un enthousiasme médiatique. Mais, depuis, un contre-exemple a été trouvé à un résultat intermédiaire de sa démonstration. Qui plus est, Terence Tao, de l'Université de Californie à Los Angeles, vient d'obtenir un résultat suggérant que ces équations n'auraient pas toujours des solutions régulières.

T. Tao s'est intéressé à la conservation de l'énergie, qui est l'une des propriétés contenues dans les équations de Navier-Stokes. Les mathématiciens ignorent si elle joue un rôle dans la régularité des solutions. Les modèles simples étudiés jusqu'ici, qui présentaient

des divergences en un temps fini, n'incluaient pas la conservation de l'énergie. T. Tao a développé un modèle apparenté aux équations de Navier-Stokes et où l'énergie est conservée, et a montré que la solution diverge en un temps fini.

Cela indique que la conservation de l'énergie ne suffit pas à garantir la régularité des solutions. Cependant, les techniques développées par T. Tao ne s'appliquent pas exactement aux équations de Navier-Stokes, du moins pour l'instant. Le problème reste donc ouvert.

→ S. B.

T. Tao, en ligne, 2014, <http://arxiv.org/abs/1402.0290>

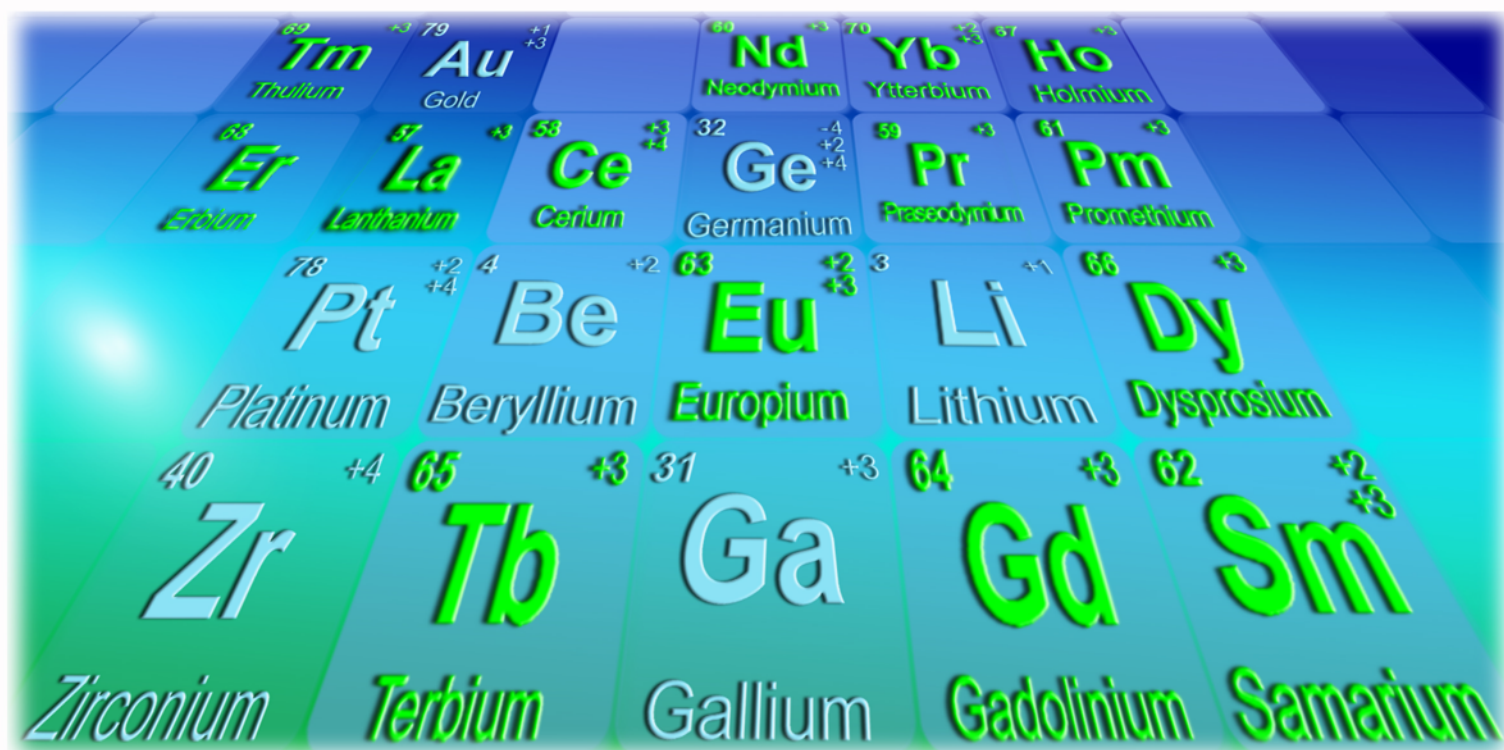


FONDATION ÉCOLOGIE D'AVENIR
INSTITUT DE FRANCE

COLLOQUE

TERRES RARES ET MÉTAUX RARES: ENJEUX DU XXIÈME SIÈCLE?

SOUS LA DIRECTION DE PASCAL COLOMBANI ET CHRISTIAN AMATORE



Avec la participation de :

Georges Calas (Université Paris VI), Patrice Christmann (BRGM),
Jacques Lucas (Académie des sciences/Université Rennes I),
Alain Rollat (Solvay), Vincent Trelut (ERAMET).

jeudi 15 mai 2014
15H-19H

LA MAISON DU BARREAU
4 RUE DE HARLEY - 75001 PARIS



WWW.FONDATIONECOLOGIEDAVENIR.ORG

Entrée gratuite - réservation obligatoire

Physique

Une masse plus précise pour l'électron

La masse de l'électron est l'un des paramètres fondamentaux du modèle standard de la physique des particules, raison pour laquelle Sven Sturm, de l'Institut Max Planck pour la physique nucléaire de Heidelberg, en Allemagne, vient avec des collègues d'en effectuer une nouvelle mesure – la plus précise jamais réalisée.

Toutefois, les chercheurs n'ont pas mesuré la masse d'un électron libre, mais la masse d'un électron lié à un noyau de carbone 12. Pour ce faire, ils ont utilisé un piège à ion de Penning, dispositif qui combine un champ électrique et un champ magnétique pour maintenir l'ion en place. L'atome de carbone, débarrassé de tous ses électrons sauf un, y parcourt un cercle perpendiculaire au champ magnétique avec une fréquence dite cyclotronique et inversement proportionnelle à sa masse. Dans le même temps, le spin de l'électron (son moment cinétique, ou magnétique, intrinsèque) se met à tourner autour du champ magnétique. Nommé précession de Larmor, ce mouvement du spin est caractérisé par une fréquence proportionnelle à un facteur dit de Landé et inversement proportionnelle à la masse de l'électron. Pourvu que le facteur de Landé soit bien connu, la mesure du rapport des deux fréquences permet de déduire le rapport entre la masse de l'électron lié et celle de l'ion.

Pour le rapport des deux fréquences, les physiciens ont utilisé un facteur de Landé corrigé, qui tient compte des corrections très précises calculées par les théoriciens. Ils ont aussi adapté le calcul du facteur de Landé, connu pour un électron libre, au cas d'un électron lié se trouvant dans le potentiel électrique d'un noyau. Ils sont ainsi parvenus à la conclusion que le proton est 1 836,152 673 77 fois plus massif que l'électron. Par rapport à la dernière mesure de la masse électronique, ils ont ainsi divisé par 13 l'imprécision due aux erreurs statistiques et systématiques.

→ F. S.

S. Sturm et al., *Nature*, vol. 506, pp. 467-470, 2014

Neurosciences

Un lien entre microglie et autisme ?

Un déficit en cellules microgliales – des cellules immunitaires impliquées dans la maintenance et la réparation du cerveau – pourrait-il suffire à provoquer des troubles des interactions sociales et des comportements stéréotypés, tels ceux observés chez les personnes autistes ? Une étude menée sur des souris par Yang Zhan et ses collègues, du Laboratoire européen de biologie moléculaire de Monterotondo, en Italie, le suggère.

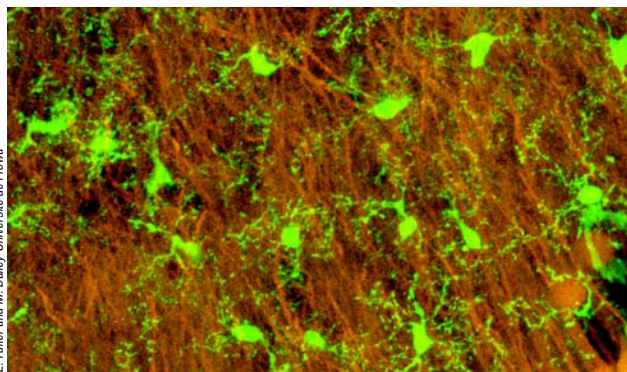
Les chercheurs ont inactivé un gène impliqué dans la prolifération des cellules microgliales lors du développement, provoquant un déficit en microglie dans le cerveau des souriceaux nouveau-

nés. Les rongeurs devenus adultes présentaient une « connectivité fonctionnelle » réduite : l'activité de zones cérébrales distantes était moins bien synchronisée. De plus, les souris nouaient peu d'interactions sociales et avaient des comportements répétitifs.

Ainsi, une perturbation précoce de la microglie peut aboutir à une structuration anormale du cerveau, qui persiste à l'âge adulte et altérerait les comportements sociaux. Une piste d'étude pour les troubles du développement neurologique associés à un défaut de connectivité neuronale, tels que la schizophrénie ou l'autisme...

→ Y. P.

Nature Neuroscience, 2 février 2014



L. Fuller and M. Daller, Université de l'Iowa

Des cellules microgliales (en vert) dans un hippocampe de souris.

DERNIÈRE minute...

LA SOURCE DE MÉTÉORITES MARTIENNES

De quels cratères d'impact sur Mars sont originaires les météorites martiennes trouvées sur Terre ? Une équipe franco-norvégienne l'a déterminé pour certaines d'entre elles – des roches éjectées il y a entre un et dix millions d'années. Les chercheurs ont montré que le cratère Mojave, de 55 kilomètres de diamètre, est probablement le berceau de ces roches, car il est jeune et sa composition est similaire. Cette étude a aussi permis de confirmer l'âge

ancien de ces météorites, qui est celui de la croûte rocheuse sous le cratère, soit environ 4,2 milliards d'années.

UN MASTODONTE... MICROSCOPIQUE

Le virus le plus gros à ce jour a été découvert dans un échantillon de pergélisol sibérien par Jean-Michel Claverie, de l'Université de Marseille, et plusieurs autres chercheurs. Nommé *Pithovirus sibericum*, il mesure 1,5 micromètre de long, est âgé de 30 000 ans

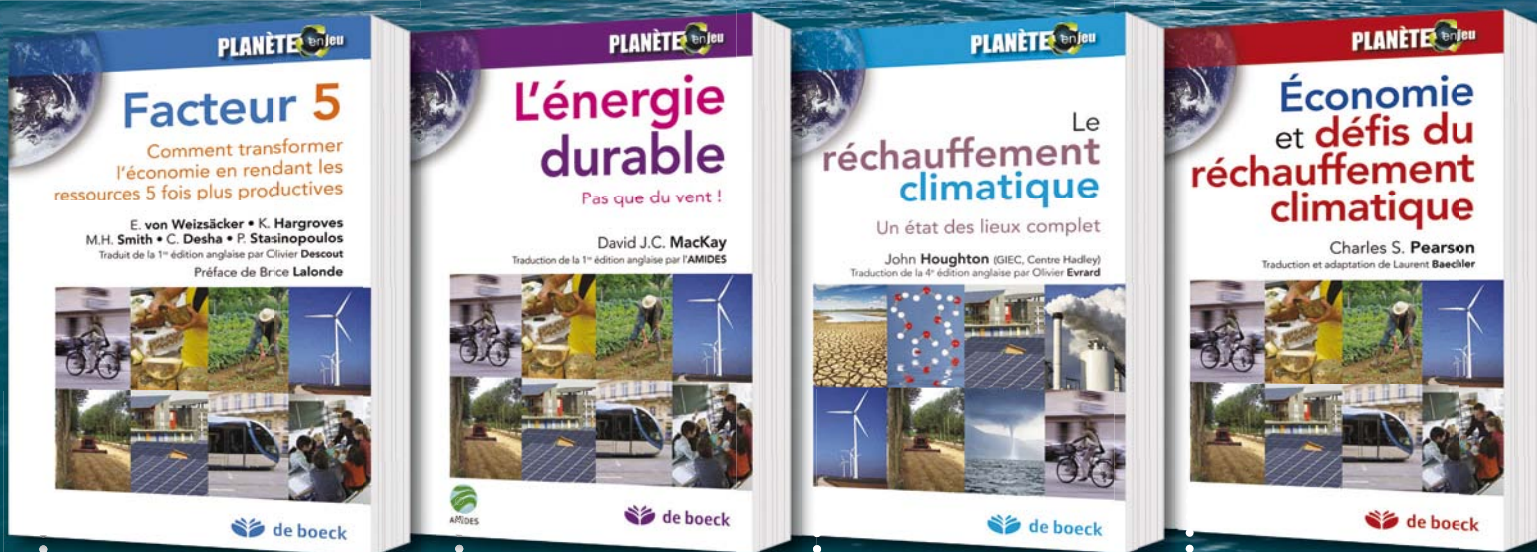
et est encore capable d'infecter... des amibes. Muni d'une enveloppe en forme d'amphore et d'un génome de taille plutôt modeste, il est le prototype d'une nouvelle famille de virus géants, la troisième. Incidemment, cette découverte pose la question de ce que nous réserve la fonte du pergélisol...

Retrouvez plus d'actualités
et toutes les références sur
www.pourlascience.fr



RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT DE L'ÉCONOMIE SUR L'ENVIRONNEMENT

Planète en jeu :
des lectures d'actualité.



FACTEUR 5

Weizsäcker E., Hargroves K., Smith M., Desha C., Stasinopoulos P.

Préface : Lalonde B.

Rendre les ressources 5 fois plus productives, c'est possible et c'est rentable ! Les technologies existent déjà, il suffit de les utiliser. C'est ce que démontrent les auteurs de «Facteur 5», en illustrant leur propos par des dizaines d'exemples concrets.

504 p. • Éd. 2013 • 35 €

L'ÉNERGIE DURABLE

MacKay D.

Un ouvrage majeur sur les enjeux et les options énergétiques du développement durable, soutenus par une argumentation scientifique claire et objective. Un livre indispensable.

504 p. • Éd. 2012 • 36 €

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Houghton J.

À la fois rigoureux et accessible, abondamment illustré et documenté, cet ouvrage de référence fait le bilan de nos connaissances sur le changement climatique, sur ses impacts et sur les solutions à apporter pour l'atténuer.

496 p. • Éd. 2011 • 52.50 €

ÉCONOMIE ET DÉFIS DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Pearson C.

Une somme indispensable pour comprendre les défis auxquels fait face la communauté internationale dans le domaine climatique, après la fin du protocole de Kyoto.

224 p. • Éd. 2013 • 32 €

POINT DE VUE

Agir pour rendre l'université plus attractive

En France, comment renforcer l'attrait des filières scientifiques des universités, pour les filles autant que pour les garçons ? En multipliant les approches et les actions concrètes.

Bertrand MONTHUBERT

En janvier 2014, lorsque le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche a ouvert la procédure annuelle d'Admission Post-Bac, qui permet aux candidats bacheliers de former des vœux d'orientation, il a aussi lancé une campagne de communication pour vanter les mérites de la formation à l'université. C'était une première tout à fait bienvenue. Car l'attractivité de nos établissements, en particulier dans les filières scientifiques, est depuis de trop nombreuses années insuffisante. Le nombre de bacheliers qui s'inscrivent aujourd'hui à l'université dans les filières scientifiques (hors médecine) est retombé au niveau de 1987... alors que le nombre de bacheliers scientifiques a progressé de 50 pour cent !

Certes, on peut se réjouir de quelques évolutions récentes positives. Ainsi, en 2012-2013, l'Université Paul Sabatier que je préside comptait 1,4 pour cent d'étudiants de plus que l'année précédente, tandis qu'au niveau national on enregistrait une hausse des inscriptions de 0,8 pour cent. Mais ces chiffres positifs ne doivent pas masquer une réalité, celle d'une désaffection envers l'université, pour les sciences en particulier.

Par exemple, le nombre d'étudiants en troisième année de licence de mathématiques à l'Université Paul Sabatier (qui compte le plus gros laboratoire de mathématiques hors Paris) est d'une centaine ; en physique, le chiffre est de 150 ; en informatique (au

sens large), il est de 250. Ces effectifs sont très bas en regard des débouchés de ces filières (métiers classiques tels qu'enseignement, ingénierie, études statistiques, etc., mais aussi nouveaux métiers en liaison avec le traitement de données massives, l'imagerie médicale, etc.).

Comme l'indique une récente enquête publiée par le ministère de l'Enseignement supérieur, 95 pour cent de nos diplômés de master en sciences, technologie et santé ont trouvé un emploi dans les 30 mois qui ont suivi l'obtention de leur diplôme (la moyenne nationale est de 91 pour cent).

LE NOMBRE DE BACHELIERS qui s'inscrivent aujourd'hui à l'université dans les filières scientifiques est retombé au niveau de 1987...

Cet indicateur souligne l'intérêt de ces formations et conforte notre volonté de renforcer l'attractivité des filières scientifiques et technologiques. Mais cette question doit être prise en charge au-delà de l'université, et en particulier dès le secondaire. Car les conséquences touchent tout le monde : pénurie d'enseignants dans certaines disciplines au collège et au lycée, difficulté des entreprises à recruter dans certains métiers.

L'une des principales raisons de ce contournement de l'université me semble être la mauvaise connaissance de ce qu'elle offre et de ses débouchés. Aussi, en lien avec le rectorat et les proviseurs, nous multiplions l'accueil de classes de première des lycées

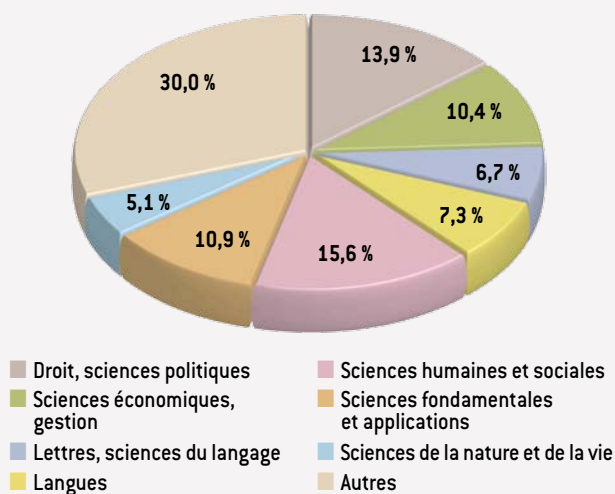
de la région, nous organisons des *Journées portes ouvertes* pour les lycéens et leurs familles et, pour les plus jeunes, nous développons des séquences ludiques, les « rallyes mathématiques ». Nous ouvrons les portes de l'université pour des événements visant le grand public. Nous innovons en développant des *fab labs* (ateliers de fabrication ouverts à tous, fondés sur une charte commune à leur réseau) en lien avec des associations de culture scientifique et technique.

Mais il faut aller au-delà et promouvoir une « orientation renforcée », notamment par le biais d'un service téléphonique d'information sur les filières, les débouchés, etc., pour mieux accompagner les lycéens au moment du choix des études supérieures, où les *a priori* erronés sont légion.

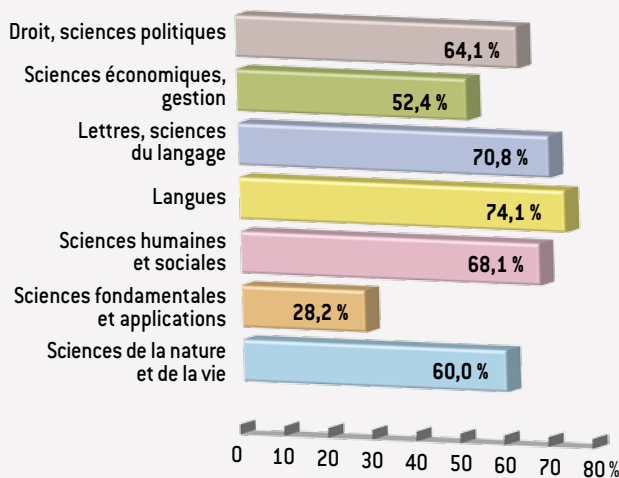
Nous agissons plus en amont encore. Dans l'esprit des expérimentations de la Fondation *La main à la pâte*, qui ont commencé dans les années 2000, notre campus abrite ainsi depuis peu une *Maison pour la science* (pour la Région Midi-Pyrénées) qui propose des formations aux enseignants afin de toucher un public plus jeune (de la maternelle à la classe de troisième). Car plus tôt les jeunes générations seront sensibilisées à la science et à la technologie, plus elles seront conscientes des enjeux des filières scientifiques et de l'avenir dont elles sont porteuses.

Au-delà de ces actions générales, nous devons aussi nous concentrer sur la place des femmes dans les filières scientifiques. Il

RÉPARTITION DANS LES PRINCIPALES FILIÈRES



PROPORTIONS DE FEMMES



Source : Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, FRES 2012

LA RÉPARTITION, SELON LES PRINCIPALES FILIÈRES, des étudiants à l'université en 2011-2012, tous cursus confondus (licence, master, doctorat). Le graphique indiquant les proportions de femmes dans ces filières met en évidence des déséquilibres flagrants.

faut le répéter, l'égalité entre les femmes et les hommes est loin d'être acquise. Et il faut aussi regarder en face la réalité sociologique : on sait qu'il existe des écarts importants entre les sexes quand on examine les différentes filières, mais on n'a pas toujours conscience que la situation s'aggrave.

Alors que l'accès des femmes à l'enseignement supérieur progresse (elles sont même plus nombreuses que les hommes), les filières déséquilibrées – dans un sens ou dans l'autre – ont tendance à le devenir encore plus. Ainsi, entre 1998 et 2005, la proportion de femmes dans les filières scientifiques en France a baissé de 9 points pour atteindre 39,6 pour cent, avec des disparités très importantes suivant les filières. Par exemple, en informatique, génie électrique, mécanique, on compte moins de 20 pour cent de femmes. À l'inverse, en sciences de la vie, il y en a plus de 60 pour cent.

Dans la récente charte pour l'égalité active entre les femmes et les hommes dont vient de se doter l'Université Paul Sabatier, un important chapitre est consacré aux étudiantes (et aux étudiants). Parmi les mesures préconisées figure la production de données par sexe concernant l'inscription, les conditions d'études, la réussite, l'insertion professionnelle dans

les différentes formations, pour nous aider à mieux cerner le problème. Mais figurent aussi des mesures d'encouragement, qui seront dans un premier temps des actions d'information destinées à favoriser l'orientation des étudiantes vers les disciplines où elles sont sous-représentées.

Dans ce domaine, que devons-nous faire de plus ? Avant tout, prendre collectivement conscience que c'est un problème grave et que nous ne pouvons rester passifs. Ensuite, multiplier les occasions de lutter contre les stéréotypes, responsables *in fine* des inégalités hommes-femmes et que l'on rencontre partout : au sein de la famille, à l'école, à l'université, au travail...

La vertu de l'exemple

Former des « ambassadrices » me paraît ainsi être une solution intéressante. Grâce à la *Maison pour la science*, pourquoi pas imaginer le lancement de « mini-conférences » qui seraient données dans les lycées, voire les collèges, par quelques-unes de nos chercheuses, doctorantes ou étudiantes ?

Car je crois à la vertu de l'exemple. À cet titre, la récente exposition financée par le ministère, *Infinités plurielles*, une galerie de portraits valorisant 60 scientifiques françaises, ren-

contre le succès partout où elle passe. Elle suscite peut-être déjà des vocations. Nous organisons également des journées *Filles et mathématiques* qui ciblent les collégiennes. Il faut passer de l'égalité formelle passive, où l'on se borne à affirmer que les filles ont autant que les garçons la possibilité d'accéder aux filières scientifiques, à l'égalité active, où l'on agit concrètement contre les inégalités de toutes sortes.

Il est loin le temps où Molière pouvait faire dire à l'un de ses personnages, dans *Les Femmes savantes* : « Il n'est pas bien honnête, et pour beaucoup de causes, Qu'une femme étudie et sache tant de choses. » Encore faut-il se donner les moyens de convaincre. Mais je crois au pointillisme en la matière : c'est la multiplication d'actions qui nous permettra d'atteindre notre but, car le public d'aujourd'hui, celui que nous devons toucher, à commencer par les jeunes filles, devient de plus en plus divers et difficile à capter. ■

Bertrand MONTHUBERT est professeur de mathématiques et président de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

SciLogs

La science au quotidien

La nouvelle communauté de
blogueurs scientifiques francophones

Grâce à **Scilogs.fr**, dialoguez avec des chercheurs et acteurs du monde des sciences aux points de vue riches et variés. De blog en blog, explorez la science avec ceux qui la font, la décryptent, l'analysent : résultats de recherche, applications pratiques, perspectives insolites, débats éthiques et politiques... Pour vivre la science au quotidien !

Signal sur bruit

Richard Taillet
Astrophysicien,
professeur
chercheur
au LAPTh

Ecoblog

Vincent Devictor
Chercheur au CNRS
en écologie et biologie
de la conservation

Best of Bestioles

Loïc Mangin
Rédacteur en chef
adjoint
Pour la Science

Complexités

Jean-Paul Delahaye
Mathématicien, informaticien,
et auteur de la rubrique
Logique et calcul
dans Pour la Science

Psycho Info

Jérôme Palazzolo
Médecin psychiatre, à Nice
et à l'Université Internationale
Senghor, à Alexandrie,
en Égypte

Lactu sur le divan

Sébastien Bohler
Rédacteur
à Cerveau & Psycho

Alterscience

Alexandre Moatti
Polytechnicien, chercheur
en histoire des sciences
au laboratoire SPHERE



Connectez-vous
maintenant
pour découvrir
www.Scilogs.fr !



Suivez les dernières actualités
des blogueurs également
sur les réseaux sociaux

Suivez aussi **SciLogs International** | .com | .be | .es | .de
et partagez les points de vue de blogueurs scientifiques du monde entier

Proposé par **SCIENCE** POUR LA