

syndrome de Di George: les personnes atteintes de ce syndrome (caractérisé par une immunodéficience primaire et diverses malformations) ont un risque de développer des troubles schizophréniques quarante fois supérieur à celui de la population générale. Ainsi, ces souris modèles présentent par exemple une hyperactivité et un déficit de mémoire, deux symptômes cognitifs de la maladie.

En examinant de plus près leur hippocampe, structure cérébrale impliquée justement dans la mémoire, les chercheurs ont constaté que les neurones de la couche notée CA1 sont désynchronisés: ils présentent le même niveau d'activité électrique que les neurones de souris normales, mais ils ne sont plus coordonnés entre eux, comme si les cellules ne communiquaient plus très bien les unes avec les autres. Et ce, parce qu'une population minoritaire d'autres neurones dans cette région de l'hippocampe, les interneurones inhibiteurs à parvalbumine, n'est plus suffisamment active. Alan Carleton, qui a dirigé cette étude, explique: «Sans cette inhibition correcte qui contrôle et structure l'activité électrique des autres neurones du réseau dans l'hippocampe, l'anarchie règne en maître.»

Ensuite, sur des tranches d'hippocampe de ces souris, *in vitro*, et grâce à des traitements pharmacologiques et des manipulations génétiques, les chercheurs ont rétabli l'activité des neurones inhibiteurs: les réseaux de neurones de la couche CA1 se sont immédiatement resynchronisés. Et quand ils ont injecté les mêmes molécules chez des souris éveillées, ces dernières ont cessé de présenter certains symptômes typiques de la schizophrénie, comme l'hyperactivité, probablement à cause d'une resynchronisation de leurs neurones.

Thomas Marissal et ses collègues sont optimistes: ils vont vérifier que la désynchronisation existe dans d'autres régions cérébrales et dans d'autres modèles animaux de la schizophrénie, voire chez l'homme, et tenter de la corriger de la même manière. Car ils pensent qu'une thérapie pharmacologique ou des manipulations génétiques ciblant les neurones inhibiteurs du même type que ceux à parvalbumine pourraient représenter un nouveau traitement de la schizophrénie dans les années à venir. ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

T. Marissal et al., *Nature Neuroscience*, en ligne le 17 septembre 2018

Transmuter les déchets nucléaires avec Myrrha

En Belgique, le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (CEN) développe une grande installation qui permettra notamment d'expérimenter la faisabilité d'une filière de réacteurs de quatrième génération et la transmutation des déchets nucléaires. Les explications du directeur du projet.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

HAMID AÏT ABDERRAHIM,
physicien des réacteurs,
dirige le projet Myrrha.

Qu'est-ce que le projet Myrrha ?

Comme l'indique cet acronyme pour l'anglais *Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications*, Myrrha est un réacteur nucléaire de recherche hybride visant des applications relatives à la médecine nucléaire, aux matériaux utilisés dans les réacteurs à fission et à fusion, et à la transmutation des déchets nucléaires.

Pourquoi « hybride » ?

Parce qu'il couplera un accélérateur de protons à hautes énergies et intensité (dont la construction, d'ici à 2024, est la première phase du projet) à un réacteur nucléaire sous-critique, c'est-à-dire dont le cœur contient trop peu de combustible pour que la réaction en chaîne s'autoentretienne. Pour maintenir en fonctionnement un tel réacteur, il faut des réactions de fission supplémentaires, que l'on obtient en créant des neutrons à l'aide du faisceau de protons. Comme le réacteur est contrôlé par l'accélérateur, il est très sûr : si l'on coupe le faisceau, la réaction s'éteint en une microseconde.

Mettre au point un tel réacteur fait partie de vos objectifs ?

Oui ! Ce type de réacteur à neutrons rapides représente l'une des six filières envisagées pour la quatrième génération. Notre but est de tester son fonctionnement à l'échelle semi-industrielle. Pour le refroidir, nous y ferons circuler un mélange plomb-bismuth, qui est liquide à 123 °C. Cela se traduira, dans le circuit de refroidissement, par des températures relativement basses, donc faciles à gérer. Le plomb-bismuth a cependant l'inconvénient de corroder l'acier des canalisations, mais on sait réduire ces effets en introduisant un peu d'oxygène dans le circuit, de façon à en passer les parois par des couches d'oxyde de fer et de chrome.

Et en quoi peut-il servir à transmuter les déchets nucléaires ?

Le temps de séjour moyen des barres d'uranium dans les réacteurs à eau pressurisée actuels est de 4,5 ans. Au bout de cette période, une tonne de combustible s'est muée en 56,6 kilogrammes (kg) de produits de fission, 12 kg de plutonium, 1 kg de neptunium, 0,8 kg d'américium, 0,6 kg de curium, et il reste 930 kg d'uranium. Si l'on peut en partie réutiliser dans du combustible reconditionné le plutonium, qui est hautement toxique et radioactif, les autres actinides mineurs (le neptunium, l'américium et le curium) sont aujourd'hui laissés dans la soupe issue des opérations de séparation. Une fois vitrifiés, on les stocke sous terre, où il faudra entre 300 000 ans et 1 million d'années pour que leur radiotoxicité redescende au niveau de celle de l'uranium. D'où l'intérêt de les transmuter en espèces beaucoup moins radiotoxiques. C'est possible dans un réacteur tel celui de Myrrha, dont le principe permet de « brûler » des barres de combustible contenant jusqu'à 50 % d'actinides mineurs. Nous avons estimé que 40 ans suffiraient pour transmuter tous les déchets nucléaires qu'a produits l'Allemagne, de sorte que leur radiotoxicité redescendrait au niveau de celle de l'uranium en 300 ans seulement.

Qui finance le projet ?

Ses trois phases successives devraient demander de l'ordre de 1,6 milliard d'euros. Or dans le cadre de son programme ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*), la Commission européenne a reconnu Myrrha comme une grande infrastructure d'intérêt paneuropéen. Après que le gouvernement belge a déjà dépensé 200 millions d'euros pour lancer les études, il vient d'en débloquer 558 millions supplémentaires pour réaliser la première phase. Sur cette base, nous cherchons à intéresser de nombreux partenaires, à commencer par les grands pays que sont la France, l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni et le Japon. ■

ASTROPHYSIQUE

UN JET « SUPRALUMINIQUE » TRAHIT LA FUSION D'ÉTOILES À NEUTRONS

L'explosion à l'origine d'un sursaut gamma a engendré un jet de particules qui semblent se déplacer plus vite que la lumière. Or un tel jet est émis lors de la fusion de deux étoiles.

Le 17 août 2017, l'observatoire spatial *Fermi* détectait une puissante bouffée de rayons gamma en provenance de la galaxie NGC 4993, distante d'environ 130 millions d'années-lumière. Les caractéristiques de ce « sursaut gamma », noté GW170817, suggèrent qu'il résulte de la fusion de deux étoiles à neutrons. Mais comment en être sûr ?

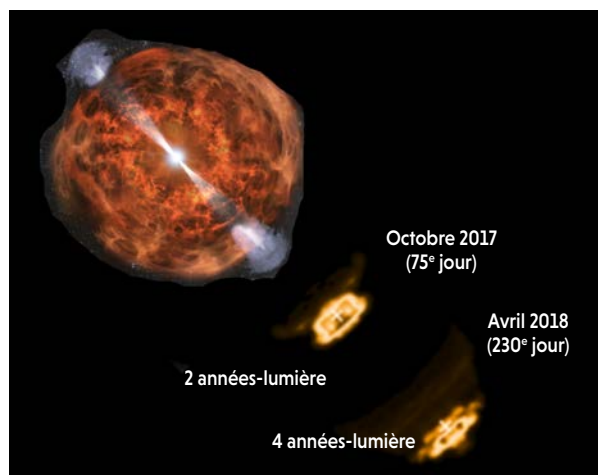
En observant l'émission en ondes radio qui a suivi le sursaut gamma, l'équipe de Kunal Mooley, de l'Institut de technologie de Californie, a mis en évidence que la région à l'origine de cette émission s'est déplacée à une vitesse apparente supérieure à celle de la lumière. Or seule la présence d'un jet de matière relativiste – progressant à une vitesse proche de celle de la lumière – peut expliquer un tel phénomène. Et comme, d'après les théoriciens, la fusion d'étoiles à neutrons s'accompagne de l'émission d'un jet de matière très rapide et très étroit, l'observation d'un jet relativiste associé au sursaut gamma indique qu'il s'agit bien ici d'une fusion d'étoiles à neutrons.

Les sursauts gamma comptent parmi les événements les plus lumineux de l'Univers. On pense qu'ils sont dus à l'effondrement d'une étoile en un trou noir, ou à la fusion d'objets compacts tels que des étoiles à neutrons. D'une durée allant de quelques millisecondes à plusieurs heures, le pic de rayonnement initial est en général prolongé par des émissions rémanentes à des longueurs d'onde plus grandes, qui persistent parfois plusieurs centaines de jours après le sursaut.

La relative proximité du sursaut gamma GW170817 a permis à l'équipe de Kunal Mooley d'observer en détail son émission radio rémanente 75 et 230 jours après l'événement, à l'aide des radiotélescopes de Green Bank, VLA et VLBA. Ces observations révèlent que durant ce laps de temps, la source radio semble avoir parcouru 2 années-lumière, c'est-à-dire s'être déplacée... 4 fois plus vite que la lumière !

Cette vitesse supraluminique est cependant une illusion d'optique, classique en astronomie. Elle se produit lorsqu'une source de rayonnement se déplace à une vitesse avoisinant celle de la lumière dans une direction proche de celle de l'observateur. La source étant presque aussi

Cette vue d'artiste illustre le déplacement de la source radio associée au sursaut gamma GW170817. Durant les 155 jours qui séparent les deux observations, elle a semblé se déplacer de 2 années-lumière, soit 4 fois plus vite que la lumière. Cette illusion résulte du fait que le jet de matière à l'origine de l'émission radio est dirigé vers la Terre et se déplace presque à la vitesse de la lumière.



4 fois

LA VITESSE
DE LA LUMIÈRE :
TELLE EST LA
VITESSE APPARENTE
DE LA SOURCE RADIO
ASSOCIÉE AU
SURSAUT GAMMA
GW170817.

rapide que la lumière qu'elle émet, les photons émis au 230^e jour arrivent sur Terre peu après ceux émis au 75^e jour, donnant l'illusion d'un intervalle de temps bien plus court, et donc d'un déplacement plus rapide de la source.

Par conséquent, les chercheurs voient dans cette situation la signature d'un jet de particules relativiste et très directionnel. Leurs simulations suggèrent que le jet a une ouverture inférieure à 5 degrés, que sa vitesse atteint 97 % de celle de la lumière, et qu'il est vu depuis la Terre avec un angle d'environ 20 degrés.

Kunal Mooley et ses collègues proposent le scénario suivant : la fusion de deux étoiles à neutrons a entraîné une explosion cataclysmique qui a propulsé une enveloppe de débris dans l'espace. Le trou noir résultant de la fusion a commencé à accrétier de la matière, donnant naissance à deux jets de part et d'autre du disque d'accrétion. L'interaction des jets avec les débris a engendré un « cocon » de matière en expansion. La collision de celui-ci avec le milieu interstellaire serait l'origine de l'émission radio rémanente durant les premiers mois, après quoi le jet serait sorti des ejecta, devenant alors la source radio dominante. ■

LUCAS STREIT

K. P. Mooley et al., *Nature*, vol. 561, pp. 355-359, 2018

POULPE SOUS ECSTASY

La MDMA, la molécule de l'ecstasy, est un psychotrope connu pour ses effets socialisants chez l'humain. Les Américains Eric Edsinger et Gül Dölen ont montré que la pieuvre à deux points de Californie, une espèce solitaire et asociale, va plus avec ses congénères sous l'influence du psychotrope. Celui-ci se fixerait sur une protéine proche d'un récepteur humain de la sérotonine, un neurotransmetteur. La sérotonine régulerait donc les comportements sociaux depuis longtemps – avant la séparation des lignées des humains et des pieuvres, il y a plus de 500 millions d'années.



APELINE CONTRE SARCOPÉNIE

La diminution des capacités musculaires due à l'âge, la sarcopénie, est l'une des causes de la perte d'autonomie des personnes âgées. S'il n'existe pas encore de stratégie efficace pour la stopper ou l'inverser, un espoir est désormais porté par l'apeline – une hormone que produisent notamment les muscles lorsqu'ils se contractent – grâce aux travaux de Claire Vinel, de l'Institut des maladies métaboliques et cardiovasculaires (Inserm, université Paul-Sabatier), à Toulouse, et de ses collègues.

«Nous avons mis en évidence que l'apeline améliore l'état des mitochondries, les usines énergétiques des cellules. Comme le vieillissement implique une altération de ces organites, nous nous sommes penchés sur l'effet de l'apeline sur les cellules des personnes âgées», explique Cédric Dray, qui a dirigé l'étude avec Philippe Valet. L'équipe a ainsi montré que plus le muscle est actif, plus il produit d'apeline. Mais à mesure que l'âge progresse, les muscles

perdent leur capacité à la produire. L'équipe a donc administré de l'apeline à des souris âgées. Leurs muscles ont gagné en masse et leurs performances ont augmenté. Ces éléments permettent d'envisager l'apeline à la fois comme un outil diagnostique de la sarcopénie et comme une solution pour son traitement.

Mais comment l'apeline joue-t-elle un rôle bénéfique sur les muscles? L'équipe a montré qu'elle stimule le métabolisme cellulaire en favorisant à la fois la genèse des mitochondries, l'autophagie (un processus qui fait le «ménage» dans la cellule) et la synthèse de protéines. Elle stimule aussi la régénération des myofibrilles à partir de cellules souches.

Des essais cliniques seront menés à partir de 2019 pour évaluer l'efficacité de l'apeline sur la sarcopénie humaine, et une pilule devrait être disponible dès l'année prochaine. Mais que les amateurs de biceps rebondissent ne se réjouissent pas trop vite: chez les souris jeunes qui produisent déjà naturellement de l'apeline, en rajouter n'améliore pas les performances musculaires. ■

ALINE GERSTNER

C. Vinel et al., *Nature Medicine*, vol. 24, pp. 1360-1371, 2018

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs
formation
entreprises

Organisme
de formation continue



250 formations technologiques courtes proposées
par le CNRS dans ses laboratoires de recherche
pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens



Domaines de formation

Big data et IA, génie logiciel, sciences de l'ingénieur, chimie, biologie, microscopie, urbanisme, enjeux sociétaux... et plus encore

+ de **1300 stagiaires** formés chaque année



Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr



contact : cfe.contact@cnrs.fr ou +33 (0)1 69 82 44 55

[@CNRS_CFE](https://twitter.com/CNRS_CFE)