



Bulletin n° 39 Septembre 2005

Le projet ITER

Editorial

L'annonce, le 28 juin dernier, de la décision de construire le réacteur de fusion ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) sur le site français de Cadarache, ainsi que le souci de l'approvisionnement futur en énergie dans le cadre de la raréfaction croissante des produits pétroliers, nous amènent à revenir sur le thème de la fusion thermonucléaire. Nous avons déjà abordé ce sujet à la fin de l'année 2000 (Voir Bulletin ADE No. 20, déc. 2000), mais le moment nous semble venu de faire le point. Aussi nous avons sollicité l'aide de M. Pierre-Jean Paris, adjoint à la Direction du Centre de Recherche en Physique des plasmas (CRPP) de l'EPFL, qui nous a fourni les informations ci-dessous.

Comment réaliser sur notre Terre une réaction de fusion

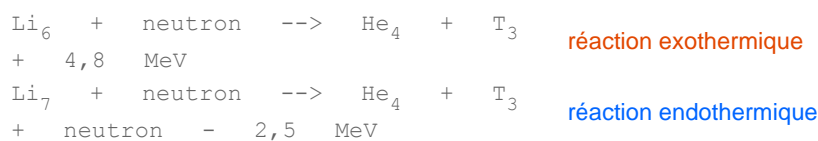
Dans les étoiles, le processus de fusion s'enclenche spontanément lorsque, sous l'effet des énormes forces gravitationnelles, la matière atteint des densités et des températures suffisantes. De telles conditions ne sont pas réunies sur la Terre, et il faut mettre en oeuvre des moyens importants pour provoquer une réaction de fusion. La technique la plus prometteuse consiste à fusionner du deutérium (D, hydrogène lourd de masse 2) avec du tritium (T, hydrogène de masse 3). La réaction a lieu au sein d'un plasma (gaz d'atomes ionisés), confiné par des champs magnétiques. La configuration permettant les meilleures performances est celle de la structure torique du tokamak, telle que nous l'avons présentée dans notre No. 20.

Les combustibles

La fusion d'un noyau de deutérium D_2 avec un noyau de tritium T_3 produit un noyau d'hélium He_4 , un neutron et de l'énergie. L'énergie libérée par la fusion d'un gramme de combustible est de l'ordre de 100 MWh (soit dix millions de fois plus qu'un gramme de pétrole).

Le deutérium est omniprésent dans la nature, dans l'eau (33 grammes par mètre cube), bien réparti sur le globe ($> 10^{13}$ tonnes).

Le tritium est une forme radioactive de l'hydrogène, qui n'existe pas dans la nature. Mais il peut être généré à partir du lithium, abondant dans la croûte terrestre (20 mg par kg) et dans les océans (0,18 mg par litre). Il existe sous forme de deux isotopes, le Li_6 (7,5 %) et le Li_7 (92,5 %). Les réactions sont les suivantes :



L'équation finale de la chaîne deutérium - lithium est donc :



Pour un réacteur de 1 '000 MWe, la consommation annuelle serait de 88 kg de deutérium et de 132 kg de tritium (236 kg de Li_6). A titre de comparaison, ceci équivaldrait à brûler 2 millions de tonnes de pétrole, ou 3,6 millions de tonnes de charbon !

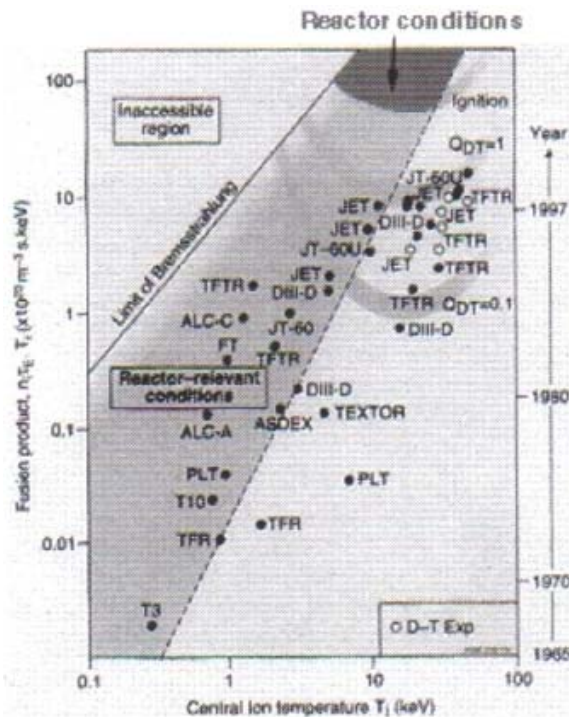
Le Tokamak

Ce type de machine a été développé par les scientifiques russes au milieu des années 1950, son nom étant l'acronyme de l'expression russe signifiant "chambre à vide toroïdale et bobine magnétique". Le plasma est confiné dans une enceinte torique par de puissants champs magnétiques, et chauffé par effet Joule (l'anneau de plasma constitue le secondaire d'un transformateur). Les températures atteintes (30 à 40 millions de degrés) ne sont encore pas encore suffisantes pour arriver à la fusion, et il faut mettre en oeuvre des moyens de chauffage additionnels, comme l'injection de particules neutres très énergétiques, ou par des ondes électromagnétiques à haute puissance à des fréquences bien choisies.

Les conditions de fusion

Pour qu'un réacteur D-T à confinement magnétique puisse produire une énergie utilisable, c'est à dire pour qu'il soit allumé et capable de fonctionner en régime continu, une condition doit être atteinte: le produit de la densité au centre du plasma n , du temps de confinement τ_E et de la température du mélange T_i (dit Produit de fusion) doit être supérieur à une valeur limite élevée :

$$\text{Produit de fusion : } n \tau_E T_i > 6 \times 10^{22} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{M}^\circ\text{K}$$



Cette condition, qui est celle de l'ignition, exige que l'énergie cédée par les particules d'hélium, sous-produit de la fusion, entretienne la réaction dans le combustible fraîchement injecté dans le tore. En 1970, nous étions à 1/30'000 de cette valeur, nous en sommes actuellement à 1/6 ! Un indice de performance des machines à fusion, dit facteur d'amplification (ou facteur de mérite Q), est le rapport entre la puissance produite par les réactions de fusion et la puissance de chauffage appliquée au plasma. La réaction est autoentretenu (Q élevé, idéalement infini) quand les pertes d'énergie du plasma sont compensées par son propre chauffage, dû à l'énergie des noyaux d'hélium, sous-produits de la réaction de fusion D - T.

Les progrès

Depuis 1970, début du programme Tokamak à l'échelle mondiale, les progrès ont été spectaculaires. En 1982, c'est sur ASDEX (à l'IIPP, Garching, D) que le mode à haut confinement énergétique a été découvert, doublant la performance des machines. Le JET (Joint European Torus), à ce jour le plus grand tokamak du monde, construit à Abingdon (UK) par l'ensemble des Associations européennes, est entré en fonction en 1983, et a obtenu une série de records mondiaux, dont la première fusion contrôlée D - T en 1991. En 1997, on est arrivé à 16 MW de puissance de fusion pendant deux secondes (Q = 0,65), et à 22 MJ d'énergie pendant 5 secondes.

De belles performances ont été également enregistrées avec les machines JT-60U (Japon, courant de plasma généré par des ondes) et TFTR (USA). En France, on a obtenu récemment sur le Tokamak TORE SUPRA, qui étudie le fonctionnement en régime quasi continu, un beau résultat avec la production, en 2003, d'un plasma performant pendant une durée record de 6 minutes et demi.

ITER

C'est une installation expérimentale, dont les partenaires sont la Communauté Européenne (plus la Suisse), la Fédération de Russie, le Japon, les Etats-Unis, la Chine et la Corée du Sud. L'Inde et le Brésil s'intéressent à entrer dans le partenariat.

La taille imposante (12,4 mètres de diamètre) de l'installation projetée obéit à une règle simple : plus la machine est grande, plus elle est efficace. Un plasma volumineux peut abriter de très nombreuses réactions de fusion, et donc dégager plus d'énergie. Celui d'ITER atteindra un volume de 840 m³, soit un volume 8 fois supérieur à celui de JET. En construisant ITER, machine mondiale, on devrait réussir à atteindre les conditions d'ignition, et un facteur d'amplification de l'ordre de 5 à 10.

Par ailleurs, ITER doit démontrer que les technologies nécessaires à un réacteur industriel, comme les supraconducteurs ou la télémanipulation, sont disponibles. Certains composants internes permettront également de réaliser des expérimentations de production de tritium à l'intérieur de la machine, indispensables pour valider cette technologie dans la perspective d'un réacteur industriel. De plus, le flux neutronique intense permettra des tests structurels de composants. Enfin, on pourra entreprendre les essais conceptuels nécessaires à l'extraction de la chaleur et la production d'électricité.

Les premières années seront consacrées à l'étude d'un plasma d'hydrogène et de deutérium. On passera ensuite au mélange deutérium-tritium, avec pour objectifs de générer une puissance de base de 500 MW en n'en injectant que 50 durant plus de 6 minutes, et de démontrer que les réactions de fusion peuvent être maintenues de façon quasi-continue pendant plus de 10

minutes.

Les retombées de l'implantation d'ITER à Cadarache, avec un budget global de 10 milliards d'euros sur 30 ans (environ 5 milliards d'investissement, 5 milliards de coût de fonctionnement, provisions pour le démantèlement comprises) sont multiples : social et culturel, économique et scientifique. ITER emploiera directement 500 personnes en moyenne durant la phase de construction (2007 à 2015) et 1000 personnes en moyenne durant l'exploitation (2015 à 2035). La recherche sur la fusion est une locomotive technologique qui favorisera l'émergence d'autres technologies, comme l'informatique ou la robotique. Elle agit comme un moteur pour l'industrie en permettant de faire progresser les connaissances des uns et des autres.

La suite de l'aventure

Un nouveau projet est sur le point d'être lancé par les partenaires d'ITER. Il s'agit d'IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility), dont le Japon pourrait être le pays d'accueil (en compensation de l'attribution d'ITER à l'Europe). Les buts de cette installation sont :

- les études consacrées à la couverture tritigène du cœur du réacteur avec refroidissement à l'hélium, études capitales pour le développement du cycle du tritium d'un réacteur à fusion,
- le développement des matériaux de structure à faible activation (aciers ferritiques et martensitiques à faible activation, type EUROFER) et les composites de carbure de silicium
- la sécurité et l'environnement,
- la réduction de la quantité de matériaux activés.

La génération suivante de machines de fusion après ITER sera celle d'un réacteur de démonstration ("DEMO - PROTO"), qui devrait être capable pour la première fois de produire des quantités importantes d'électricité et de s'autoalimenter en tritium. Une telle réalisation ouvrira la voie à la construction des centrales électriques à fusion.

Conclusion

La raréfaction des ressources fossiles est préoccupante : nous ne devons pas perdre de vue que celles-ci devront être remplacées d'ici 50 à 75 ans. Une démarche volontariste dans la recherche de ressources nouvelles nous paraît donc légitime, et l'objectif de démontrer la validité de la fusion dans 35 ans nous semble réaliste si les moyens adéquats sont mis à disposition et si l'effort est poursuivi sans relâche.

Les progrès récents réalisés dans la recherche en fusion thermonucléaire laissent entrevoir que le calendrier prévu pour la démonstration de la faisabilité scientifique sera tenu. Les recherches technologiques menées parallèlement à ITER, puis à PROTO-DEMO apporteront plus précisément l'approbation finale de la fusion comme étant une option énergétique compatible avec le développement durable, accessible et acceptée par la population.

La Suisse participe pleinement à cette grande aventure scientifique du 21^{ème} siècle à travers le Centre de recherches en Physique des Plasmas de l'EPFL, qui constitue l'Association Euratom-Suisse.

P.J Paris

Impressum : ADE Action Démocratique pour l'Energie, Genève, c/o Philippe Wiblé
Rue du Temple 8, 1236 Cartigny, tél. 022 756 16 65, fax 022 756 38 67
e-mail : wible@swissonline.ch

Bulletin trimestriel envoyé aux membres et amis de notre Association CCP Action Démocratique pour l'Energie:
12-12301-9

[Créé par pumaware](#)