

La Fusion Thermonucléaire et le Projet ITER



Sergio Orlandi

BIO EXPRESS

Sergio Orlandi a rejoint ITER Organization en 2013, en tant que Directeur du département d'ingénierie. Il a apporté toute sa culture industrielle développée au cours de plus de 35 ans d'expérience acquise à travers le monde dans la conception, l'installation et la mise en service de centrales nucléaires. Depuis qu'il a rejoint l'organisation, ses efforts ont porté sur le respect des délais, le contrôle des coûts et la qualité, données essentielles à la réussite d'un projet aussi spécifique.

UNE COOPERATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE UNIQUE

Le projet ITER est le fruit d'une coopération scientifique internationale unique d'ampleur inégalée dans le domaine de la fusion nucléaire impliquant l'Union Européenne (et la Suisse), la Chine, l'Inde, le Japon, la Russie, la Corée du Sud et les Etats-Unis.

L'objectif global du projet est de démontrer la faisabilité scientifique et technologique de la production d'énergie par fusion nucléaire de noyaux d'atomes légers, isotopes de l'hydrogène.

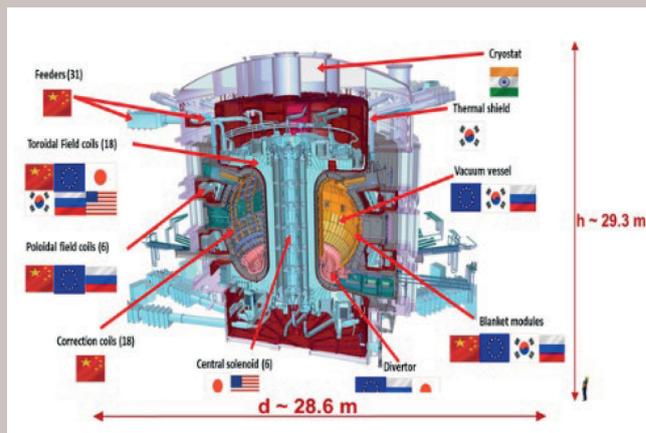
En effet, les recherches sur le confinement magnétique des plasmas chauds, en particulier dans les tokamaks* sont parvenues à des résultats suffisamment cohérents pour convaincre les pays membres de s'associer et de coopérer à la réalisation d'un réacteur utilisant la fusion thermonucléaire des noyaux de deutérium (^2H ou D) et de tritium (^3H ou T).

En 2006, les sept partenaires ont signé un accord international, pour la construction et l'exploitation d'ITER sur le site de Cadarache en France. La répartition de la contribution, exprimée en fraction de la valeur totale de la construction, est de 46 % pour l'UE et de 9 % pour les six autres partenaires. Environ 90 % de cette valeur doit être

fournie en nature et pris en charge par les agences domestiques constituées par les partenaires. Les éléments de haute technologie, sont souvent partagés entre plusieurs partenaires, ce qui donne lieu à des interfaces complexes. Les objectifs sont en premier lieu scientifiques avec la réalisation de la fusion deutérium-tritium (D-T) développant au moins une puissance de 500 MW pendant plus de 400s, pour une puissance injectée de 50 MW.

Cette approche suit un schéma similaire à celui adopté dans de nombreux dispositifs de fusion expérimentaux actuels, permettant une installation et une mise en service progressive des systèmes auxiliaires.

L'approche par étapes comporte plusieurs phases opérationnelles majeures avec des exigences croissantes pour les systèmes de la centrale.



Premier plasma.
Dans cette phase, des plasmas d'hydrogène à faible valeur du courant du plasma (environ 100 kA) seront obtenus.

Phases d'opération de pré-fusion.

Au cours de ces phases, des plasmas d'hydrogène ou d'hélium seront

produits à des valeurs de courant de plasma jusqu'à 15 MA. De plus, les systèmes permettant de mesurer les propriétés du plasma seront disponibles.

Phase d'opération de fusion.

Au cours de cette phase, des plasmas de deutérium-tritium seront produits jusqu'au courant de plasma de 15 MA, et une

UNE APPROCHE PAR ETAPES

Le calendrier a été élaboré en étroite coordination avec les agences domestiques, et le budget prévisionnel prend en compte les contraintes budgétaires des membres d'ITER. L'organisation ITER a adopté une stratégie par étapes afin d'amener le réacteur expérimental à sa configuration finale.

*Toroidal'naya Kamera i Magnitnaya Katushka = Chambre toroïdale avec bobines magnétiques

puissance de fusion maximale sera atteinte avec 500 MW produits pendant des centaines de secondes.

DE GIGANTESQUES COMPOSANTS DE CONCEPTION UNIQUE

La conception des composants d'ITER prend en considération des contraintes technologiques fortes. Le confinement magnétique du plasma qui atteindra 150 millions de °C est assuré par un ensemble de bobines supraconductrices refroidies à 4 K par de l'hélium liquide. Des courants de l'ordre de 75 kA qui les parcourent permettent d'obtenir des champs magnétiques pouvant atteindre 13 T. L'énergie magnétique qui en résulte est comparable à l'énergie cinétique d'un porte-avions lancé à 180 km/h.

La chambre à vide est une structure toroïdale en acier entièrement soudée (parois de 60 mm d'épaisseur), construite en neuf modules de 40 degrés fabriqués dans plusieurs pays membres avec des tolérances millimétriques. Cette chambre dont la masse avoisine celle de la tour Eiffel et les composants internes qui la protègent sont refroidis par un circuit d'eau pressurisée.

La face interne de la chambre est protégée soit par des modules de couverture qui par leur épaisseur doivent ralentir et absorber les neutrons de la réaction D-T, soit par des modules du divertor chargés d'accepter des flux thermiques momentanément plus de 20 fois supérieurs à ceux subis par une capsule spatiale durant une rentrée atmosphérique dus au contact localisé avec le plasma, et d'assurer le pompage des impuretés.

Les éléments précédents qui constituent l'essentiel du tokamak sont placés dans une grande enceinte sous vide appelée cryostat.

Ce cylindre de 30 m de diamètre et 30 m de hauteur, présente de nombreuses pénétrations pour l'accès à l'intérieur de la chambre à vide et pour les connexions électriques et cryogéniques des bobines supraconductrices. La création du plasma et l'augmentation de sa température sont rendus possibles grâce à des dispositifs de chauffage par radiofréquence et par injection de particules neutres.

puissance réactive doivent être compensées et un filtrage harmonique doit être réalisé afin de ne pas perturber le réseau 400 kV auquel ITER est connecté. Le système de refroidissement à eau pressurisée est également remarquable par sa taille et par son nombre d'utilisateurs extrêmement divers.

CONCLUSION

ITER constitue la coopération scientifique internationale la plus importante à ce jour. Son objectif est de démontrer la maîtrise technique de l'énergie de fusion. Contrairement à la fission nucléaire utilisée dans les centrales actuelles, la fusion D-T réduit considérablement la quantité de déchets radioactifs puisque seules les parois de la chambre à vide, heurtées par les neutrons, deviendront faiblement radioactives et pourront être retraitées facilement. La fusion nucléaire par confinement magnétique sera donc un moyen de production centralisé d'énergie durable et sûr.

Le progrès sur site est désormais bien réel, puisque ITER Organization estime à 60 % le degré d'achèvement des systèmes nécessaires à l'obtention d'un premier plasma prévu pour 2025.

Tokamak Complex en Construction



Certains systèmes auxiliaires se distinguent quant à eux par leur taille exceptionnelle et unique au niveau mondial :

- l'usine cryogénique fournit 75 kW de froid à 4K pour le refroidissement des bobines (75 % de la consommation) et celui des pompes cryogéniques (25 %), ainsi que 600 kW à 80K pour le refroidissement de l'écran thermique situé autour de la chambre à vide ;
- le réseau électrique pulsé présente une puissance de 3x300MVA en 66 kV pour les convertisseurs d'alimentation des bobines et en 22 kV pour les chauffages du plasma ; un réseau classique d'environ 120MW est également présent en 22 kV - 6,6 kV - 400 V, et des générateurs diesels redondants sont installés pour les fonctions de sécurité de l'INB.

A noter une caractéristique particulière du réseau pulsé : les fortes variations de



Vue d'ensemble du site Cadarache (13)