

QUESTION AUX EXPERTS

Saurons-nous bientôt exploiter la fusion nucléaire ?

Il est relativement facile de faire fusionner des noyaux atomiques, mais pas avec un solde énergétique positif. On s'en rapproche cependant.

Christine LABAUNE

Il y a quelques mois, plusieurs journaux rapportaient l'histoire d'un jeune Britannique de 13 ans qui aurait réalisé une expérience de fusion nucléaire. De façon générale, une telle expérience est assez simple : il suffit par exemple de projeter des ions légers sur une cible, après les avoir accélérés dans un champ électrique. Est-ce à dire que nous sommes près de savoir exploiter la fusion, qui fournit l'énergie des étoiles ?

Non, car les expériences de ce type ne créent que quelques réactions de fusion nucléaire et consomment bien plus d'énergie qu'elles n'en produisent. Pour parvenir à un solde énergétique positif, il faut considérablement augmenter la densité et la température du « combustible » utilisé, afin que la fusion puisse s'y développer.

Lors d'une réaction de fusion, deux noyaux atomiques légers s'associent pour produire un noyau plus lourd, ce qui libère de l'énergie. À quantité de matière équivalente, la fusion dégage environ deux millions de fois plus d'énergie qu'une réaction chimique telle que la combustion de pétrole. On cherche à exploiter la fusion nucléaire depuis plus de 60 ans, ce qui fournirait une énergie illimitée à partir de combustibles abondants et répartis sur toute la planète, sans risque d'explosion et presque sans déchets. Moins d'un gramme de combustible par an suffirait à satisfaire les besoins énergétiques d'une personne !

Les deux principales voies étudiées sont le confinement magnétique et le confinement inertiel. Dans la première, on chauffe un plasma

[gaz ionisé] à l'aide de faisceaux de micro-ondes et de particules, et on le confine avec un champ magnétique ; dans la seconde, on obtient le plasma en chauffant et en comprimant une capsule de diverses façons (souvent par un laser) dans une chambre de réaction.

En confinement magnétique, les principaux espoirs reposent sur ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), qui sera l'installation expérimentale de fusion la plus puissante jamais construite. Les premiers tests sont prévus pour 2022 et les premières réactions de fusion à partir de 2027.

Une étape importante

En confinement inertiel, deux très grandes installations laser ont été construites, le Laser Mégajoule (LMJ) en France et le *National Ignition Facility* (NIF) en Californie. Grâce à ce dernier, une étape importante a été franchie début 2014 : on s'est approché d'un solde énergétique positif, en obtenant de façon contrôlée un nombre record de réactions de fusion et un chauffage additionnel du cœur par les particules alpha (He^{2+}) produites dans ces réactions.

Le combustible choisi pour ces premières générations de machines est un mélange de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène. Leur fusion produit des particules alpha et des neutrons de haute énergie. La principale difficulté concerne les interactions de ces neutrons avec la matière environnante, potentiellement destructrices et encore mal



connues. Des études sont nécessaires pour fabriquer les matériaux capables d'arrêter ces neutrons et ainsi de récupérer leur énergie. C'est l'objet du projet IFMIF (*International Fusion Material Irradiation Facility*), au Japon.

D'autres réactions de fusion, telle celle d'un proton et d'un noyau de bore, produisent peu ou pas de neutrons. Mais leur exploitation nécessitera de nouveaux procédés. Le développement rapide des lasers, dont la puissance a été multipliée par 1 000 en dix ans, pourrait y contribuer. Lors d'expériences récentes, réalisées notamment à l'École polytechnique de 2011 à 2014, nous avons ainsi fait fusionner des protons et des noyaux de bore en accélérant un faisceau de protons avec de brèves impulsions laser et en le projetant sur une cible de bore.

D'ici quelques décennies, nous devrions pouvoir exploiter la fusion. Le délai dépendra des moyens mobilisés, qui ne sont aujourd'hui pas à la hauteur des enjeux (du moins pour la voie du confinement inertiel, où les grands lasers sont mobilisés pour des applications militaires liées aux bombes atomiques à fusion). En attendant, les recherches sur la fusion ont de nombreuses retombées scientifiques et technologiques. Elles pourraient bientôt avoir des applications pour le grand public, par exemple via le développement de techniques de production d'isotopes pour l'imagerie médicale. ■

Christine LABAUNE est directrice de recherche au CNRS et à l'École polytechnique, à Palaiseau.