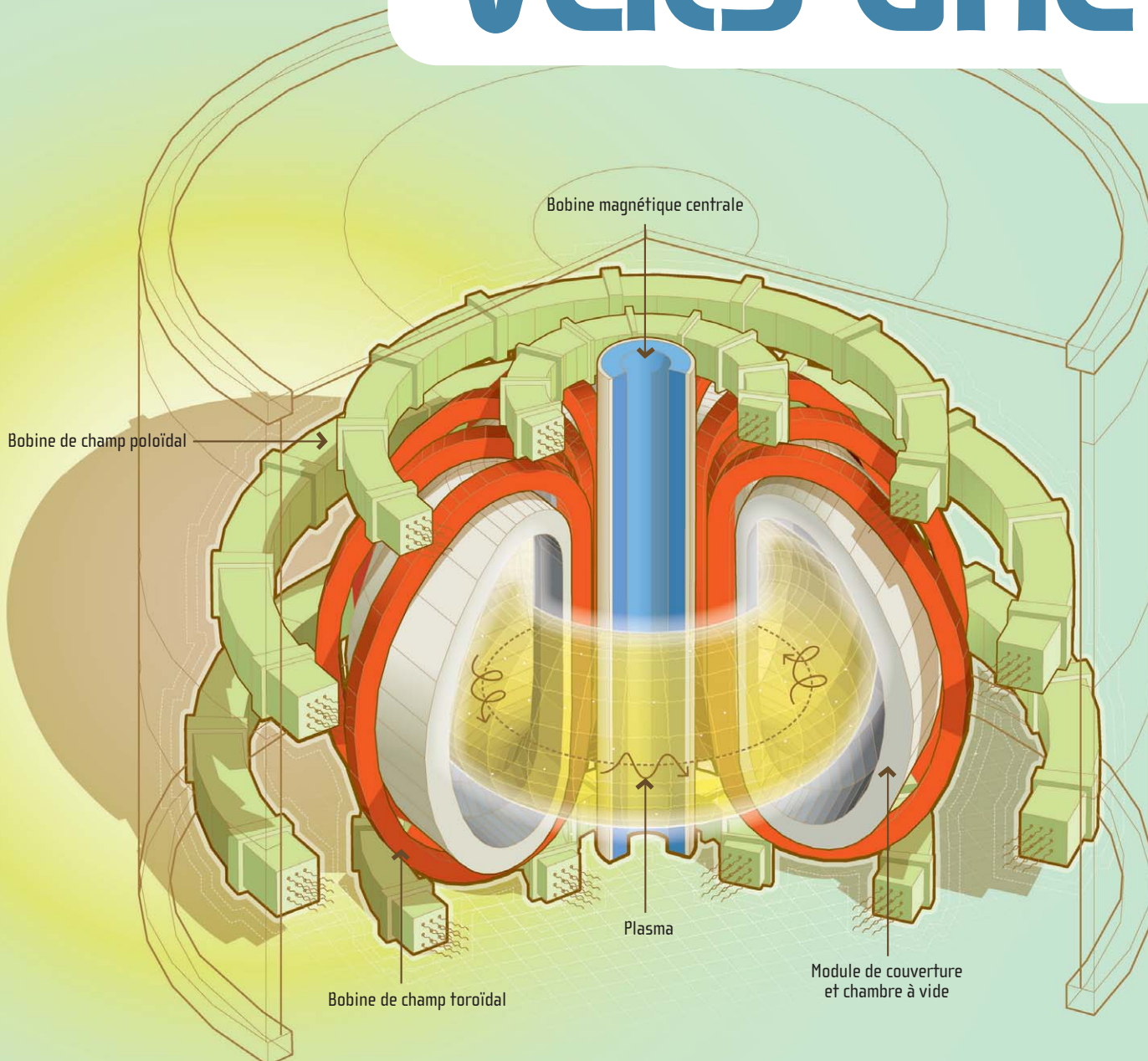




ITER, un réacteur VERS UNE ÉN



À SAVOIR

ITER, première étape vers un réacteur thermonucléaire pour la fin du xx^e siècle

La combustion thermonucléaire au sein du plasma est confinée par les puissants champs magnétiques des aimants supraconducteurs. L'énergie de fusion (chaleur) est récupérée en périphérie de l'enceinte de confinement par un circuit d'eau transformée en vapeur. Celle-ci actionne un alternateur qui produit de l'électricité.

expérimental de fusion

ÉNERGIE ILLIMITÉE ?

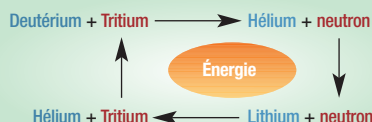
Avec le projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), la communauté internationale nourrit l'espoir de reproduire sur Terre la fusion entre les atomes d'hydrogène, ressemblant à celle qui se déroule dans le Soleil, et qui fait de celle-ci une source d'énergie gigantesque et quasi inépuisable.

Réalisée naturellement dans le Soleil par l'important confinement gravitationnel qui y règne, la fusion thermonucléaire peut être réalisée sur Terre par confinement inertiel¹ ou par confinement magnétique, fondement technologique du projet ITER.

Les atomes sont agités de telle façon que leurs noyaux peuvent se rapprocher en franchissant la barrière électrostatique pour ensuite fusionner. Ceci ne peut être réalisé qu'après avoir chauffé les atomes à plusieurs millions de degrés, les portant à l'état de plasma (cf. encadré "Le saviez-vous?" p. 14). Cette réaction nucléaire est exothermique et s'accompagne d'un très grand dégagement d'énergie.

Le combustible « idéal » existe sur Terre : il s'agit du deutérium et du tritium, deux isotopes de l'hydrogène. Leur fusion crée un noyau plus lourd (hélium) plus un neutron, et, surtout, le dégagement d'énergie recherché. Mais si le deutérium, extrait de l'eau de mer, est largement disponible dans la nature, ce n'est pas le cas du tritium. Un apport complémentaire de cet élément est donc indispensable. On le produit à partir du lithium, un métal abondant dans la croûte terrestre, qui devient lui-même

« tritigène » (producteur de tritium) lorsqu'il est bombardé par des neutrons. ITER est un réacteur expérimental qui préfigure un futur réacteur industriel. Il permettra de tester la capacité tritigène qu'offre une paroi métallique contenant du lithium (sous forme solide ou liquide), d'exploiter la réaction nucléaire et provoquer la production de tritium et d'énergie (voir schéma ci-dessous). Le complément de tritium ainsi produit est alors réinjecté dans le plasma et permet à celui-ci d'entretenir de lui-même la réaction de fusion. Certains composants d'ITER ont pour objet de valider ce concept.



La fusion, une question de confinement

ITER est une chambre de confinement (appelée également tokamak³) en forme de tore (un peu comme une chambre à air), entourée d'un dispositif d'aimants supraconducteurs (verticaux et horizontaux). Ceux-ci créent un jeu de champs magnétiques fermés sur eux-mêmes en forme d'hé-

lice, autour desquels viennent circuler des particules piégées de deutérium et de tritium. Celles-ci y développent une énergie cinétique suffisante pour atteindre l'état de plasma. Un chauffage additionnel est cependant nécessaire pour déclencher la réaction. Créé par l'injection de particules neutres et des courants de radiofréquences élevées, ce chauffage augmente l'énergie cinétique du plasma qui atteint « l'ignition » (amorçage de la réaction nucléaire). La fusion thermonucléaire s'entretient alors d'elle-même, comme c'est le cas dans le Soleil.

Une approche pragmatique, une organisation inédite

ITER constitue un maillon essentiel des recherches en direction de la fusion contrôlée, en vue d'un déploiement à l'échelle industrielle à la fin de ce siècle. Les avantages nombreux et bien identifiés de la fusion – ressource de combustible abondante, risque intrinsèque quasi inexistant, faible production de déchets pouvant être pris en charge, pour la plupart, dans les filières de gestion ou de traitement existantes, absence d'émission de gaz à effet de serre, non-prolifération... – en font une solution de choix. ▶▶



► Mais il reste à lever un certain nombre d'obstacles techniques et à sélectionner les meilleures technologies. Ces enjeux ont donc poussé les communautés scientifiques et industrielles internationales – efficacement relayées par les pouvoirs publics en termes de financement – à regrouper leurs efforts et leurs compétences au sein d'une structure originale autant qu'inédite : ITER *International Organisation* (voir encadré zoom). Aujourd'hui, le développement conjoint du contrôle du confinement du plasma et des matériaux du réacteur constitue l'axe prioritaire retenu pour ITER. Prenant le relais de cette première phase de développement, les constructions de DEMO, un premier réacteur électrogène de démonstration, au-delà de 2030, puis de PROTO, prototype de dimension commerciale, exploiteront alors tous les enseignements tirés de l'expérimentation d'ITER. ■

1. Confinement gravitationnel : état de la matière dans le Soleil et dans les étoiles, où les forces de gravitation, les densités et les températures sont suffisamment élevées pour provoquer la fusion thermonucléaire.

2. Confinement inertiel : chauffage artificiel à très haute température et haute pression d'un petit volume de matière pendant un temps extrêmement court en vue de déclencher la fusion thermonucléaire. L'expérimentation du Laser Mégajoule du CEA consiste à focaliser l'énergie de 240 faisceaux laser sur une petite bille (1 centimètre de diamètre) contenant un mélange de deutérium et de tritium (source CEA).

3. Tokamak : abréviation du russe « *TO*roidalnaja *KA*amera *MA*gnetnaja *K*atuska » (chambre à vide toroïdale et bobine magnétique).

Le saviez-vous ?

Le plasma est qualifié de « quatrième état de la matière » après les états solide, liquide et gazeux. C'est un milieu ionisé extrêmement fluide et hautement conducteur, constitué d'une sorte de « soupe » d'électrons, qui ont été arrachés aux atomes, et d'ions positifs. On le trouve notamment dans les étoiles comme le Soleil.

ITER, une structure internationale à trois niveaux

Par Kaname IKEDA, directeur général d'ITER *International Organisation*

« C'est paradoxalement à l'initiative de l'ex-URSS, dans les années 1970, que la coopération internationale sur la fusion a débuté ; le projet a atteint aujourd'hui un stade où la compréhension mutuelle entre tous les partenaires – scientifiques, industriels et politiques – constitue l'atout décisif pour sa réussite. ITER est en effet structuré sur trois niveaux : international, le niveau propre à chacun des sept partenaires (Chine, Corée du Sud, États-Unis, Inde, Japon, Russie, UE) et la France, en tant que pays d'accueil. Chacun des partenaires ITER a mis en place une « agence domestique » (AD), en charge principalement de la construction de sa part de composants d'ITER et de leur mise à disposition auprès de l'Organisation internationale. L'agence domestique européenne a été constituée en 2007 à Barcelone. Elle est notamment chargée des appels d'offres et du suivi de la fabrication par les industries européennes. Alors que



financement leur permettant de remplir leur mission. Par ailleurs, l'effort européen dans la fusion existe depuis plus de quinze ans sous diverses entités –

« Le projet a atteint un stade où la compréhension mutuelle entre tous les partenaires constitue l'atout décisif d'ITER. »

la dernière étant EFDA (*European Fusion Development Agreement*) –, dans le droit-fil du traité Euratom de 1958, instituant la coopération européenne pour le nucléaire civil. L'EFDA fédère les différents programmes de recherche sur la fusion et coordonne les contributions des laboratoires et industriels des États membres aux projets internationaux comme ITER. » ■

L'Organisation internationale ITER est responsable de la conception, de l'intégration et du commissionnement de l'installation, les AD auront la responsabilité de la conception détaillée, de la fourniture, des relations avec les fournisseurs, des essais et des livraisons. De plus, du fait de la prépondérance de « fournitures en nature » réalisée par les AD sur leur territoire ou à l'étranger, celles-ci géreront elles-mêmes le

donne les contributions des laboratoires et industriels des États membres aux projets internationaux comme ITER. » ■



CEA – La fusion magnétique : www-drfc.cea.fr/index.html

ITER *International Organisation* : www.iter.org

L'Agence Domestique Européenne : "Fusion for Energy" (F4E) <http://fusionforenergy.europa.eu/>

ZOOM

ITER *International Organisation*

Maître d'ouvrage et exploitant nucléaire, l'Organisation internationale ITER, dont le siège est à Cadarache, a la responsabilité de la construction, de l'exploitation et du démantèlement final du démonstrateur expérimental.