

> Le tableau périodique est une manière pour les chimistes de cartographier le monde atomique. Il a été conçu au XIX^e siècle par le chimiste russe Dmitri Mendeleïev (mais aussi, indépendamment, par le chimiste allemand Julius Lothar Meyer). Il liste les éléments dans l'ordre de leur numéro atomique (qui correspond au nombre de protons que contient le noyau atomique) et les place dans des colonnes en fonction de leur réactivité chimique, c'est-à-dire de la façon dont ils réagissent avec d'autres atomes pour former des molécules.

À peine le tableau formulé, les chimistes ont commencé à se demander jusqu'où il s'étendait. L'élément le plus lourd trouvé dans la nature en quantités notables est l'uranium, dont le noyau contient 92 protons. Au-delà de ce nombre, chaque proton supplémentaire déstabilise le noyau : la répulsion électrostatique entre les protons (des charges positives) dépasse l'attraction due à l'interaction nucléaire – l'«interaction forte» – qui assure la cohésion du noyau atomique, et celui-ci se scinde ; c'est la fission du noyau.

La stabilité d'un élément donné ne se résume toutefois pas au nombre de protons qu'il renferme ; elle dépend aussi de l'organisation des protons et des neutrons dans le noyau atomique. Selon le modèle en couches du noyau développé à la fin des années 1940 par la Germano-américaine Maria Goeppert-Mayer et l'Allemand Hans Daniel Jensen (lauréats du prix Nobel en 1963), les deux types de particules remplissent ce qu'on appelle des couches nucléaires. Ces couches peuvent accueillir des nombres particuliers de protons et de neutrons, et sont analogues aux couches électroniques qui contiennent les électrons autour du noyau. Dans les deux cas, des couches complètement remplies garantissent une plus grande cohésion et assurent une meilleure stabilité.

PROTONS ET NEUTRONS : DES NOMBRES MAGIQUES...

Les physiciens ont conçu le modèle en couches quand ils se sont rendu compte que pour certains nombres «magiques» de protons ou de neutrons (2, 8, 20, 28, 50 et 82), les noyaux sont plus stables et plus difficiles à casser. Dans le modèle en couches, ces nombres magiques correspondent à des couches pleines. Les nombres magiques de protons et ceux de neutrons sont les mêmes, mais rien ne garantit qu'ils continueront à correspondre dans les futurs atomes que nous produirons. Un noyau dans lequel à la fois les couches de protons et celles de neutrons sont complètes est considéré comme «doublement magique».

Nous sommes encore loin d'avoir percé tous les mystères des nombres magiques. Quels seront les nombres magiques des

noyaux qui restent à découvrir ?, s'interrogent par exemple les physiciens. Selon certaines prédictions théoriques, un noyau superlourd comportant 114 protons et 184 neutrons serait doublement magique. Mais ce noyau demeure une vue de l'esprit : si nous avons produit l'élément 114 (nommé flérovium) en laboratoire, nous n'en avons pas encore obtenu une version à 184 neutrons. Or on prévoit qu'un tel isotope soit tellement stable que sa demi-vie approcherait l'âge de la Terre. Ce résultat théorique date des années 1960 et, à l'époque, suggérait pour la première fois l'existence d'un îlot de stabilité, notion qui a suscité une grande excitation dans la discipline et qui continue à nous motiver.

... DONT LES PROCHAINS SONT MAL CONNUS

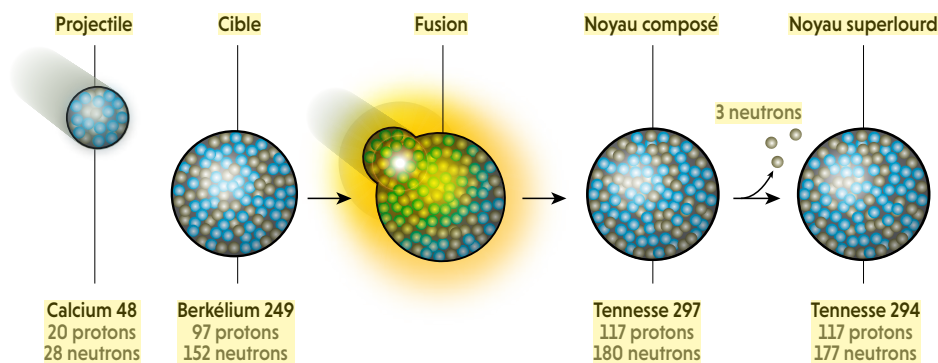
Mais la combinaison 114-184 est-elle vraiment magique ? Nous l'ignorons. D'autres modélisations théoriques du noyau prédisent, par exemple, des configurations associant 120 ou 126 protons et 172 neutrons. Pour certaines des prédictions relatives aux futurs nombres magiques, nous avons une dette envers Albert Einstein. C'est lui qui a expliqué le fait étonnant que la masse d'un atome est inférieure à la somme des masses des protons, neutrons et électrons qui le constituent. Sa célèbre formule $E=mc^2$ indique que le défaut de masse résultant de cette inégalité reflète l'énergie de liaison, l'énergie nécessaire pour assurer la cohésion du noyau. Autrement dit, en pesant des atomes de compositions différentes en neutrons et protons, nous pouvons identifier les configurations qui se traduisent par une cohésion plus forte (c'est-à-dire celles qui correspondent aux nombres magiques) et déterminer dans quelle mesure elles sont plus stables.

Quelle que soit la valeur des prochains nombres magiques, nous pensons que nous



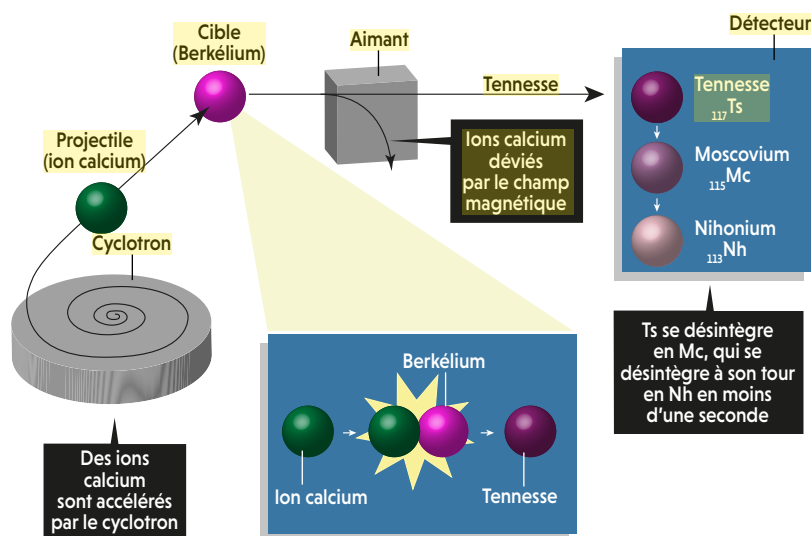
**Selon certaines
prédictions, le noyau
formé de 114 protons
et 184 neutrons serait
doublement magique**





CRÉER DES ÉLÉMENTS SUPERLOURDS

Pour synthétiser un nouvel élément superlourd, les physiciens accélèrent un noyau « projectile » sur un noyau « cible » afin que les deux se combinent. Pour surmonter la répulsion électrique entre les deux noyaux chargés positivement, le projectile doit avoir une vitesse d'environ un dixième de celle de la lumière. Propulsé à une telle vitesse, le projectile vient effleurer le noyau de la cible et la force nucléaire attractive prend alors le dessus. Dans l'exemple présenté ci-contre, les chercheurs ont produit l'élément 117, le tennessee, en fusionnant du calcium et du berkélium. Une fois la fusion effectuée, le « noyau composé » a perdu trois neutrons pour devenir le noyau superlourd de tennessee avec 117 protons et 177 neutrons. Le principe des expériences de l'équipe russo-américaine qui a obtenu pour la première fois un noyau de tennessee, en 2010, est schématisé dans le dessin du bas.



commençons à entrevoir l'îlot de stabilité. Les expériences les plus récentes ont démontré que la demi-vie des éléments superlourds qui sont produits maintenant en laboratoire augmente avec le nombre de neutrons, ce qui suggère que nous approchons du prochain nombre magique de neutrons.

Cette évolution est bien illustrée par le cas de l'élément 112, le copernicium (Cn) : alors que la variante de l'élément à 112 protons et 165 neutrons (le ^{277}Cn) ne dure que 0,6 milliseconde environ, la déclinaison plus lourde de 8 neutrons (le ^{285}Cn) a, elle, une longévité environ 50000 fois supérieure ! Cette tendance à davantage de stabilité se poursuivra vraisemblablement à mesure que l'on se rapprochera du centre de l'îlot de stabilité, mais jusqu'à quel point ? On l'ignore. En particulier, la question se pose de savoir s'il existe des éléments superlourds qui soient complètement stables et donc de durée de vie infinie.

La seule possibilité que de tels éléments existent a poussé certains à les chercher dans la nature. Car le fait que nous n'en ayons pas encore observé ne signifie pas qu'il n'y en ait pas des traces cachées... juste sous notre nez. De tels atomes auraient pu se former avec d'autres éléments plus lourds que le fer lors d'événements astronomiques puissants, tels

que la collision de deux étoiles denses appelées étoiles à neutrons, avant d'être dispersés dans l'Univers. Dans ce cas, ils pourraient être présents dans les rayons cosmiques qui nous parviennent de l'espace, ou dans des roches terrestres.

De nombreux scientifiques se sont lancés dans l'aventure avec l'aide de techniques variées. Certains sont partis, par exemple, à la recherche de l'élément 110 (le darmstadtium). Cet élément devrait être relativement stable quand il a 184 neutrons (un nombre magique) et présenter des propriétés chimiques similaires à celle du platine, son voisin du dessus dans le tableau périodique. Grâce à des méthodes telles que la spectrométrie de fluorescence des rayons X et la spectrométrie de masse, les scientifiques ont recherché le darmstadtium dans les minerais naturels de platine. Hélas en vain : si ces roches renferment de tels atomes, c'est à un taux inférieur à une partie pour un milliard.

DES ÉLÉMENTS SUPERLOURDS DANS LES ROCHES OU LES RAYONS COSMIQUES ?

Les physiciens ont également recherché des traces d'éléments superlourds dans les rayons cosmiques, par exemple au moyen de l'expérience UHCRE (*Ultra-Heavy Cosmic-Ray Experiment* ou Expérience pour les rayons cosmiques ultralourds) embarquée à bord du satellite LDEF (pour *Long Duration Exposure Facility* ou Équipement d'exposition de longue durée) de la Nasa, mais ils n'ont trouvé aucune preuve concluante de leur présence. Les efforts vont sans aucun doute se poursuivre, parce qu'une telle découverte aurait une grande importance sur le plan fondamental. De plus, l'identification de nouveaux éléments pourrait déboucher sur de nouveaux matériaux, dotés chacun de propriétés uniques, >