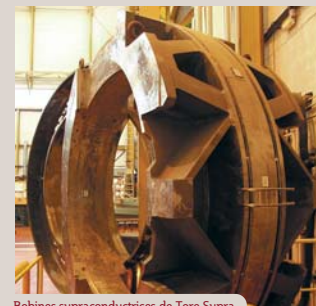


La famille des matériaux

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux. Il possède des propriétés que n'ont pas ses constituants pris individuellement. La fibre de carbone entre dans cette catégorie. C'est l'un des matériaux qui entre dans la fabrication des pièces composites des navettes spatiales, des embrayages utilisés dans l'aviation et de certains composants des installations de fusion. Les céramiques sont des matériaux très anciens connus pour leur tenue à haute température et leur bon comportement mécanique. Les spécialistes des matériaux distinguent deux familles de céramiques : les traditionnelles (terre cuite) et les techniques comme les tuiles des navettes spatiales. Elles ont une faible conductivité thermique qui permet de les utiliser comme isolants thermiques.

Tore Supra, tout en supra



Bobines supraconductrices de Tore Supra

Le nom Tore Supra est un dérivé des mots «tore» et « supraconducteur». A ce jour, l'installation de recherche Tore Supra, développée dans le cadre du programme Euratom-CEA, est le seul tokamak à disposer de bobines supraconductrices générant un champ magnétique sur une longue durée. Il est également le seul tokamak à pouvoir extraire en continu la puissance injectée dans le plasma grâce à des composants en composite de carbone et en cuivre au sein desquels de l'eau sous pression circule. C'est grâce à ce type de matériaux qu'il a été possible de maintenir un plasma pendant une durée record de plus de 6 minutes. Leur développement a nécessité la mise au point de méthodes d'assemblage spécifiques (mécanique, brasage, soudage...) requérant le concours d'industriels. Demain, des éléments similaires tapisseront la paroi du divertor d'ITER (dispositif destiné à récupérer les impuretés générées durant les réactions de fusion) où la température atteindra plusieurs milliers de degrés.

IFMIF, pour les matériaux du futur

Le programme IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) vise à concevoir une installation de recherche dédiée aux études du comportement sous irradiation des matériaux des futurs réacteurs de fusion. Dans ce type d'installation, le principe consiste à faire interagir des particules (noyaux de deutérium) portées à haute énergie (40 MeV) avec du lithium liquide pour obtenir un flux de neutrons dont les caractéristiques (quantité, énergie) seront très proches des neutrons qui seront produits dans un futur réacteur de fusion. Le coût de cette installation est partagé entre l'Europe (environ 2/3 du financement) et le Japon (environ 1/3 du financement).

# Le défi des matériaux

LA FUSION SOUMET LES MATÉRIEAUX À RUDE ÉPREUVE. LA PRODUCTION D'UN PLASMA SUPPOSE DES CONDITIONS EXTRÊMES DE TEMPÉRATURE ALLANT DU TRÈS FROID (-270°C ENVIRON) AU TRÈS CHAUD (150 MILLIONS DE DEGRÉS ENVIRON). LA MISE AU POINT DE MATÉRIEAUX POUR LA FUSION REPOSE SUR DES ENJEUX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES CLÉS.

La fusion est à l'origine de toute la lumière et de la chaleur contenue dans l'Univers : c'est elle qui fait briller le soleil et scintiller les étoiles. Son combustible ? Des atomes d'hydrogène qui, en «fusionnant», libèrent de grandes quantités d'énergie. Reproduire sur terre ce qui se produit naturellement au cœur du soleil est le formidable défi relevé par la Chine, les Etats-Unis, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon, la République de Corée et l'Union européenne réunis dans une collaboration scientifique internationale sans équivalent dans l'histoire. Les objectifs scientifiques et technologiques de la fusion sont non moins considérables qu'il s'agit d'une étape essentielle sur le chemin de la mise au point d'une nouvelle source d'énergie.

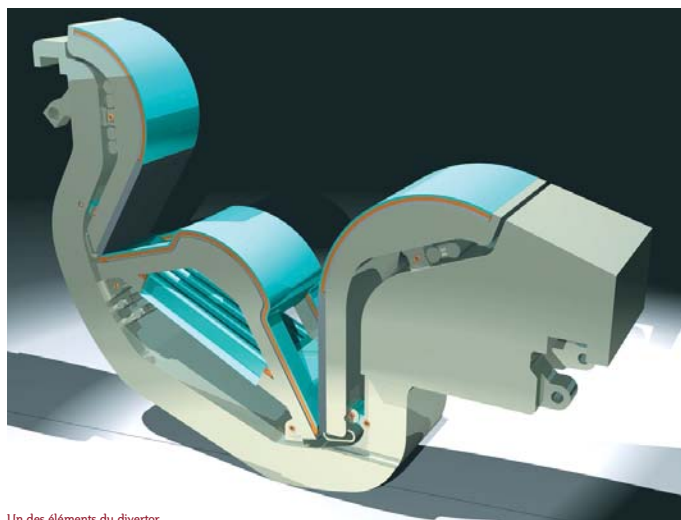
Le bénéfice de l'expérience acquise

Les enjeux concernent en particulier le développement de matériaux adaptés à de multiples conditions et contraintes de fonctionnement : températures extrêmes variant de moins 270°C environ à 150 millions de degrés au cœur du

plasma, champs magnétiques, forces mécaniques et thermiques... Pour ITER, les choix concernant les matériaux reposent sur de nombreuses études techniques et tests en laboratoire. Le principe a été de recourir à des matériaux existants moyennant, parfois, quelques adaptations. Par exemple, l'acier retenu pour l'enceinte dite « à vide », où seront produits les plasmas, est un inox 316 L(N)-IG dont les performances ont été renforcées. « Dans ce cas précis, les alliages ont été modifiés subtilement en limitant le carbone et en augmentant la part de nitrogène de sorte à améliorer les propriétés mécaniques des composants offrant de meilleures résistances aux forces qui s'exercent au niveau de cette partie de l'installation. Ce qui permet, aussi, de réduire le taux d'impuretés de cobalt et l'activation des parois internes, et donc, la production de déchets technologiques à terme » explique Lina Rodriguez, en charge des études de sûreté pour ITER Organization. Une démarche similaire s'est appliquée pour la définition des alliages utilisés pour les aimants supraconducteurs (cf la supraconductivité) dont la technologie a été mise au point avec l'installation Tore Supra au cours des vingt-cinq dernières années. Les aimants supraconducteurs de Tore Supra ont été réalisés sur la base d'un alliage niobium/titane permettant d'obtenir un champ magnétique de 9 Tesla qui sert à confiner le plasma et ainsi à limiter les interactions avec les parois de l'installation. En optant pour un alliage niobium/titane pour ITER, les performances de ses bobines seront, quant à elles, augmentées à 12/13 Tesla contribuant, ainsi, à augmenter les performances des plasmas.

Des conditions extrêmes

Les composants, appelés «composants face au plasma» constituent l'un des enjeux technologiques de la fusion. Ils forment la première enceinte matérielle et jouent aussi le rôle de boucliers thermiques. Ces composants sont soumis à des flux thermiques pouvant aller jusqu'à 20 MW par m<sup>2</sup> pour ITER induisant de fortes contraintes thermiques et mécaniques. «Un matériau ex-



Un des éléments du divertor

posé à un flux de 20 MW par m<sup>2</sup> atteint une température de 1000 degrés en moins d'une seconde. Pour qu'il résiste, des éléments spécifiques ont été mis au point ; ils sont composés de deux parties : l'une constituée d'une «tuile» capable de résister aux flux de chaleur et l'autre comportant un système de refroidissement intégré (circuit d'eau en alliage de cuivre, zirconium et chrome). Les expérimentations réalisées avec Tore Supra ont largement contribué à la mise au point de ces éléments. L'assemblage de la «tuile» sur le système de refroidissement s'est avéré complexe. Les matériaux utilisés pour les deux parties ont des coefficients de dilatation très différents, avec d'un côté des flux thermiques très élevés pour la zone exposée au plasma et, de l'autre côté, des températures basses pour le système de refroidissement. «Il aura fallu près d'une dizaine d'années de recherches et de tests avec des industriels pour finaliser le concept qui est installé à l'intérieur de Tore Supra depuis plus de cinq ans et préfigure celui qui sera installé sur ITER» précise Gabriel Marbach, adjoint au chef du département de recherche en fusion contrôlée au CEA. Les programmes d'études réalisées avec l'installation JET en Angleterre et Asdex-upgrade à Garching (en Allemagne) ont, pour leur



Exemple de composant face au plasma

Le principe de répartition

Près de 90 % du coût d'ITER repose sur la fourniture en nature des composants qui seront fabriqués par chaque membre de l'organisation internationale ITER, sur la base des accords issus des négociations internationales. Par exemple, le coût du système produisant les champs magnétiques (aimants supraconducteurs) représente environ 1/6ème du coût total de construction de l'installation de recherche. Le coût de leur fabrication est réparti majoritairement entre l'Europe et le Japon avec des contributions variées des autres partenaires. L'Europe a en charge environ la moitié des bobines toroidales et 20 % du conducteur et du bobinage. Le Japon est le deuxième grand contributeur en fournissant 25 % du conducteur, la moitié du bobinage et des boîtiers du système toroidal ainsi que la totalité du conducteur du solénoïde central. Au total, plus d'une vingtaine de lots (eux-mêmes divisés en sous-lots) a été établie qui donnera lieu à des appels d'offres dans le monde entier. Cette répartition est accessible sur le site internet mis en place par la Chambre régionale de commerce et d'industrie PACA (www.iterentreprises.com).

La supraconductivité

La supraconductivité est la propriété qu'ont certains éléments de laisser passer un courant électrique sans opposer la moindre résistance. Dans un courant électrique, les électrons peuvent constituer un frein à l'image du courant de l'eau dans une rivière. Imaginons ce qui se passe si une grille est placée en travers de la rivière : le passage de l'eau va induire une pression sur la grille et les frottements de la masse d'eau sur les berges et le fond de la rivière vont freiner le courant qui va perdre de l'énergie. Un phénomène de même nature se produit dans un courant d'électrons. Les électrons vont interagir avec la matière dans laquelle ils se déplacent, ce qui leur fait perdre de l'énergie en se dissipant sous forme de chaleur. En 1911, les physiciens découvrent que l'hélium, puis le mercure porté à très basse température (proche du zéro absolu, soit - 273° Celsius), devient un métal conducteur et laisse passer un courant sans perte d'énergie. Les recherches se sont ensuite multipliées pour mettre au point des matériaux supraconducteurs qui créent de puissants champs magnétiques. Les applications sont multiples aujourd'hui : appareils de résonance magnétique (IRM) en médecine, trains à lévitation magnétique, accélérateurs de particules et bobines supraconductrices pour créer des champs magnétiques servant à confiner le plasma dans les installations Tore Supra et ITER.



Composants supraconducteurs

Des arbres debout

Lors des opérations de défrichage, cinquante sept troncs d'arbres coupés ont été conservés sur le site afin de préserver la survie de certains insectes présents alors à l'état de larves. Environ la moitié d'entre eux ont été attachés à des arbres fixes avec l'aide de l'entreprise Macagno le 18 octobre 2007. Il s'agit d'une opération expérimentale qui entre dans les mesures préconisées pour la préservation d'espèces protégées. C'est la deuxième fois qu'une action de ce type est réalisée en France. «L'objectif est de replacer des arbres qui représentent des enjeux écologiques pour certains insectes, considérés espèces protégées, dans des conditions forestières favorables à leur développement» explique Olivier Ferreira de l'ONF. L'autre moitié des arbres est conservée au sol dans une zone spécifique sur le site ITER.



## AGENDA

27 et 28 novembre 2007  
Premier Conseil ITER

Le premier Conseil ITER a eu lieu les 27 et 28 novembre 2007 à Cadarache rassemblant près de soixante-quinze participants (les représentants officiels des membres de l'Organisation internationale ITER [Chine, Corée, Etats-Unis, Europe, Inde, Japon, Russie], des experts et des conseillers). Un représentant de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), qui est le dépositaire de l'accord ITER entré en vigueur le 24 octobre 2007, a assuré l'ouverture de la séance avant que le Conseil procède à l'élection du président et vice-président du conseil et entérine notamment la nomination du directeur général, du directeur général adjoint principal et des directeurs généraux adjoints, les propositions relatives au planning et au budget pour les années à venir présentées par l'organisation internationale.

10, 11, 12 décembre 2007  
ITER Business Forum

Du 10 au 12 décembre, le premier forum industriel international offre des opportunités de rencontres à de multiples acteurs français et étrangers : industriels, sous-traitants, laboratoires de recherche, représentants du projet ITER... Ce forum s'articule autour d'une conférence industrielle, des ateliers thématiques, une exposition accueillant près de soixante-dix industriels et des rendez-vous d'affaires.

IBF 07  
Centre des Congrès, Acropolis, Nice  
www.ibf2007.org



Câbles supraconducteurs

