

La fusion, solution d'avenir ?

Le projet ITER mise dessus – dix milliards d'euros.

Mark Westra

f La fusion – processus par lequel deux noyaux atomiques légers se combinent pour en former un plus lourd – est la source d'énergie du soleil et des étoiles.

L'objectif à long terme est d'exploiter ce processus pour aider à satisfaire les besoins énergétiques futurs de l'humanité. La fusion peut produire à grande échelle, sans nuire à l'environnement, une énergie sûre à l'aide de combustibles abondants et disponibles presque partout.

La recherche sur la fusion, à laquelle participent des chercheurs du monde entier, a énormément progressé ces dernières décennies. Les spécialistes de la fusion sont désormais prêts à franchir l'étape suivante et ont conçu l'expérience internationale ITER. Ce projet a pour but de montrer qu'on peut utiliser la fusion pour produire de l'énergie et obtenir les données nécessaires pour concevoir et exploiter la première usine de production d'électricité. Les participants – Parties – au projet sont la Chine, les États-Unis, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon, la République de Corée et l'Union européenne (incluant la Suisse et représentée par EURATOM).

La construction/exploitation de l'ITER est essentielle pour déterminer si l'humanité peut, avec profit, utiliser la fusion pour produire de l'énergie à grande échelle.

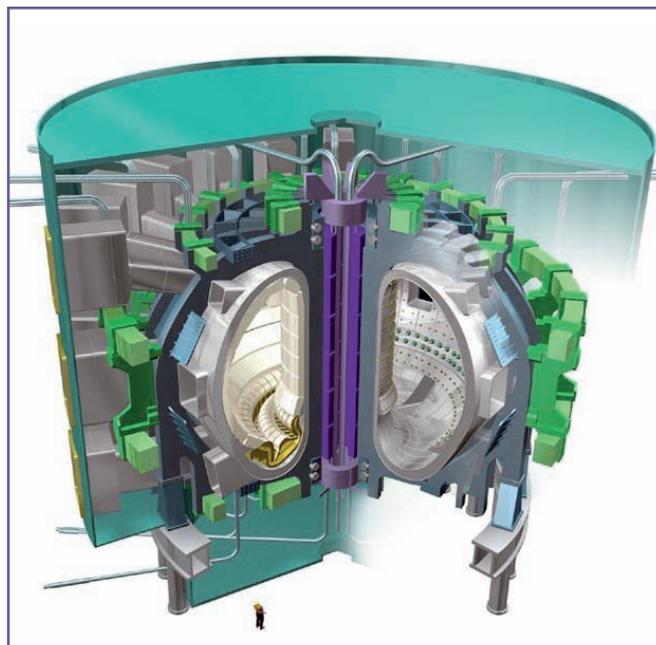
Un lancement rapide

Malgré d'importants progrès réalisés lors de vastes expériences de fusion menées dans le monde, principalement dans les années 80, il est rapidement devenu clair qu'on avait besoin, pour créer les conditions d'un réacteur de fusion et démontrer sa faisabilité scientifique et technique, d'un dispositif plus vaste et plus puissant. En conséquence, au début des années 80, chacun des programmes de fusion du monde a commencé à concevoir son propre modèle.

L'idée de l'ITER est née du sommet des superpuissances tenu à Genève en novembre 1985, au cours duquel M. Gorbatchev, à l'issue de discussions avec le Président Mitterrand, a proposé au Président Reagan la mise en œuvre d'un projet international visant à développer

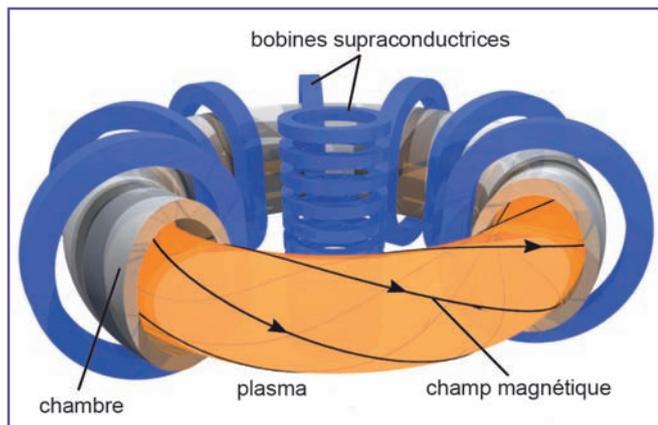
l'énergie de fusion à des fins pacifiques. Le projet ITER a alors été lancé sous la forme d'une collaboration entre l'ex-Union soviétique, les États-Unis, l'Union européenne et le Japon.

Depuis le début, le développement de l'ITER s'est effectué sous les auspices de l'AIEA, qui est désormais le dépositaire de l'Accord d'exécution conjointe du projet. Celui-ci bénéficie du soutien actif de l'Agence, qui, par exemple, organise tous les deux ans une Conférence



Depuis les premières études réalisées en 1998, le projet ITER a traversé plusieurs étapes avant d'aboutir, en 2001, au concept ci-dessus.

La représentation d'un homme au bas du schéma donne une indication de l'échelle (reproduit avec l'autorisation d'Eric Verdult, www.kennisinbeeld.nl).



Le principe de l'ITER : un plasma chaud (orange) confiné dans une chambre toroïdale par de puissants champs magnétiques générés par des bobines supraconductrices (bleues).

sur l'énergie de fusion et des Réunions de coordination technique consacrées notamment à l'ITER, et publie la documentation du projet et un bulletin mensuel.

Une production d'énergie accrue

Le but de l'ITER est de « démontrer la possibilité scientifique et technique d'utiliser l'énergie de fusion à des fins pacifiques ». À cette fin, il produira davantage d'énergie, mettra en œuvre les techniques essentielles de fusion dans un système intégré et testera les éléments clés requis pour utiliser la fusion comme source d'énergie fonctionnelle.

Des chercheurs étudieront les plasmas dans des conditions comparables à celles escomptées dans une centrale électrique à fusion. L'ITER produira sur de longues périodes 500 MW de puissance de fusion, soit dix fois l'énergie nécessaire pour maintenir le plasma à la bonne température. Il sera par conséquent le premier réacteur de fusion à produire de l'énergie nette. Il testera également plusieurs techniques essentielles – chauffage, commande, diagnostic et télémaintenance – qui seront nécessaires dans un réacteur de fusion réel. L'ITER testera et mettra également au point des moyens de produire du tritium à partir de lithium présent dans l'enveloppe qui entoure le plasma.

À la différence des concepts actuels de futurs réacteurs de fusion, l'ITER inclura la plupart des techniques nécessaires. Légèrement plus petit, il fonctionnera à environ un sixième de la capacité de production de ces concepts.

L'ITER

L'ITER se fonde sur le concept « tokamak », chambre en forme de beignet entouré de bobines produisant un champ

magnétique intense, dans lequel on crée et l'on maintient les conditions d'une fusion. Dans l'ITER, toutes les bobines magnétiques sont supraconductrices.

Un mélange combustible formé de deux isotopes d'hydrogène, de tritium et de deutérium est porté à une température supérieure à 100 millions de degrés. À cette température, certaines des particules du combustible fusionnent, créant un atome d'hélium et un neutron à chaque réaction. La majeure partie de l'énergie produite par la réaction de fusion est transportée vers la paroi par les neutrons. À l'intérieur de la paroi, les neutrons réagissent au contact d'une « enveloppe » contenant des atomes de lithium pour produire du tritium. La chaleur que les neutrons déposent lorsqu'ils sont ralentis par les collisions est évacuée par un fluide de refroidissement.

Pour que le plasma confiné produise plus d'énergie qu'il n'en faut pour le chauffer, il faut qu'il soit assez chaud, assez dense et confiné suffisamment longtemps. Pour atteindre ses objectifs, l'ITER sera deux fois plus grand que le plus grand tokamak existant – le tore européen commun (Royaume-Uni) – et il est prévu que ses capacités de fusion soient plusieurs fois supérieures. Ces hypothèses concernant la taille et la capacité de l'ITER constituent les principales incertitudes du projet.

L'Organisation ITER

Le projet ITER sera mis en œuvre par une nouvelle organisation internationale : l'Organisation ITER, basée à Cadarache, dans le sud de la France. Cette organisation sera chargée de tous les aspects du projet – autorisation, achats de matériel, mise en service et exploitation, et désactivation de l'ITER à la fin de sa durée de vie.

Cette organisation a été créée par l'Accord d'exécution conjointe du projet ITER, que les Parties ont signé le 21 novembre 2006 et que leurs parlements (lorsque la législation interne l'exige) ratifieront au cours de 2007.

Les membres de l'Organisation assumeront le coût de l'ITER. Son coût de construction est estimé à 5 milliards d'euros sur une dizaine d'années. Un montant similaire est prévu pour sa phase d'exploitation de vingt ans, qui suivra la phase de construction. Pendant la construction, 90% du montant des éléments sera versé par les Parties en nature, ce qui signifie qu'elles fourniront les éléments elles-mêmes au lieu de les payer. L'Europe, Partie hôte, assumera près de la moitié du coût de construction, les six autres Parties contribuant à hauteur de 10%, ce qui constituera, dans le présent financement, une provision de 10% pour imprévus.

Pour gérer et apporter sa contribution au projet ITER, chaque Partie crée actuellement sa propre agence nationale, chargée de livrer au projet les éléments qui lui incombent.

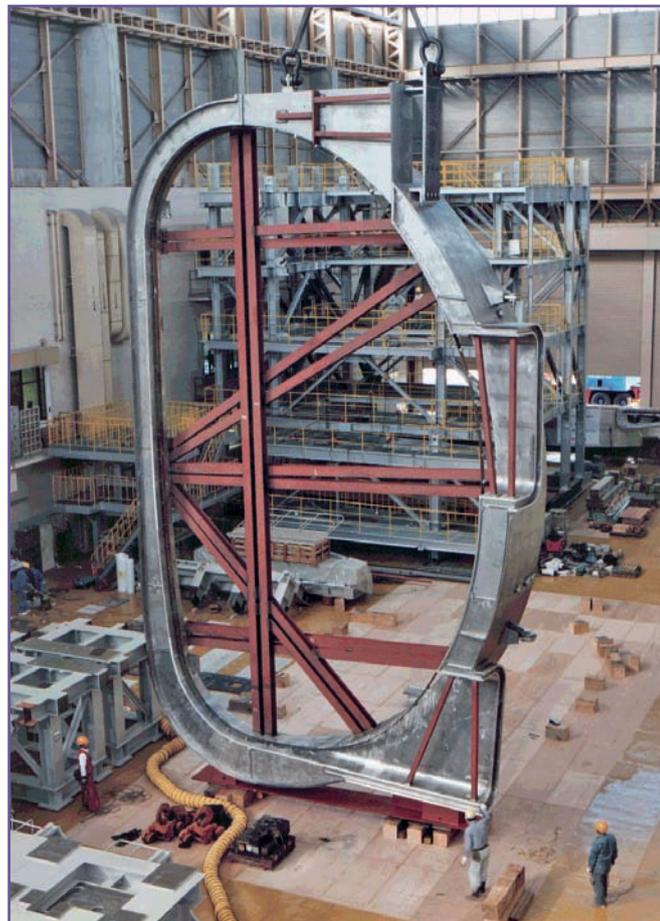
Le lieu d'implantation de l'ITER, après de longues délibérations, a finalement été fixé en 2005. Le

28 juin 2005, il a officiellement été annoncé que l'ITER serait construit dans l'Union européenne, sur le site de Cadarache, près d'Aix-en-Provence, dans le sud de la France. Le site de Cadarache occupe une superficie totale d'environ 180 hectares.

Le Directeur général du projet ITER est Kaname Ikeda, ancien Ambassadeur du Japon en Croatie et directeur de l'Agence nationale japonaise de développement spatial. Le responsable de la construction est Norbert Holtkamp (Allemagne), ancien Directeur des systèmes d'accélérateurs à la Source de neutrons de spallation d'Oak Ridge (États-Unis). Les chefs de départements sont en place et les équipes se constituent rapidement. Les autres sites où étaient menées des activités de l'ITER – Garching (Allemagne) et Naka (Japon) – ont été fermés à la fin de 2006.

Objectif 2016 : premier plasma

À l'issue d'études de plus en plus poussées, la conception de l'ITER était, en 2001, suffisamment avancée pour



De nombreux éléments et techniques nécessaires à l'ITER ont déjà été testés par l'industrie, comme cette section de la chambre tokamak, produite au Japon (reproduction autorisée par l'IJREA)

que les futures Parties potentielles puissent discuter du partage du coût de construction du matériel. Cette conception est en train d'être affinée pour que l'achat du matériel puisse commencer dès que possible, maintenant que l'Organisation ITER (qui possédera et construira l'ITER pour les Parties) fonctionne à titre provisoire. Cet examen devrait aboutir, cette année, à la production d'une nouvelle conception de base de l'ITER.

L'Organisation ITER ayant été créée à la fin de 2006 et l'accord étant provisoirement appliqué dans l'attente de sa ratification, les procédures d'autorisation et de nivellement du site débiteront en 2007 et une demande de permis de construire sera déposée à la fin de l'année. Une enquête publique sera réalisée en 2008 afin d'obtenir un permis de construire vers la fin de l'année. Si ce calendrier est respecté, la construction pourra véritablement débuter en 2009 et le premier plasma être produit en 2016. Il s'ensuivra une phase de mise en service et d'exploitation qui durera une vingtaine d'années, puis une phase de déclassement de cinq ans.

Vers l'énergie de fusion

L'ITER n'est pas une fin en soi : il est un tremplin vers un premier réacteur qui pourra produire à grande échelle de l'électricité. Le but à long terme de la recherche sur la fusion est de créer des prototypes de réacteurs capables de fonctionner en toute sûreté, respectueux de l'environnement et économiquement viables. Pour y parvenir, on mettra en œuvre plusieurs éléments : tout d'abord, la construction de l'ITER, puis celle d'un réacteur de démonstration appelé DEMO.

Parallèlement à la réalisation de l'ITER, il faudra encore améliorer les techniques et les concepts si l'on veut construire un réacteur commercial produisant de l'électricité. Il faudra, en particulier, progresser dans la qualification nucléaire de matériaux de structure résistant à de hautes températures et à faible activation, nécessaires pour réutiliser dans un délai raisonnable les déchets radioactifs provenant d'un réacteur de fusion. Cela devrait se faire dans le cadre d'une « démarche élargie » qui inclurait plusieurs éléments dont l'ITER et dont le but serait de faire le plus rapidement possible de la fusion une source d'énergie.

Le réacteur DEMO devrait démontrer qu'il peut produire de l'électricité à grande échelle et assurer son autonomie en tritium. Il devrait entrer en service 30 à 35 ans après le début de la construction de l'ITER. Il conduira la fusion dans l'ère industrielle et ouvrira la voie aux premiers réacteurs commerciaux à fusion.

Mark Westra (mark.westra@iter.org) est Directeur par intérim de la Division des relations publiques de l'ITER, à Cadarache (France). Renseignements : www.iter.org