

Robot

Un bras à toute épreuve à Cadarache



Le robot en action dans l'ultravide.

Au CEA-Cadarache, près d'Aix-en-Provence, les équipes qui exploitent le tokamak Tore Supra ont conçu un robot articulé fonctionnant dans l'ultravide qui règne au cœur de la machine. Une première mondiale, en exclusivité dans *RÉFÉRENCE INDUSTRIE*.

TEXTE : ROBERT ARNOUX. PHOTOS : DR.

• UNE ÉNERGIE INÉPUISABLE

►►► Tous les gisements de combustibles aujourd'hui mis en œuvre pour produire de l'électricité, s'épuiseront un jour : la fin du pétrole est affaire de quelques décennies, celle du gaz et du charbon apparaît à l'horizon du siècle prochain, et l'uranium lui-même aura un jour disparu ou ne sera plus accessible dans des condi-

tions économiques acceptables. Dans cette perspective, la fusion thermonucléaire contrôlée permet d'envisager un futur libéré de toute préoccupation énergétique : elle utilise comme combustible deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium, présent en abondance dans l'eau de mer, et le tritium, produit à partir du lithium, un métal plus abondant que le plomb.

Cinquante années de recherche, soutenue par des dizaines de machines expérimentales de par le monde, ont prouvé que la maîtrise de cette source d'énergie, raisonnablement « propre », non génératrice de gaz à effets de serre et quasiment inépuisable, constituait un objectif réaliste. Iter, dont la construction a commencé à Cadarache, s'est donné pour mission de le démontrer.

Le 1^{er} avril dernier, au CEA-Cadarache, à une quarantaine de kilomètres d'Aix-en-Provence, trois générations de scientifiques étaient rassemblées pour célébrer le vingtième anniversaire d'une machine unique au monde : le tokamak 1^{re} Supra. Dans la mobilisation planétaire pour la maîtrise de la fusion contrôlée, source d'une énergie illimitée pour les générations futures, Tore Supra occupe depuis deux décennies une position stratégique. Avec le JET, une autre machine européenne installée près d'Oxford, au Royaume-Uni, elle a largement contribué à la définition d'Iter, avant-dernière marche vers le réacteur de fusion industriel, dont la construction a commencé à Cadarache, et auquel collaborent trente-trois nations. Depuis sa mise en service, en 1988, Tore Supra – Tore pour la forme de sa chambre à vide, et Supra pour ses aimants supraconducteurs – a contribué de manière décisive à la compréhension et à la maîtrise des problématiques liées au confinement magnétique des plasmas, à leur chauffage jusqu'à des températures qui dépassent la centaine de million de degrés et à leur interaction avec les enceintes qui les contiennent.



L'équipe au complet ayant participé au développement du robot articulé fonctionnant dans l'ultravide.

« Un objet compliqué, unique, conçu ex nihilo, ou presque... »

I NE PAS « POLLUER » LA MACHINE

Dans cette quête, conceptuelle autant que technologique, les équipes qui exploitent Tore Supra ont multiplié les records et les premières. On leur doit la plus longue décharge de plasma jamais réalisée – 6 minutes, le 4 décembre 2003 –, qui préfigure le fonctionnement continu des futurs réacteurs industriels, et, autre première mondiale, le développement d'un bras robot articulé capable de se déployer dans l'environnement particulièrement hostile de l'enceinte d'un tokamak. Celle-ci, en effet, doit être conditionnée avant chaque expérience : le vide le plus poussé doit y être réalisé – une pression 100 milliards de fois plus faible que celle de

l'atmosphère terrestre –, et sa température, avant d'affronter la fournaise du plasma, doit être portée à plus de 120° C, de manière que le matériau des parois dégaze et se débarrasse de ses impuretés. Ces opérations sont longues et coûteuses : « Conditionner la chambre à vide, explique Pascal Bayetti, chef du service exploitation et pilotage de Tore Supra, nécessite entre trois et quatre semaines de travail. Une fois les conditions de fonctionnement obtenues, nous faisons en sorte de ne pas les dégrader de manière à maintenir la disponibilité de la machine. »

Or, des opérations d'inspection, de mesure sont parfois nécessaires, et elles le seront plus encore lorsque les réacteurs de fusion entreront dans leur phase opérationnelle. Comment, dans ce contexte, « intervenir



Zoom

Le re fort de l'Euro●e et des collectivités locales

Le coût d'investissement du projet, de l'ordre de 1,2 million d'euros, dont 800 000 pour le robot et 400 000 pour son intégration et sa qualification, a été partiellement pris en charge par l'Europe (218 000 euros), la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (172 000 euros) et le Département des Bouches-du-Rhône (45 000 euros).

Six industriels ont été associés à son développement :

- **ECA (Toulon) :**
étude et réalisation du procédé de vision embarqué sur le robot.
- **Cybernetix (Marseille) :**
réalisation du segment prototype du robot et assemblage des sous-ensembles mécaniques.
- **Cimat Sartec (Marseille) :**
réalisation du caisson de guidage du robot et des éléments d'intégration sur Tore Supra.
- **Sereps (Massy-Palaiseau) :**
réalisation des cartes électroniques embarquées pour la commande du robot.
- **Somecap (Chilly-Mazarin) :**
réalisation des éléments mécaniques du robot.
- **SPG (Montreuil) :**
réalisation du dispositif de déploiement du robot.



sans polluer » ? Et dans l'avenir, quand les plasmas de deutérium et de tritium seront mis en œuvre, comme le faire sans exposer les personnels d'intervention ?

I AFFRONTER L'ULTRAVIDE

La réponse, c'est l'Articulated Inspection Arm (AIA) qui l'a apportée. Ce bras robotisé, d'une portée exceptionnelle de 8 m, constitué de cinq segments de titane polyarticulés, a été conçu pour affronter à la fois le vide et la température, et préfigure les robots qui, demain, devront être durcis au rayonnement nucléaire pour opérer dans l'enceinte des réacteurs.

La première des exigences auxquelles l'AIA devait répondre était une exigence de propreté. Le terme, toutefois, n'a pas tout à fait le sens qu'on lui prête habituellement :

même conçu avec des matériaux spécifiques et spécialement traités, un objet pénétrant dans une enceinte où règne un ultravide poussé doit au préalable être dégazé de manière à le débarrasser des impuretés piégées sur sa surface. Comme on le fait pour l'enceinte elle-même, on porte donc le bras, avant toute intervention, à une température de 200°C dans une sorte de tube hermétique qui constitue en quelque sorte son garage.

« L'ultravide est un milieu très défavorable au mouvement mécanique, poursuit Pascal Bayetti, car celui-ci implique l'utilisation de lubrifiants qui pollueraient irréversiblement le milieu. Même chose pour les composants électroniques, qui sont scellés sur des supports organiques. On résout le premier problème : en utilisant des métaux spéciaux, qui glissent l'un sur l'autre, et le second en encapsulant les puces dans des enceintes hermétiquement scellées. »

Au bout de son bras de 8 m mais d'un poids de 150 kg seulement, l'AIA est équipé d'une caméra de type CCD, activement refroidie par un flux d'azote. Il pourra l'être, demain, de divers instruments de mesure – sa charge utile est de l'ordre de 10 kg. Après avoir été testés sur une maquette en bois de la chambre à vide (le tokamak le moins cher du monde...), les déplacements du bras sont aujourd'hui pilotés au travers d'une interface graphique 3D en temps réel (il est impératif d'éviter tout contact avec les composants internes de la paroi contact).

Début avril, l'AIA a, pour la première fois, pu opérer en conditions d'ultravide. Courant de l'été, il sera testé à chaud. Dans un proche avenir, et dans la perspective des besoins spécifiques de la machine Iter, opérationnelle à l'horizon 2016, des études et de probables adaptations seront réalisées pour autoriser le fonctionnement du robot sous rayonnement nucléaire et en présence d'intenses champs magnétiques. Un défi supplémentaire pour « cet objet compliqué, unique, conçu ex nihilo ou presque », dont le développement aura duré moins de six ans. ▲