

Biomédecine

Du virus au diabète

Certains virus, tels les coxsackievirus, déclenchent un diabète de type 1. Anne Op de Beeck, de l'Université libre de Bruxelles, et ses collègues ont précisé le mécanisme en jeu. Chez les patients atteints de cette maladie, le taux de sucre dans le sang n'est plus régulé par l'insuline, car leur propre système immunitaire détruit les cellules β du pancréas, qui produisent cette hormone. Les chercheurs se sont demandé pourquoi le système immunitaire ne s'en prend pas aussi aux cellules α du pancréas, voisines des cellules β . Ils ont comparé, chez le rat, la réponse antivirale de ces deux types de cellules à une infection par un coxsackievirus. Celle des cellules α est plus efficace. L'éradication rapide du virus au début de l'infection serait suffisante et leur éviterait d'alerter le système immunitaire.

S. B.

L. Marroqui et al., *eLife*, 10 juin 2015

Géosciences

Le noyau terrestre est soufré

Le noyau terrestre est trop léger pour ne contenir que du fer et du nickel. Des éléments plus légers entrent probablement dans sa composition. Pour la première fois, Frédéric Moynier de l'Institut de physique du globe de Paris et leurs collègues ont apporté la preuve que du soufre est présent dans le noyau.

Comment ont-ils procédé ? Ils ont comparé la composition chimique du manteau et de la croûte terrestre à celle des astéroïdes. Ces derniers ont formé la planète il y a plus de 4 milliards d'années et ont donc une composition comparable à celle de la Terre avant que le noyau et le manteau se soient différenciés. Ainsi, grâce aux différences de composition chimique entre ces échantillons, les géologues déterminent les éléments qui ont migré dans le noyau. Mais le soufre, très volatil, s'échappe facilement du manteau et son analyse directe n'est pas exploitable. Les chercheurs ont donc étudié le cuivre, un élément souvent associé à du soufre et qui a donc accompagné le soufre lors de sa migration dans le noyau. Ils estiment ainsi qu'il y aurait $8,5 \times 10^{18}$ tonnes de soufre dans le noyau, ce qui représente 0,5% de sa masse.

S. B.

P. S. Savage et al., *Geochemical Perspectives Letters*, vol. 1, pp. 53-64, 2015

Astrophysique

Une mangrove magnétique chauffe l'atmosphère du Soleil

À cœur du Soleil, la température avoisine les 15 millions de degrés. Elle n'est plus que de 6000 °C dans la photosphère, la couche de surface de l'astre. De façon surprenante, la température de l'atmosphère juste au-dessus de la surface (la chromosphère) grimpe jusqu'à plus de 10000 °C, et celle de la couronne, plus éloignée encore, dépasse le million de degrés ! Quels mécanismes réchauffent ainsi l'atmosphère solaire ? Tahar Amari, du Centre de physique théorique de l'École polytechnique, et ses collègues ont en partie résolu cette énigme vieille de plus de 80 ans.

Les physiciens ont modélisé le champ magnétique à la surface de l'étoile. Son aspect rappelle celui d'une mangrove. Autour de zones de température relativement stable se forment des lignes de champ magnétique qui

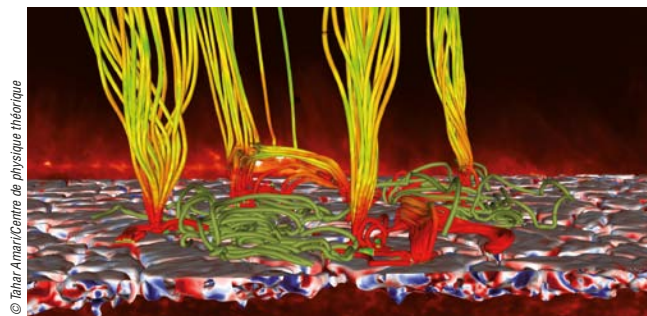
restent près de la surface. Elles s'enchevêtrent, telles des racines, aux pieds de lignes de champ qui s'échappent verticalement vers l'atmosphère comme des troncs d'arbres.

Le mouvement du plasma sous les racines conduit à des éruptions et des réorganisations des lignes de champ magnétique (ou reconnections magnétiques). Ce phénomène libère de l'énergie qui chauffe la chromosphère.

Pour la couronne, un autre mécanisme entre en jeu. Lors des éruptions dans le plasma photosphérique, des ondes d'Alfvén (des vibrations du champ magnétique) se forment et se propagent le long des lignes de champ verticales (les troncs de la mangrove). Ces ondes s'élèvent jusque dans la couronne où elles se dissipent peu à peu en chauffant l'atmosphère.

S. B.

Nature, vol. 522, pp. 188-191, 2015



Le plasma à la surface du Soleil (bleu et rouge) engendre un champ magnétique de surface (vert et rouge). Des mécanismes plus profonds créent des lignes de champ magnétique verticales (jaune et vert).

Des volcans actifs sur Vénus

Eugene Shalygin, de l'institut Max-Planck de Munich, et ses collègues ont mis en évidence une activité volcanique en cours sur Vénus. L'observation a été réalisée grâce à la sonde *Venus Express* de l'Agence spatiale européenne (ESA), qui a détecté à plusieurs reprises des points chauds, indices d'éruptions volcaniques. Vénus fait donc partie, avec la Terre et Io, satellite de Jupiter, des seuls corps du Système solaire où le volcanisme est encore actif.

Liaisons chimiques sur demande

Détruire des liaisons chimiques avec un laser est simple, en créer est plus complexe. En 2013, Liat Levin, du Technion en Israël, et ses collègues ont réussi à former des liaisons entre atomes de magnésium grâce à des impulsions de laser femtoseconde. Le taux de réussite était

faible, mais les chercheurs ont récemment multiplié le rendement par cinq. Pour ce faire, ils ont modulé l'émission laser : la fréquence augmente progressivement au cours de chaque impulsion. Le système de deux atomes passe alors par un état quantique intermédiaire qui favorise la formation de la liaison de la molécule.

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

POINT DE VUE

Expérimentation animale : il faut donner son plein effet à la loi

*La directive européenne de 2010 sur l'expérimentation animale
serait une nette amélioration si elle était toujours bien transposée et appliquée.*

Sonia CANSÉLIER

Le 3 juin dernier, en réponse à l'initiative citoyenne européenne « Stop vivisection » qui demandait l'interdiction de l'expérimentation animale, la Commission européenne a réaffirmé son intention de maintenir le cadre juridique actuel – la directive 2010/63/UE – tout en renouvelant sa volonté de veiller à son respect. Du texte à son application, il y a en effet beaucoup à faire.

À s'en tenir au texte de la directive, l'attention portée au sort des animaux est indéniable. La protection conférée est accrue de plusieurs façons : les principes des 3R – Remplacer, Réduire, Raffiner le choix des espèces utilisées –, énoncés il y a 55 ans pour encourager la recherche d'alternatives à l'expérimentation animale, acquièrent une valeur juridique ; l'utilisation des primates est interdite sauf exception motivée ; le champ de la protection est étendu, notamment aux céphalopodes et aux fœtus de mammifères au dernier stade de développement. Un nouveau système de contrôle est mis en place via l'autorisation des expériences : les autorités doivent vérifier, projet par projet, le respect des dispositions protectrices, tandis que les exigences sont accrues pour le contrôle de l'élevage, de l'achat, des soins aux animaux et du déroulement des procédures expérimentales.

Ainsi, pour certains, la directive de 2010 marque un changement de perspective par rapport à celle de 1986, qui visait juste à

harmoniser le marché. Elles s'appuient sur le nouvel article 13 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, affirmant que le souci du « bien-être des animaux » s'impose aux États membres. Toutefois, plusieurs éléments limitent la portée du changement. D'abord, l'article 13 ne constitue qu'un objectif de second ordre par rapport à l'harmonisation et à la protection de la santé, de l'environnement et des consommateurs.

Ensuite, la directive de 2010 participe d'un ensemble plus vaste de réglementations (le règlement REACH sur les produits chimiques,

**En l'état du droit français,
la procédure n'est efficace
que si les comités d'éthique
jouent leur rôle.**

par exemple) qui, à l'exception notable du règlement applicable aux produits cosmétiques, n'exigent pas l'usage de méthodes alternatives. Elles encouragent seulement à se passer des animaux, sans pour autant créer les conditions pour ce faire. Or, si l'interdiction, depuis 2009 dans l'Union européenne, de l'expérimentation animale pour les produits et ingrédients cosmétiques a été fructueuse, le nombre d'animaux utilisés dans les essais visant d'autres évaluations toxicologiques ou de sécurité a augmenté (voir l'encadré). Les progrès réalisés sur un terrain ont donc été perdus sur un autre.

La recherche est distincte des essais toxicologiques, mais elle relève du même ensemble. Ainsi, on ne dispose pas de chiffres plus récents que 2011 sur l'Europe et la France, car les autorités ont interprété l'article 54 de la directive, prévoyant un bilan « au plus tard le 10 novembre 2018 » et la transmission de statistiques sur l'utilisation d'animaux « au plus tard le 10 novembre 2015 », comme un blanc-seing pour ne plus publier de données avant ces dates.

Là réside sans doute la plus grande difficulté à surmonter : la directive de 2010 laisse une place non négligeable à l'interprétation. Dès lors, si le texte européen peut sembler exigeant, la protection réelle conférée aux animaux dépend de la lecture qu'en font les autorités en charge de le transposer et de l'appliquer. En France, ces compétences se répartissent

entre le ministère en charge de l'Agriculture et celui en charge de la Recherche. Ce dernier doit délivrer les autorisations de « projets » et il lui revient donc d'opérer les vérifications et de porter les appréciations fondées sur le souci du « bien-être » animal.

Concrètement, l'arrêté du 1^{er} février 2013 relatif à l'évaluation éthique et à l'autorisation des projets fait peser la charge de l'évaluation éthique sur des « comités d'éthique en expérimentation animale ». Le Code rural les décrit comme étant « composés, au minimum, de cinq personnes, dont : 1/ Une personne justifiant de compétences dans



LE DROIT DE LA PROTECTION
animale a progressé, mais
le nombre d'animaux utilisés
à des fins scientifiques
reste impressionnant.

le domaine de la conception de procédures expérimentales sur les animaux ; 2/ Une personne justifiant de compétences dans le domaine de la réalisation de procédures expérimentales sur les animaux ; 3/ Une personne justifiant de compétences dans l'un au moins des domaines suivants : soins des animaux/mise à mort des animaux ; 4/ Un vétérinaire ; 5/ Une personne non spécialisée dans les questions relatives à l'utilisation des animaux à des fins scientifiques ».

Cette transposition du droit européen ouvre la porte à une interprétation *a minima* peu propice au changement porté par la directive de 2010. De fait, ces nouveaux comités sont en général créés à partir des comités d'éthique déjà existants, ce qui donne l'impression d'une nouvelle dénomination sans réelle incidence. La « personne non spécialisée » se réduit parfois au vétérinaire mentionné au 4/, lequel remplit les deux fonctions à la fois. Quant aux compétences figurant au 3/, elles sont prévues comme une alternative, ce qui permet de ne pas exiger la présence d'une personne s'occupant des animaux sans les mettre à mort.

Pourtant, le regard porté sur l'animal varie selon que l'on est en charge de tuer ou non, et selon que l'on est formé ou non dans la culture des sciences biologiques. Or, si l'évaluation scientifique implique une compétence en lien avec l'expérience envisagée, le questionnement éthique demande une pluralité de points de vue et l'acceptation de la légitimité d'un regard extérieur. Ainsi, selon la composition du comité d'éthique, l'évaluation réalisée ne respectera que théoriquement les exigences réglementaires nationales ou remplira pleinement l'objectif de la loi européenne.

Des chercheurs s'inquiètent de la contestation persistante de leurs pratiques. Ils perçoivent aussi les évolutions juridiques comme des contraintes et des immixtions non justifiées dans leur travail. Cependant, une autre attitude est possible : recevoir les procédures réglementaires comme un dispositif d'accompagnement plutôt que comme un signe de défiance. La protection des animaux passe d'abord par une certaine préoccupation à leur égard, qui doit devenir partie intégrante de la recherche. La formation des personnels et la possibilité de prévoir un bilan réflexif

■ L'AUTEUR



Sonia CANSELIER
est chargée de
recherche à l'UMR
de droit comparé
de Paris (UMR 8103
CNRS-Paris 1) et
au laboratoire DCS (UMR 6297
CNRS-Université de Nantes).

■ EN CHIFFRES

11,5 millions d'animaux
utilisés en 2011 à des fins
scientifiques dans l'Union
européenne (UE), contre plus
de 12 millions en 2008.

Plus de 2,2 millions
d'animaux utilisés en 2010
en France, dont près de deux
tiers de rongeurs.

90 animaux utilisés en 2011
dans l'UE pour les cosmétiques
et les produits d'hygiène
corporelle, contre 1 960
en 2008.

345 000 animaux utilisés
en 2011 pour d'autres
évaluations toxicologiques
et de sécurité, contre 223 000
en 2008 (soit 54 % de plus).

Presque 92 000 animaux
utilisés en 2011 pour l'étude
de contaminants potentiels de
l'environnement, contre 65 000
en 2008 (soit 41 % de plus).

sur l'expérience achevée participent de cette dynamique. Bien appliquées et comprises, ces mesures intégreraient le souci de l'animal dès la conception des expériences, au lieu de plaquer un cadre réglementaire dans une démarche qui n'a d'éthique animale que le nom.

En l'état du droit français, la procédure n'est efficace que si les comités d'éthique jouent leur rôle. S'ils se cantonnent, comme encore souvent, à une lecture superficielle et très administrative du dossier, comment les chercheurs percevraient-ils cette étape autrement que comme une fastidieuse pape-rasserie ? Si les textes juridiques ne sont pas interprétés et appliqués dans la plénitude de leurs implications et dans le respect de leur finalité protectrice, mais comme autant de contraintes inutiles et chronophages, comment serviraient-ils de gages d'un équilibre satisfaisant ? Les opposants à l'expérimentation animale trouvent dans ces biais des éléments pour dénoncer l'inefficacité des solutions intermédiaires et réclamer une mesure plus radicale : l'interdiction. Les chercheurs et les autorités nommant les comités d'éthique seraient bien inspirés de les priver d'un argument en restituant au droit toute son efficacité et en s'engageant pour réaliser les ambitions du législateur européen. ■



Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

ENTRETIEN

Terres rares : « Nous avons en Europe un grand potentiel et un grand savoir-faire »

Le projet français ASTER a fait le point sur les « terres rares », des métaux essentiels pour l'industrie. Dominique Guyonnet, qui l'a coordonné, nous explique les facteurs de pénurie et les actions de l'Europe pour s'en prémunir.



Dominique GUYONNET est géologue au BRGM et directeur de l'École nationale d'application des géosciences.

POUR LA SCIENCE

Que sont les terres rares ?

DOMINIQUE GUYONNET : Les 14 terres rares sont, au sens strict, les lanthanides, des éléments dont les numéros atomiques vont de 57 à 71. Parce qu'il en est proche chimiquement, on y ajoute l'yttrium, qui est un quasi-métal de numéro atomique 39. Leurs atomes ont une configuration électronique interne qui comprend 14 places sur la sous-couche 4f, ce qui crée la fratrie des 14 lanthanides. Leurs propriétés électromagnétiques particulières proviennent du fait que les orbitales 4f écrantent mal le champ du noyau. Et ils ont par ailleurs des propriétés chimiques similaires, dû à leurs trois électrons de valence. Contrairement à ce que laisse croire leur nom qui date du XIX^e siècle, ils ne sont pas si rares. Mais ils constituent des matériaux stratégiques.

PLS

Pourquoi ces éléments métalliques sont-ils importants ?

D. G. : L'industrie est très demandeuse de certains d'entre eux – par exemple le néodyme, le praséodyme et le dysprosium – parce que ces éléments servent à produire des aimants permanents puissants. On utilise de tels aimants dans

certaines éoliennes, dans les moteurs électriques, notamment ceux des voitures, dans les petits moteurs d'ordinateurs, etc. D'autres terres rares – le terbium, l'euprimum et l'yttrium – sont utilisées dans les luminophores, constituants de base des ampoules fluorescentes. Les batteries rechargeables nickel-métal-hydrure – celles notées NiMH – sont une autre application importante des terres rares. D'autres applications concernent certains alliages métalliques, la catalyse pétrolière, la dépollution automobile, etc.

PLS

En quoi le projet ASTER a-t-il consisté ?

D. G. : Le marché international des terres rares a subi de fortes tensions ces dernières années, en raison des restrictions à l'exportation adoptées par le principal pays producteur, la Chine. Aussi le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) a-t-il lancé le projet ASTER pour avoir une vision des flux et stocks de terres rares tout au long de la « chaîne de valeur », la chaîne qui va de leur extraction jusqu'à leur utilisation, et même jusqu'à la gestion des déchets.

Le projet a été mené avec le groupe de chimie Solvay, le cabinet BIO by Deloitte, l'université Paul-Sabatier à Toulouse et l'institut

polytechnique LaSalle Beauvais dans le cadre du programme ECOTECH de l'ANR (Agence nationale de la recherche). Les équipes d'ASTER ont travaillé en lien avec celles du projet européen EURARE (EUropean RARE Earth), coordonné par le Service géologique britannique (British Geological Survey).

PLS

Quels sont ses principaux résultats ?

ASTER (acronyme de *Analyse Systémique des TERres rares - flux et stocks*) a fourni une vision des flux et stocks de terres rares tout au long de la chaîne de valeur. Ils consistent en valeurs quantitatives de flux et de stocks de terres rares jugées critiques pour l'économie française et européenne. Alors que pour la Commission européenne toutes les terres rares sont critiques, les analyses faites dans le cadre d'ASTER mettent en évidence que la menace de pénurie ne concerne que certaines d'entre elles : essentiellement celles mises en jeu dans les aimants permanents et les batteries. Viennent ensuite les terres rares utilisées dans les ampoules fluorescentes, mais il semble qu'à terme, les lampes à diodes électroluminescentes (LED) prédomineront, de sorte que ce problème devrait s'atténuer.