

Mais tous les effets de cette molécule ne seraient pas bénéfiques. Les chercheurs doivent encore vérifier si l'une des voies activées par le resvératrol n'accélérerait pas la mort de certains neurones.

Depuis, d'autres recherches ont complété ces études. Elles indiquent que la durée de stress dans une cellule est déterminante pour qu'une cellule en tire profit ou non. Des exercices physiques intenses doivent être ponctués d'un temps de repos nécessaire à la croissance et à la réparation cellulaire; c'est la même chose en ce qui concerne la consommation des toxines végétales. Lorsqu'on consomme des fruits et légumes, l'organisme entre dans un mode de résistance au stress, caractérisé par une réduction générale de la fabrication de nouvelles protéines, une élimination accrue des molécules endommagées et la production de protéines spécifiquement nécessaires à la survie de la cellule.

Les périodes de repos sont importantes

Les cellules peuvent endurer cet état un certain temps avant d'avoir besoin de fabriquer des protéines ayant d'autres fonctions que la résistance au stress et d'être altérées par ce surplus de stress. Lorsque celui-ci disparaît, la synthèse de protéines reprend, les cellules entrent en croissance et réparent les dommages moléculaires qui sont apparus. Dans le cas des neurones, de nouvelles connections se forment entre les cellules pendant la période de récupération. Des études suggèrent que la consommation de fruits et légumes ou la pratique d'exercices physiques suivis d'une période de repos stimulent la synthèse de nouveaux neurones à partir des cellules souches. Les nouveaux neurones forment des connexions avec les neurones existants, stimulant efficacement l'apprentissage et la mémorisation. En pratique, un temps de sommeil normal la nuit suffit pour que les cellules récupèrent après un effort physique ou une consommation de toxines végétales.

Des chercheurs voient dans l'hormèse une piste de nouveaux médicaments, voire d'explication du mécanisme de certains médicaments déjà sur le marché. C'est le cas de la galantamine, la molécule extraite des fleurs blanches du genre *Galanthus* telles que les perce-neige, prescrite aux patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Cette molécule est censée améliorer, certes



LE BROCOLI ET LE RAISIN contiennent des toxines, respectivement le sulforaphane et le resvératrol, qui stressent les cellules de l'organisme et lui permettent de lutter contre certaines maladies. De tels composés sont omniprésents dans les fruits et les légumes.

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Yun et T. Finkel, *Mitohormesis*, *Cell Metabolism*, vol. 19, n° 5, pp. 757-766, 2014.

J. Xu et al., *Neurotrophic natural products: chemistry and biology*, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, vol. 53, n° 4, pp. 956-987, 2014.

A. M. Stranahan et M. P. Mattson, *Recruiting adaptive cellular stress responses for successful brain ageing*, *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 13, pp. 209-216, 2012.

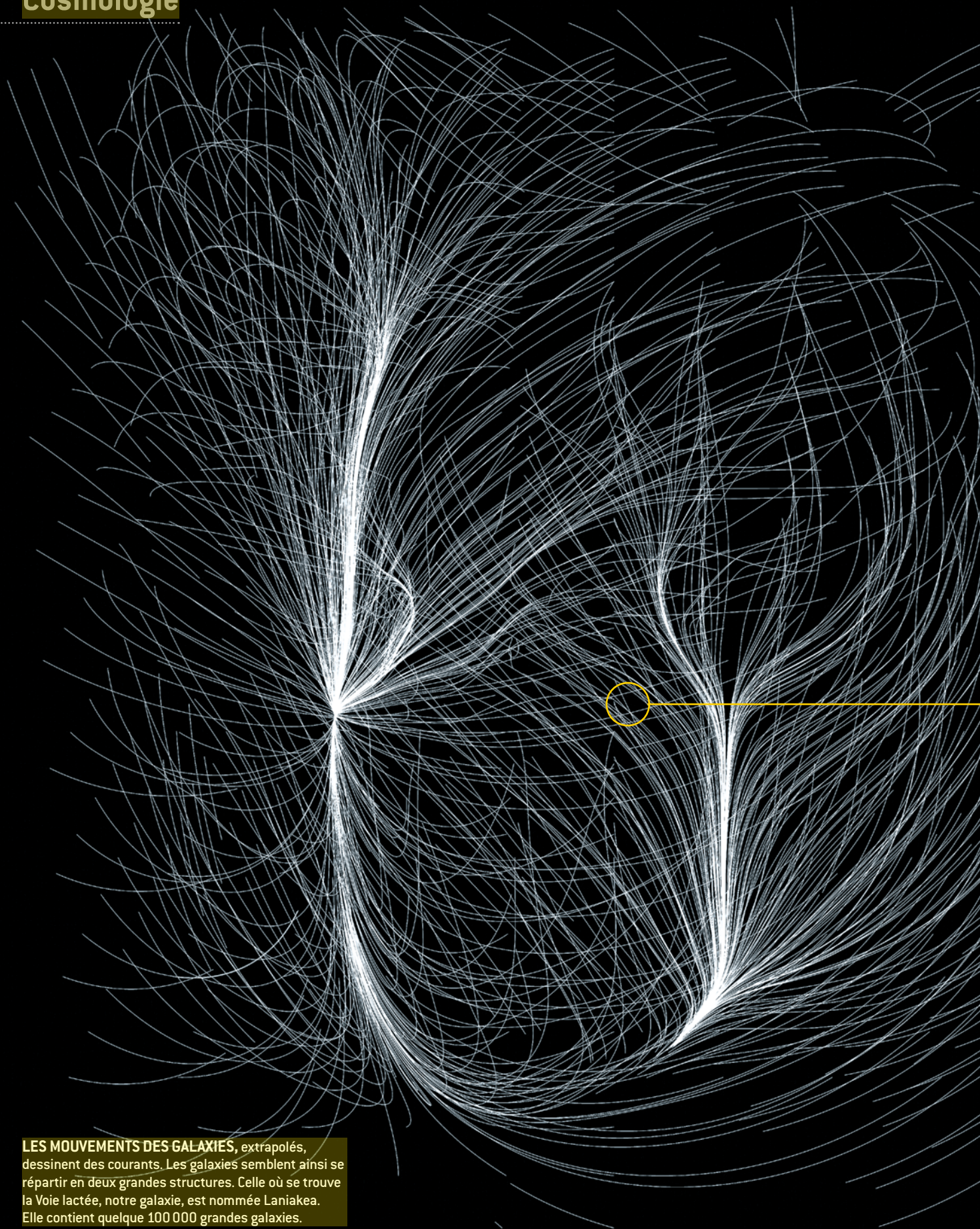
modestement, la mémoire des patients en augmentant la concentration d'acétylcholine (une molécule qui joue un rôle dans la communication entre les neurones) dans les cellules. Elle produit un certain stress dans les neurones qui semble les protéger de la neurodégénérescence tout en améliorant leur capacité à user de molécules et de signaux électriques pour communiquer.

D'autres pistes viendront peut-être de la médecine traditionnelle à base de plantes. Une substance connue sous le nom d'uwhangchungsimwon est utilisée dans la pharmacopée coréenne pour prévenir l'AVC. Elle protégerait les neurones en induisant une réponse au stress favorisant la fabrication de protéines, telle Bcl-xL, qui empêchent les cellules de mourir.

Le concept d'hormèse n'échappe pas à son lot de controverses. Certains chercheurs se demandent si les méthodes employées pour déterminer la dose à laquelle les effets bénéfiques disparaissent sont réellement adéquates. Le seuil exact à partir duquel une réaction toxique commence peut varier entre les individus. Évaluer les effets bénéfiques potentiels de l'hormèse requiert des essais cliniques contrôlés. Actuellement, de nombreuses plantes sont commercialisées en tant que médicaments accompagnés de revendications infondées sur leurs bienfaits. Le Centre américain pour la santé complémentaire et intégrative a été établi en 1998 en partie pour aider à financer des études sur de tels composés.

Ces défis ne devraient pas décourager les scientifiques de poursuivre leurs recherches sur l'hormèse. Car les toxines qui induisent un stress cellulaire pourraient avoir des avantages par rapport aux médicaments classiques, qui présentent parfois des effets secondaires dérégulant le fonctionnement normal des neurones.

Certains laboratoires, dont le mien, poursuivent leurs recherches sur les médicaments hormétiques et ont obtenu des résultats encourageants sur des modèles animaux de plusieurs maladies neurodégénératives humaines. De précédentes recherches indiquent que ces médicaments protègent les neurones de la mort en les rendant plus résistants à une attaque de radicaux libres et à d'autres lésions moléculaires. Dans un futur proche, une peau de pomme, des noix ou de la poudre de curcuma deviendront peut-être la base d'une génération radicalement nouvelle de traitements contre les maladies du cerveau. ■



LES MOUVEMENTS DES GALAXIES, extrapolés, dessinent des courants. Les galaxies semblent ainsi se répartir en deux grandes structures. Celle où se trouve la Voie lactée, notre galaxie, est nommée Laniakea. Elle contient quelque 100 000 grandes galaxies.

Où sommes-nous dans l'Univers ?

Noam Libeskind et Brent Tully

La Voie lactée fait partie d'un énorme superamas de galaxies qui constitue l'une des plus grandes structures connues de l'Univers. Cette découverte découle d'un effort de cartographie cosmique qui ne fait que commencer.

NOUS
SOMMES
ICI

L'ESSENTIEL

■ Les étoiles se regroupent en galaxies, les galaxies en amas, et les amas en superamas. Ces derniers constituent les plus grandes structures connues de l'Univers.

■ Les mouvements de milliers de galaxies proches ont révélé que le superamas où réside la Voie lactée est plus étendu qu'on ne le pensait. Ce superamas a été nommé Laniakea.

■ Une cartographie plus détaillée de Laniakea et des superamas voisins aidera à mieux comprendre la formation des galaxies et à éclaircir les mystères de la matière noire et de l'énergie sombre.

Daniel Pomarède, CEA Saclay/IRFU

Imaginez que, en visite dans une galaxie lointaine, vous vouliez écrire à vos amis restés sur Terre. L'adresse commence par le numéro de la maison, le nom de la rue et de la ville, quelque part sur notre monde, la troisième planète en partant du Soleil. Il vous faut ensuite indiquer l'emplacement du Soleil dans le bras d'Orion, un bras spiral des faubourgs de la Voie lactée, puis la localisation de la Voie lactée dans le Groupe local qui contient plus d'une cinquantaine de galaxies et s'étend sur quelque sept millions d'années-lumière. Le Groupe local lui-même se trouve à la périphérie de l'amas de la Vierge, un amas de plus d'un millier de galaxies situé à 50 millions d'années-lumière et qui représente une petite partie de ce que l'on nommait jusqu'ici le « Superamas local » : une région d'environ 100 millions d'années-lumière de diamètre contenant plusieurs centaines d'amas de galaxies. On pense que les superamas de ce type sont les plus vastes structures de l'Univers. Dans ces superamas, les galaxies dessinent des filaments, voire des nappes à deux dimensions. Et les superamas contiennent aussi d'immenses espaces presque entièrement vides de galaxies.

Jusqu'à récemment, le Superamas local était considéré comme la dernière ligne de notre adresse cosmique. Toute indication supplémentaire aurait été vaine, pensait-on, car à une échelle plus vaste, le tissu des superamas se fond en un contenu homogène dépourvu de structures discernables : les galaxies y semblent distribuées de façon régulière. Toutefois, en 2014, l'un de nous (Brent Tully) et trois chercheurs, dont Hélène Courtois, de l'université de Lyon, et Daniel Pomarède, du CEA, avons découvert que nous faisons partie d'une structure si immense que nos représentations en ont été bouleversées. Il s'avère en effet que ce que l'on avait identifié comme le Superamas local n'est qu'un lobe d'un superamas rassemblant 100 000 grandes galaxies et

s'étendant sur une distance dix fois plus grande de 500 millions d'années-lumière. L'équipe qui a découvert ce superamas gigantesque l'a nommé Laniakea («horizon céleste immense» en langue hawaïenne) en l'honneur des premiers Polynésiens qui ont exploré les immensités de l'océan Pacifique en se guidant aux étoiles. La Voie lactée se trouve loin du centre de Laniakea, quelque part dans une de ses provinces reculées.

Laniakea n'est pas juste une ligne de plus dans notre adresse cosmique. En étudiant l'architecture et la dynamique de cette structure immense, nous pouvons en apprendre davantage sur le passé de l'Univers et sur son avenir. La répartition des galaxies et leur mouvement dans Laniakea nous renseignent non seulement sur la manière dont les structures de galaxies se forment et croissent, mais aussi sur la «matière noire», cette substance invisible dont les physiciens supposent qu'elle constitue près de 80 % de la matière du cosmos. Laniakea pourrait aussi nous aider à comprendre la nature de l'«énergie sombre», cette composante de l'Univers découverte en 1998 qui serait à l'origine d'une accélération de l'expansion cosmique, déterminante pour prédire le destin ultime de l'Univers.

Finalement, ce superamas pourrait ne pas être la dernière ligne de notre adresse cosmique : il pourrait faire lui-même partie d'une structure plus vaste encore à découvrir.

Sonder l'Univers grâce aux mouvements des galaxies

L'équipe qui a découvert Laniakea ne le cherchait pas. Ses travaux visaient initialement à répondre à des questions persistantes sur la nature fondamentale de l'Univers.

Les scientifiques ont constaté depuis près d'un siècle que le cosmos est en expansion : l'espace enfle et les galaxies s'éloignent les unes des autres comme des points à la surface d'un ballon que l'on gonfle. Cependant, au cours des dernières décennies, il est apparu que la plupart des galaxies ne font pas que s'éloigner les unes des autres, soumises à la seule action de l'expansion cosmique. Une autre force, locale celle-là, est à l'œuvre : l'attraction gravitationnelle exercée par les amas de matière voisins et susceptible de retenir

LES AUTEURS



Noam I. LIBESKIND est cosmologiste à l'institut Leibniz d'astrophysique de Potsdam, en Allemagne. Il modélise l'évolution de l'Univers et la formation des galaxies, en particulier la Voie lactée et les galaxies naines qui l'entourent.



R. Brent TULLY est astronome à l'université de Hawaï. Il est spécialiste de la cartographie et de la distribution des galaxies.

une galaxie à contrecourant du flot de l'expansion. On qualifie de «vitesse particulière» la différence entre le mouvement d'une galaxie lié à l'expansion cosmique et son mouvement lié à son environnement gravitationnel.

En comptabilisant toutes les étoiles de toutes les galaxies visibles et en y ajoutant tout le gaz et les autres formes de matière ordinaire qu'elles doivent contenir, on obtient une masse totale très insuffisante (il s'en faut d'un ordre de grandeur) pour expliquer les vitesses particulières observées. La masse manquante est qualifiée de «matière noire» par les physiciens, un terme qui ne fait essentiellement que mettre un nom sur l'inconnu. On suppose que cette matière noire est constituée de particules qui sont pratiquement insensibles aux forces telles que l'électromagnétisme et qui n'interagissent avec le reste de l'Univers que *via* la gravitation. La matière noire exerce la force gravitationnelle «manquante» nécessaire pour rendre compte des vitesses observées. Les scientifiques pensent que les galaxies s'agglutinent au sein de régions riches en matière noire, qui constitue l'échafaudage invisible du cosmos.

Notre équipe d'astronomes a vite compris qu'en cartographiant l'écoulement des galaxies à partir de leurs vitesses particulières, on pourrait en déduire la distribution cachée de la matière noire dans le cosmos, les plus grandes concentrations de cette mystérieuse substance étant trahies par leur influence gravitationnelle sur le mouvement des galaxies. Si, par exemple, des galaxies convergent vers un point donné, c'est qu'elles y sont attirées gravitationnellement car il s'agit d'une région à forte densité de matière.

Nous nous sommes aussi rendu compte que la détermination précise de la densité et de la distribution de toutes les formes de matière dans l'Univers nous aiderait à résoudre un autre mystère encore plus profond : le fait que le cosmos est non seulement en expansion, mais en expansion accélérée. Ce comportement va à l'encontre de l'intuition : c'est comme si une pierre lancée en l'air partait en flèche vers l'espace plutôt que de retomber sur Terre. On parle d'«énergie sombre» pour désigner ce qui se cache derrière ce phénomène étrange, qui a des implications profondes pour l'avenir de l'Univers. L'expansion accélérée du cosmos suggère que la plupart des galaxies s'éloigneront les unes