

Un pas de plus vers la fusion nucléaire

> **Physique** Les chercheurs tentent depuis des décennies d'imiter la source d'énergie des étoiles

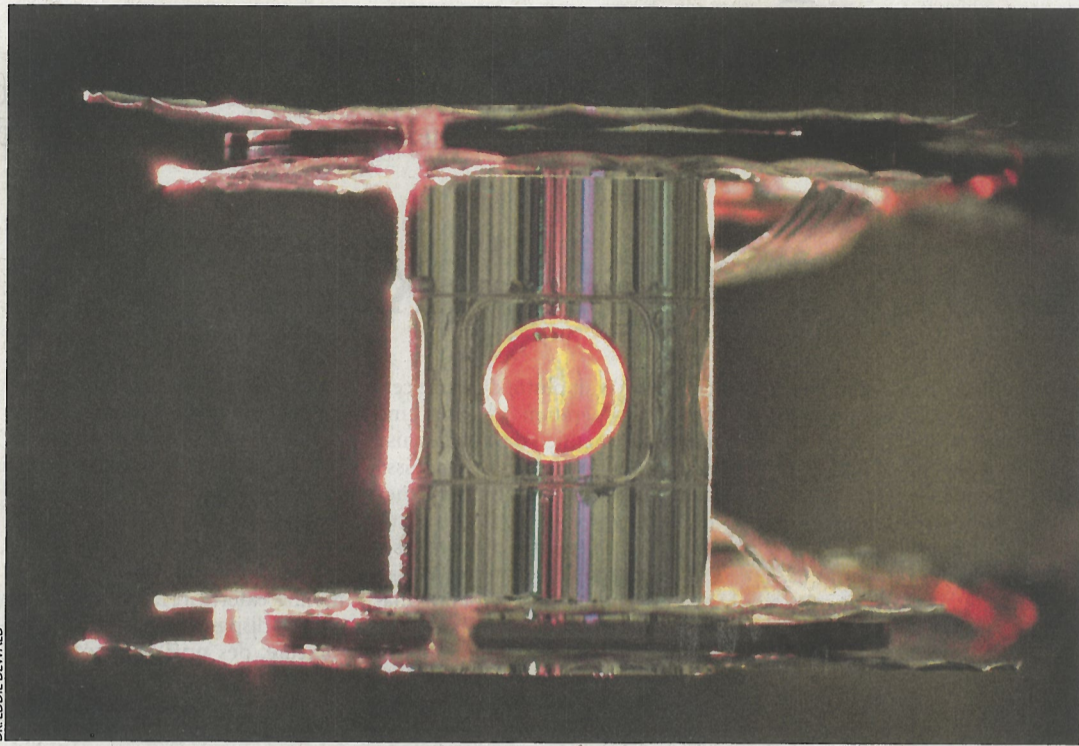
> Une équipe américaine a fait des progrès importants dans une des voies explorées

Lucia Sillig

Les étoiles se chauffent à la fusion nucléaire. Nous aimerions bien savoir faire la même chose: c'est beaucoup plus propre et sûr que la fission que nous mijotons à nos risques et périls dans nos centrales terrestres. Malheureusement, malgré plus d'un demi-siècle d'efforts, la science n'est pas encore parvenue à exploiter cette technologie, à part pour faire la bombe H. Selon les partisans du projet ITER (réacteur thermonucléaire expérimental international) en cours de construction à Cadarache, en France, les premiers réacteurs devraient venir nourrir le réseau électrique d'ici à 2050. Dans une filière concurrente, des chercheurs du Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), en Californie, annoncent aujourd'hui dans *Nature* avoir franchi une étape décisive.

La réaction que l'on appelle fission nucléaire consiste en un noyau atomique - en général de l'uranium - qui se scinde en deux, libérant de l'énergie. Pour la fusion, le dégagement d'énergie vient au contraire de deux noyaux qui s'assemblent. Les scientifiques travaillent pour l'instant surtout sur la fusion de deutérium et de tritium - deux formes (isotopes) de l'hydrogène -, car c'est la plus facile à mettre en place.

«Pour répondre aux besoins en énergie de l'Arc lémanique pendant une année, vous auriez besoin d'un stade de foot de charbon, d'une camionnette d'uranium, mais seulement du contenu d'une remorque de vélo pour enfant de combustible de fusion»,



Cylindre d'or contenant la capsule sphérique de combustible. 192 lasers pointent sur cette cible. ARCHIVES

souligne Ambrogio Fasoli, directeur du Centre de recherche en physique des plasmas de l'École polytechnique de Lausanne.

Cette réaction ne présente par ailleurs pas les mêmes risques que la fission puisque, en cas d'accident, elle est censée s'arrêter toute seule. Elle produirait certes des éléments radioactifs, mais ils ne le seraient que pour quelques dizaines d'années. Par ailleurs, le deutérium se trouve dans l'océan et le tritium peut être produit grâce aux neutrons issus de la réaction elle-même et du lithium, tel qu'on en trouve dans les batteries de nos téléphones portables. «Vu les faibles quantités nécessaires, on estime disposer de réserves de lithium pour 6 à 9 millions d'années et de deutérium pour 100 millions d'années...», sourit Ambrogio Fasoli.

Le gros problème, c'est que provoquer la fusion demande pour l'heure plus d'énergie qu'on n'en retire. Elle se produit en général à de très hautes pressions et températures, dans un état de la matière que l'on appelle plasma. Il faut trouver des moyens pour chauffer le combustible et le confiner. C'est là que les stratégies divergent. Le projet ITER utilise un

champ magnétique pour confiner les particules. Le LLNL a choisi, lui, la voie du confinement dit «inertiel». Le dispositif comprend 192 lasers pointés sur un cylindre en or de l'ordre du centimètre. Ce dernier contient une capsule sphérique en plastique de 2 millimètres de diamètre, contenant 70 millièmes de grammes de combustible.

«Pour la première fois, leur expérience a dégagé plus d'énergie que le combustible n'en avait reçu»

«Le rayon de la sphère doit encore être réduit 35 fois, comme si on passait d'un ballon de basket à un petit pois», explique un des auteurs, Debbie Callahan, du LLNL. Les chercheurs se sont rendu compte qu'il faut que cette compression se fasse le plus uniformément possible. «C'est comme essayer de comprimer un ballon de baudruche avec vos mains, il y aura toujours une partie qui s'échappera, relève Ambrogio Fa-

solli. Même avec 192 lasers, ça n'est pas assez. C'est pourquoi ils utilisent ce cylindre. Celui-ci transforme les rayons laser en rayons X qui compriment indirectement la capsule.»

En ajustant la montée en puissance des lasers, les chercheurs du LLNL ont obtenu de bons résultats. «Pour la première fois, leur expérience a dégagé plus d'énergie que le combustible n'en avait reçu», souligne Mark Herrmann, des Sandia National Laboratories d'Albuquerque, au Nouveau-Mexique, dans une mise en perspective également publiée par *Nature*.

Les physiciens ont obtenu jusqu'à deux fois plus d'énergie qu'ils n'en ont injecté dans le combustible, soit un rendement de 200%. Il s'agit toutefois d'un gain local, s'empresse de préciser un autre auteur, Omar Hurricane, du LLNL. Sur l'énergie totale fournie par les lasers, environ un dixième seulement passe au cylindre, qui n'en transmet à son tour qu'un dixième au combustible. C'est lors de cette dernière étape que le rendement a atteint 200%. Si l'on prend la globalité du système, il est plutôt de l'ordre de 1%. Mais il s'agit d'une étape incon-

tournable, disent les chercheurs, qui estiment qu'il y a de la marge d'amélioration, notamment du côté des matériaux utilisés pour les différents composants ou de leur géométrie.

Ils se réjouissent aussi d'un autre phénomène. La réaction produit notamment une particule alpha, une forme de rayonnement qui contribue à chauffer le plasma. Les scientifiques espèrent d'ailleurs atteindre un stade où celui-ci se chaufferait tout seul. Omar Hurricane souligne que, dans les expériences décrites, les particules alpha sont responsables de près de la moitié du rendement.

«Dans le domaine du confinement magnétique, celui sur lequel se concentrent les chercheurs en Europe et en Suisse, un gain local supérieur à 1 et alimenté par la réaction elle-même a été obtenu en 1997 déjà», commente Ambrogio Fasoli. Actuellement, le rendement global dans cette filière est toujours inférieur à 1; il est de 0,7, soit 70%. Le physicien estime que, pour un réacteur raccordé au réseau électrique, il faudrait atteindre un rendement de 3000%.

«Les résultats présentés dans *Nature* sont toutefois importants pour le domaine du confinement inertiel et pour la recherche sur la fusion en général, poursuit-il. Cela montre que différentes approches peuvent être intéressantes. Le potentiel est tellement énorme qu'il faut explorer toutes les pistes. Ces phénomènes à très haute pression dans des capsules qui sont en fait de mini-bombes concernent des états de la matière très exotiques. Plus on les comprend et on apprend à les dompter, plus cela montre que la théorie fonctionne. C'est aussi positif au niveau fondamental, pour la physique des plasmas dans l'espace - le noyau des étoiles, les trous noirs, etc.»

Le chercheur ajoute par ailleurs que les expériences de fusion par confinement inertiel, largement financées par le Département de la défense aux États-Unis, ont un autre intérêt pour les pays qui misent encore sur le potentiel militaire de cette technologie. Elles servent de modèle et remplacent avantageusement les tests grandeur nature dans les atolls du Pacifique.