

le canal s'ouvre, un flux d'ions entrent dans le neurone et le polarisent, ce qui crée un signal électrique. En d'autres termes, si des neurones non photosensibles sont encore présents dans la rétine, ce qui est souvent le cas dans ces maladies, il «suffit» de les cibler avec un tel gène pour les rendre photosensibles.

C'est l'approche qu'une équipe internationale autour de José-Alain Sahel, de l'Institut de la vision, à Paris, et Botond Roska, de l'université de Bâle, en Suisse, développe depuis plus de dix ans et dont le premier essai clinique vient de fournir un succès prometteur: l'équipe a partiellement restauré la vision d'un patient de 58 ans atteint de rétinopathie pigmentaire et dont la vision se limitait à la perception de la lumière.

Dans l'œil le plus atteint du patient, l'équipe a injecté le gène d'une channelopsine (la rhodopsine-canal ChrimsonR) produite par l'algue *Chlamydomonas noctigama*. Cette protéine a l'avantage d'être sensible à la lumière ambrée (590 nanomètres), plus sûre pour l'œil que les autres channelopsines exploitables, de longueurs d'onde plus proches du bleu.

Après une phase de stabilisation de près de cinq mois, le patient a commencé à apprendre à utiliser les lunettes spéciales qui complètent le dispositif. Ces lunettes amplifient le signal en captant les scènes visuelles à l'aide d'une caméra qui les convertit, pixel par pixel, à la longueur d'onde perçue par la channelopsine.

Après sept mois d'entraînement, le patient a rapporté des signes d'amélioration visuelle. Sa vue reste encore sous le seuil légal de cécité, mais il est désormais capable de localiser, compter et toucher des objets, et de voir les passages piétons. L'essai se poursuit avec six autres patients qui ont déjà reçu l'injection, et des pistes sont explorées pour améliorer l'acuité visuelle.

La thérapie optogénétique est d'ailleurs explorée dans d'autres domaines, comme la compensation des pertes auditives, l'atténuation des douleurs neuropathiques ou l'activation de régions du cerveau endommagées par un traumatisme. L'optogénétique n'a pas fini de faire parler d'elle. ■

Marie-Neige Cordonnier

J.-A. Sahel et al., *Nature Medicine*, en ligne le 24 mai 2021

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Tchernobyl : un regain d'activité surprenant

Les systèmes de surveillance de la centrale de Tchernobyl montrent une augmentation récente du flux de neutrons, signe possible d'une activité de fission accrue dans les débris. Igor Le Bars, de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire), fait le point sur la situation.



Propos recueillis par Sean Bailly

IGOR LE BARS
directeur de l'expertise
de sûreté à l'IRSN

Tchernobyl est revenu dans l'actualité. Pourquoi ?

Les détecteurs installés autour d'un local de la centrale contenant plusieurs dizaines de tonnes de corium, un mélange de combustible nucléaire et de divers matériaux du cœur fondu, ont enregistré une augmentation d'environ 50 % du flux de neutrons en quatre ans. Cela peut indiquer une augmentation des réactions de fission en chaîne se produisant dans le corium.

Avait-on déjà observé des variations de ce flux ?

En 1990, quatre ans après l'accident de Tchernobyl, le flux s'était accru d'un facteur 60 en quelques jours. Durant les semaines précédentes, il avait beaucoup plu et le sarcophage construit pour isoler les restes de la centrale n'était pas étanche. L'eau s'était donc infiltrée jusque dans le corium. Or l'eau favorise les réactions de fission en chaîne. En effet, lorsqu'un noyau fissionne, il émet des neutrons dotés d'une grande vitesse. Ceux-ci réagissent peu avec d'autres noyaux. Mais en présence d'un modérateur (comme l'eau), les neutrons interagissent avec ce matériau, transfèrent une partie de leur énergie cinétique et ralentissent. Ils atteignent alors une vitesse optimale pour créer des réactions en chaîne. C'est le principe utilisé dans les réacteurs, mais il peut survenir naturellement.

Pour empêcher un emballement des fissions, en 1990, les autorités avaient injecté du nitrate de gadolinium, un « poison neutronique » qui absorbe les neutrons et bloque les réactions en chaîne.

Quel était le risque ?

Le risque est l'accident de criticité. Si l'on atteint un régime où, en moyenne, la fission d'un noyau entraîne la fission d'au moins un autre noyau, la croissance de neutrons devient exponentielle. Cela ne conduit pas à une explosion, car plusieurs phénomènes dans le matériau agissent comme des contre-réactions.

Mais on a alors une émission intense de rayonnements, qui peut être brève ou durer plus longtemps. Près de 60 accidents de ce type ont été répertoriés, dans l'industrie ou des laboratoires. Le dernier date de 1999, sur le site de Tokaimura au Japon, et a persisté vingt heures.

La situation actuelle est-elle du même type ?

Non, l'évolution est trop lente pour penser que ce local de Tchernobyl est le siège d'un accident de criticité. Reste à comprendre ce qui se passe. La nouvelle structure qui couvre le réacteur depuis 2016 est étanche. Il y a donc *a priori* un assèchement des locaux. On peut penser que, avant, il y avait tellement d'eau qu'elle absorbait une partie des neutrons. Avec l'assèchement du matériau, on tendrait progressivement vers un taux d'humidité optimal pour modérer les neutrons et ainsi favoriser les réactions en chaîne.

Une autre possibilité est encore liée à l'eau. Les détecteurs sont assez distants du local et les neutrons traversent plusieurs murs pour les atteindre. Or, si l'eau des murs s'évapore, les neutrons seraient un peu moins ralentis, pénétreraient plus loin et seraient plus nombreux à produire un signal dans les détecteurs.

Quelles sont les conséquences pour la suite ?

Si cette situation n'est pas inquiétante dans l'immédiat, il faut la suivre. L'augmentation de l'activité radiologique est un problème pour les projets de démantèlement de la centrale et du premier sarcophage. Par ailleurs, les conditions pourraient évoluer et s'approcher de celles d'un accident de criticité. La priorité est donc de comprendre ce qui se passe. Or nous manquons d'informations pour expliquer précisément la hausse du flux de neutrons. La zone est très radioactive et même envoyer des robots d'exploration est difficile, les composants électroniques étant vulnérables aux neutrons. ■

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

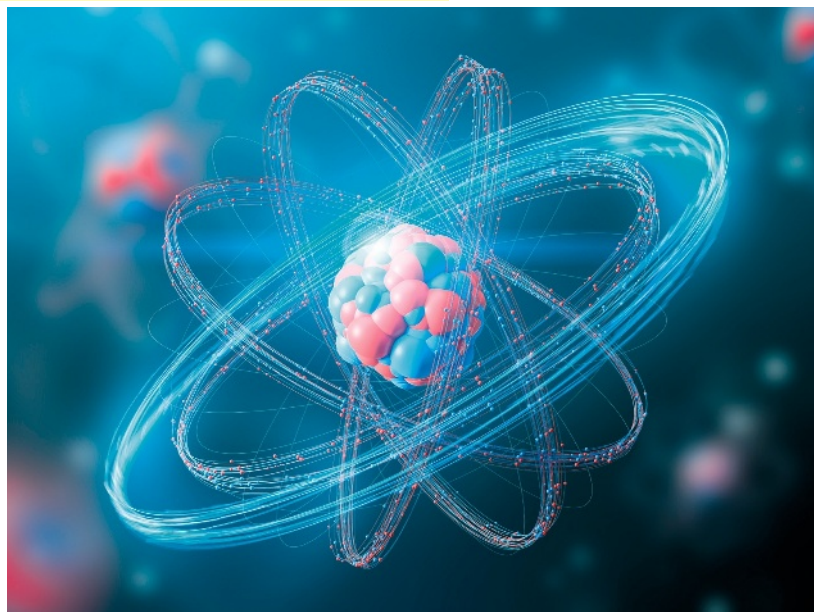
L'ÉPAISSEUR DE LA PEAU DU NOYAU DE PLOMB MESURÉE

La meilleure connaissance de la structure du noyau de plomb permet de mieux comprendre celle des étoiles à neutrons.

Certaines mesures portant sur des échelles infimes, de l'ordre du femtomètre (10^{-15} mètre), ont des répercussions à des échelles astronomiques. Dans la vision simplifiée du noyau d'un atome, ses composants (les protons et les neutrons) s'y répartissent de façon aléatoire. Or, dans les noyaux lourds, les neutrons, souvent plus nombreux que les protons, subissent une pression qui les repousse légèrement vers la périphérie du noyau. Ce dernier présente donc une couche superficielle riche en neutrons, sa «peau». La collaboration Prex, menée par Kent Paschke, de l'université de Virginie, aux États-Unis, a utilisé les installations du laboratoire américain Jefferson pour mesurer l'épaisseur de cette couche externe dans le noyau de plomb 208, un isotope stable comportant 82 protons et 126 neutrons. Cette donnée révèle certaines conditions qui règnent dans le noyau, mais qui, à d'autres échelles, influent aussi sur la structure des étoiles à neutrons.

La distribution des protons dans les noyaux est bien étudiée depuis plusieurs décennies. En effet, dans les expériences de diffusion dite «élastique», un faisceau d'électrons bombarde un noyau dont les protons, chargés électriquement, dévient les électrons de leur trajectoire. L'analyse de cette diffusion permet de déterminer la répartition des protons et notamment le rayon de la sphère qu'ils occupent.

Cette méthode ne peut pas s'appliquer à la distribution des neutrons qui, comme leur nom l'indique, ne portent pas de charge électrique. La collaboration Prex s'est donc appuyée sur une autre force fondamentale, l'interaction faible. Les électrons sont susceptibles d'être déviés par les neutrons en échangeant des bosons Z, particules vectrices de l'interaction faible. Les chercheurs ont mesuré la différence entre la diffusion d'électrons de polarisation «droite» et celle des électrons de polarisation «gauche», c'est-à-dire dont le spin est orienté respectivement dans le sens du mouvement ou à l'opposé. La valeur de cette asymétrie, due à la nature de l'interaction faible, est directement reliée à la distribution des neutrons.



Au cœur de l'atome, le noyau est souvent représenté comme un mélange désordonné de protons et de neutrons. En réalité, dans le cas des noyaux riches en neutrons, ces derniers sont soumis à une pression qui les repousse vers la périphérie, où ils forment une couche de faible épaisseur, la «peau» du noyau.

Les chercheurs ont ainsi obtenu un rayon de 5,8 femtomètres pour la distribution des neutrons dans le noyau. En soustrayant le rayon connu par ailleurs pour la distribution des protons, ils ont déduit que la peau du noyau de plomb 208 a une épaisseur de 0,283 femtomètre.

En quoi ce résultat est-il intéressant dans l'étude des étoiles à neutrons? La peau du noyau se forme du fait d'une «pression de symétrie», interne au noyau et due au principe d'exclusion de Pauli: celui-ci interdit que des particules identiques (de spin demi-entier), en l'occurrence les neutrons, occupent un même état quantique. Comme cette pression augmente avec la densité nucléaire, elle devient très forte dans une étoile à neutrons. Compte tenu de l'effet de peau, un tel astre pourrait ainsi être plus grand que ne le suggérerait sa seule masse. Dans un système binaire en coalescence, l'étoile à neutrons serait alors plus déformable, un comportement qui influencerait sur la forme des ondes gravitationnelles émises lors de sa fusion avec l'autre étoile. ■

Sean Bailly

D. Adhikari et al., *Physical Review Letters*, vol. 126, article 172502, 2021