

Science et société

Perturbateurs endocriniens : un flou entretenu

En 2013, la Commission européenne (CE) devait fournir des critères d'identification des perturbateurs endocriniens, ces substances qui perturbent le système hormonal, afin que les lois sur les pesticides (2009) et les biocides (2012) puissent entrer en vigueur. Elle ne l'a toujours pas fait, prétextant un manque de consensus scientifique et la nécessité d'une étude d'impact – deux mauvaises excuses, expliquent dans un article sept chercheurs indépendants, dont Barbara Demeneix, professeure au Muséum national d'histoire naturelle.

quelconque. Dans la plupart des cas, les meilleurs empilements connus étaient loin des valeurs limites calculées par les fonctions auxiliaires. Mais en dimensions 8 et 24, les empilements définis par E_8 et le réseau de Leech touchaient de près l'estimation la plus basse connue de la densité maximale, à moins de 10^{-30} près.

Pour s'assurer que ces empilements étaient les meilleurs, il fallait trouver la bonne fonction auxiliaire qui donnerait une borne supérieure correspondant exactement aux densités de E_8 et du réseau de Leech.

Le 14 mars 2016, Maryna Viazovska annonçait avoir trouvé cette fonction auxiliaire grâce aux formes modulaires, des objets mathématiques abstraits qui présentent des symétries particulières. Elle confirmait ainsi que E_8 correspond à la meilleure façon d'empiler des sphères en 8 dimensions. Le soir même, elle recevait un courriel de Henry Cohn qui suggérait d'appliquer sa méthode au réseau de Leech, pour le cas à 24 dimensions. Une semaine plus tard, avec trois autres chercheurs, Maryna Viazovska et Henry Cohn ont obtenu la confirmation que le réseau de Leech est la meilleure façon d'empiler des sphères à 24 dimensions.

Ce résultat ne change rien pour les codes correcteurs : E_8 et le réseau de Leech sont déjà utilisés, et même s'ils n'avaient pas été optimaux, ils auraient été très proches de l'optimum. Le résultat est néanmoins important sur le plan théorique et constitue une élégante application des formes modulaires.

Sean Baillly

M. Viazovska, sur *arXiv*, 2016 : <http://arxiv.org/abs/1603.04246>
H. Cohn et al., sur *arXiv*, 2016 : <http://arxiv.org/abs/1603.06518>

Qu'est-ce qui vous a poussés à agir ?

Barbara Demeneix : En juin 2014, au lieu de définir ses critères, la CE a publié une feuille de route proposant quatre options pour identifier les perturbateurs endocriniens et planifiant une étude des impacts économique, social et environnemental potentiels de chacune, afin d'aider à en choisir une. C'est la présentation de ce programme, le 1^{er} juin 2015 à Bruxelles, qui a tout déclenché. Nous étions plusieurs représentants de l'*Endocrine Society* inscrits et avons tous été choqués par l'annonce de cette étude d'impact. Il était clair que la réunion était montée pour montrer qu'il n'existait pas de consensus sur la définition des perturbateurs endocriniens, et qu'il était difficile d'en définir des critères d'identification. Or il existe bien un consensus scientifique ! Et aucune étude d'impact n'y changera rien. Nous avons donc décidé d'écrire cet article.

Quel est votre message ?

B. D. : Il est triple. D'abord, nous montrons qu'il y a consensus sur la définition donnée par l'Organisation mondiale de la santé en 2002 : « Une substance ou un mélange exogène qui modifie la/les fonction(s) du système endocrinien et qui, en conséquence, a des effets

nocifs sur la santé d'un organisme intact, de sa descendance ou des (sous-)populations. » Cette définition est celle utilisée depuis et n'a jamais, à notre connaissance, été remise en question. Même la feuille de route de la CE se réfère au « consensus général » sur cette définition ! Ensuite, lors de la réunion, la notion toxicologique de puissance, c'est-à-dire d'activité en fonction de la



Barbara Demeneix, professeure au MNHN, à Paris

concentration, a pris une importance déplacée. Ce terme est imprécis et n'est pas pertinent pour définir les perturbateurs endocriniens et leurs dangers, plusieurs études ayant montré que leur effet n'est pas toujours proportionnel à la dose. Enfin, nous montrons que l'étude d'impact est un non-sens quand il s'agit, comme ici, d'évaluer un danger, et non un risque. En particulier, il n'existe pas assez de tests. Ainsi, pour évaluer les effets des pesticides sur le développement du cerveau, aucun test n'est encore ratifié

par l'OCDE. Impossible d'étendre à d'autres produits, par exemple, l'étude que nous avons menée en 2015 avec Leo Trasande sur l'impact de la perte de QI liée à l'exposition à des organophosphates. Sans compter que les effets de la plupart des pesticides sur le neurodéveloppement n'ont pas été testés.

Que préconisez-vous pour réglementer les perturbateurs endocriniens ?

B. D. : De les classer en trois catégories en fonction du niveau de preuve, comme cela est fait pour les substances cancérigènes. Il s'agit de la 3^e option de la CE, et nous montrons qu'elle remplit tous les critères recherchés.

La CE a-t-elle réagi ?

B. D. : Absolument pas. Pourtant, à Berlin, d'autres sont arrivés à la même conclusion depuis. La CE se préparerait-elle à changer la loi, afin qu'elle ne repose plus sur le danger mais sur le risque, bien moins contraignant car autorisant des seuils ? Nous le craignons, car c'est ce que visent le CEFIC et l'EPCA, les lobbies européens de la chimie et de l'industrie des pesticides, comme le dénonce le journaliste Stéphane Horel dans son livre *Intoxication*.

Marie-Neige Cordonnier

R. Slama et al., *EHP*, 2016

Anthropologie

Un bassin féminin de taille modulable

Selon l'explication courante, la taille du bassin féminin serait génétiquement déterminée. En fait, elle augmente à l'adolescence et diminue à la ménopause, ce qui suggère que cette taille varie aussi sous l'influence des hormones et de l'environnement.

La taille du bassin de la femme varie au cours de sa vie. Il s'élargit à partir de la puberté, ce qui rend possible l'accouchement, puis se rétrécit après la ménopause, ce qui améliore la stabilité du plancher pelvien. Des transformations sous dépendance hormonale.



© Thibault/Shutterstock.com

A la puberté, le bassin féminin s'élargit ; après la période de fécondité de la femme, il rétrécit. En comparaison, le bassin masculin évolue peu au cours de la vie. C'est ce qu'a constaté une équipe de l'université de Zurich dirigée par Marcia Ponce de León. Son étude éclaire la question du « dilemme obstétrique » qui intrigue les chercheurs depuis longtemps.

De quoi s'agit-il ? Dans notre espèce, accoucher est particulièrement difficile à cause de l'étroitesse du bassin. Pourquoi les femmes n'ont-elles pas un plus large bassin ? L'explication courante est que l'évolution aurait conduit à un compromis entre les nécessités obstétriques – le passage d'un bébé dont la tête est volumineuse – et celles de la locomotion. Ainsi, le bassin féminin n'aurait pas pu évoluer vers une forme plus évasée parce que la marche en aurait été entravée.

Toutefois, plusieurs travaux de recherche récents ont fait apparaître que les femmes au bassin large marchent aussi

bien que celles au bassin plus étroit. C'est pourquoi l'équipe de Marcia Ponce de León a cherché une nouvelle explication aux difficultés obstétriques qu'entraîne la forme du bassin féminin.

Les chercheurs se sont procuré 275 tomographies de bassins d'enfants, d'adolescents et d'adultes féminins et masculins. Après avoir défini 377 caractéristiques ostéologiques, ils ont examiné l'évolution en cours de vie des trois composantes principales (combinaisons de caractéristiques) décrivant le mieux le développement du bassin d'un point de vue statistique.

Ils ont alors découvert que si les bassins des filles et des garçons se développent de la même façon jusqu'à la puberté, à ce moment, le bassin féminin emprunte une autre trajectoire : il s'élargit jusqu'à atteindre un optimum vers l'âge de 25 ans, au pic de fertilité. Après 40 ans, en revanche, il régresse un peu et recommence à évoluer comme le bassin masculin.

Les chercheurs zurichois font l'hypothèse qu'il existe bien une

limite maximale à la taille du bassin, non pas pour des raisons de locomotion, mais pour la nécessaire stabilité du plancher pelvien (le périnée). Ainsi, le développement spécifique du bassin féminin répondrait à deux contraintes opposées : la première obstétrique ; la seconde organique. Pendant la période de fertilité, l'élargissement du bassin faciliterait l'accouchement. À la ménopause, son rétrécissement favoriserait la solidité du plancher pelvien. Et cette transformation serait sous influence hormonale.

Or les conditions de vie de la femme, notamment son alimentation, influent sur la sécrétion des hormones. Ainsi, selon Marcia Ponce de León, les difficultés à l'accouchement seraient peut-être moins imputables à l'évolution qu'à l'influence de facteurs extérieurs sur les hormones féminines, lesquelles jouent à leur tour sur la largeur de la cavité pelvienne et le développement prénatal du bébé.

François Savatier

PNAS, en ligne le 25 avril 2016

12
centimètres

de largeur environ :
c'est ce que mesure
l'ouverture du pelvis
féminin à travers
laquelle passe
le bébé

Biochimie

Un élément clé de l'ARN formé sur les comètes ?

Pour la première fois, une équipe internationale comprenant des chercheurs de l'Institut de chimie de Nice, de l'Institut d'astrophysique spatiale à Orsay et du synchrotron Soleil a montré que les conditions qui règnent sur une comète permettent la synthèse de ribose, un sucre qui sert de « colonne vertébrale » à l'ARN.

Le milieu cométaire semble propice à de nombreux processus chimiques d'où naissent des composés chimiques indispensables à la vie telle que nous la connaissons. De nombreuses observations confirment la présence d'acides aminés (constituants des protéines) et de bases azotées (éléments des acides nucléiques tels l'ADN et l'ARN) sur des comètes glacées.

Pour étudier en détail les réactions chimiques qui s'y déroulent, on recrée artificiellement dans des enceintes les conditions régnant à la surface des comètes. À l'Institut d'astrophysique spatiale, les chercheurs ont introduit dans une enceinte



En laboratoire, de la glace, mélange d'eau, d'ammoniac et de méthanol, est exposée à un rayonnement ultraviolet (à gauche) pour reproduire les conditions d'un nuage moléculaire (à droite, les Piliers de la création).



à basse température (78 kelvins) et faible pression (10^{-7} millibar) des molécules d'eau, de méthanol (CH_3OH) et d'ammoniac (NH_3), un mélange que l'on retrouve sous forme de glace sur les grains de poussière qui se sont agglutinés pour former les comètes. Le mélange glacé a ensuite été soumis à un rayonnement ultraviolet similaire à celui qui baignait le disque protoplanétaire qui a donné le Système solaire. Ce rayonnement apporte l'énergie qui amorce des réactions chimiques entre les

composants. L'enceinte a ensuite été chauffée jusqu'à température ambiante pour simuler ce qui se passe lorsqu'une comète se rapproche du Soleil.

Les chercheurs ont analysé le contenu des échantillons à l'Institut de chimie de Nice. Un grand nombre de molécules organiques ont été détectées, dont le ribose. Il reste à confirmer ce résultat en détectant des traces de ribose dans les glaces d'une comète!

S. B.

C. Meinert et al., *Science*, 8 avril 2016

Un paralysé aux commandes

Chez nombre de tétraplégiques, les commandes motrices sont correctement élaborées dans le cerveau, mais une lésion de la moelle épinière empêche leur transmission aux muscles. Chad Bouton, de l'Institut Battelle Memorial, aux États-Unis, et ses collègues sont parvenus à lire ces commandes directement dans l'encéphale d'un patient à l'aide de microélectrodes, puis à les transmettre à un dispositif de stimulation musculaire. Trois sessions d'entraînement par semaine pendant quinze mois ont été nécessaires pour affiner les algorithmes qui décodaient les mesures cérébrales et les transformaient en instructions pour le stimulateur – composé de 130 électrodes enroulées autour de l'avant-bras. Finalement, le patient a réussi à effectuer quelques gestes du quotidien, comme verser le contenu d'une bouteille dans un verre. Le dispositif reste à perfectionner avant de sortir du laboratoire, mais, pour les chercheurs, son potentiel est désormais prouvé.

Mathématiques

Colorier des cartes avec seulement trois couleurs

Combien de couleurs faut-il pour colorier une carte plane découpée en régions sans que deux zones limitrophes soient de la même couleur? En 1976, les Américains Kenneth Appel et Wolfgang Haken ont prouvé que quatre couleurs suffisent. Ce résultat est vrai pour toutes les cartes planes, mais existe-t-il des conditions particulières garantissant que seules trois couleurs suffisent? En 1976, Richard Steinberg a conjecturé que « tout graphe planaire sans cycles de longueurs 4 ou 5 requiert seulement trois couleurs ». Or Vincent Cohen-Addad, de l'École normale supérieure à Paris, et ses

collègues viennent de montrer que cette conjecture est fausse.

En pratique, pour étudier ce genre de problèmes, les mathématiciens formalisent les cartes à colorier en utilisant la théorie des graphes. Chaque région d'une carte est matérialisée par un nœud qui porte une couleur. Deux régions limitrophes sont donc deux nœuds connectés par une arête. Ces nœuds ne doivent pas porter la même couleur.

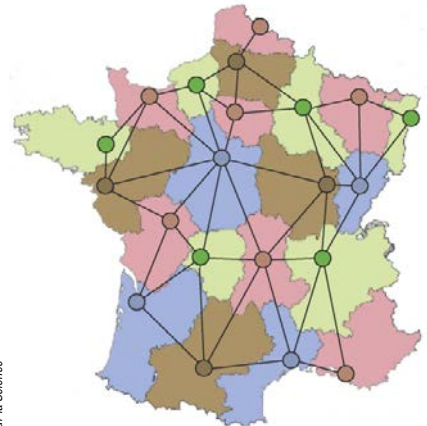
Les chercheurs ont remarqué que si un graphe présente des cycles de longueur 4 (boucles à 4 nœuds), il est impossible de n'utiliser que trois couleurs. Il faut donc exclure ces cycles, mais est-ce

suffisant? En 2005, Oleg Borodin, de l'Institut de mathématiques de Novosibirsk, en Russie, et ses collègues ont fourni une première réponse en montrant que les graphes dépourvus de cycles de 4, 5, 6 et 7 nœuds peuvent être coloriés avec trois couleurs.

Vincent Cohen-Addad et ses collègues ont construit un graphe planaire sans cycles de longueurs 4 ou 5 que l'on ne peut pas colorier avec seulement trois couleurs. Ce contre-exemple infirme la conjecture de Steinberg. Et si l'on interdisait aussi les cycles de 6 nœuds?

S. B.

V. Cohen-Addad et al., sur arXiv, 2016 : <https://arxiv.org/abs/1604.05108>



© Pour la Science

En toute généralité, une carte plane découpée en régions peut être coloriée avec quatre couleurs. Certaines conditions supplémentaires assurent que trois couleurs suffisent.