



A Cadarache, dans les entrailles de Tore Supra, qui préfigure ce que sera bientôt ITER. Un anneau où le plasma est chauffé à une température de plusieurs dizaines de millions de degrés (plus élevée que celle du centre du Soleil) par les ondes à très haute fréquence émises par les antennes (à droite).

Fusion nucléaire

ITER, l'énergie du futur

La fusion nucléaire, réaction atomique à l'œuvre sur le Soleil, constitue un espoir formidable, susceptible de résoudre les problèmes énergétiques de la planète. C'est l'objectif du projet international ITER, qui a désormais toutes les chances de naître en France, à Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône. Là, les chercheurs étudient déjà la fusion dans un grand anneau d'acier, Tore Supra. Température : trois fois celle du Soleil !

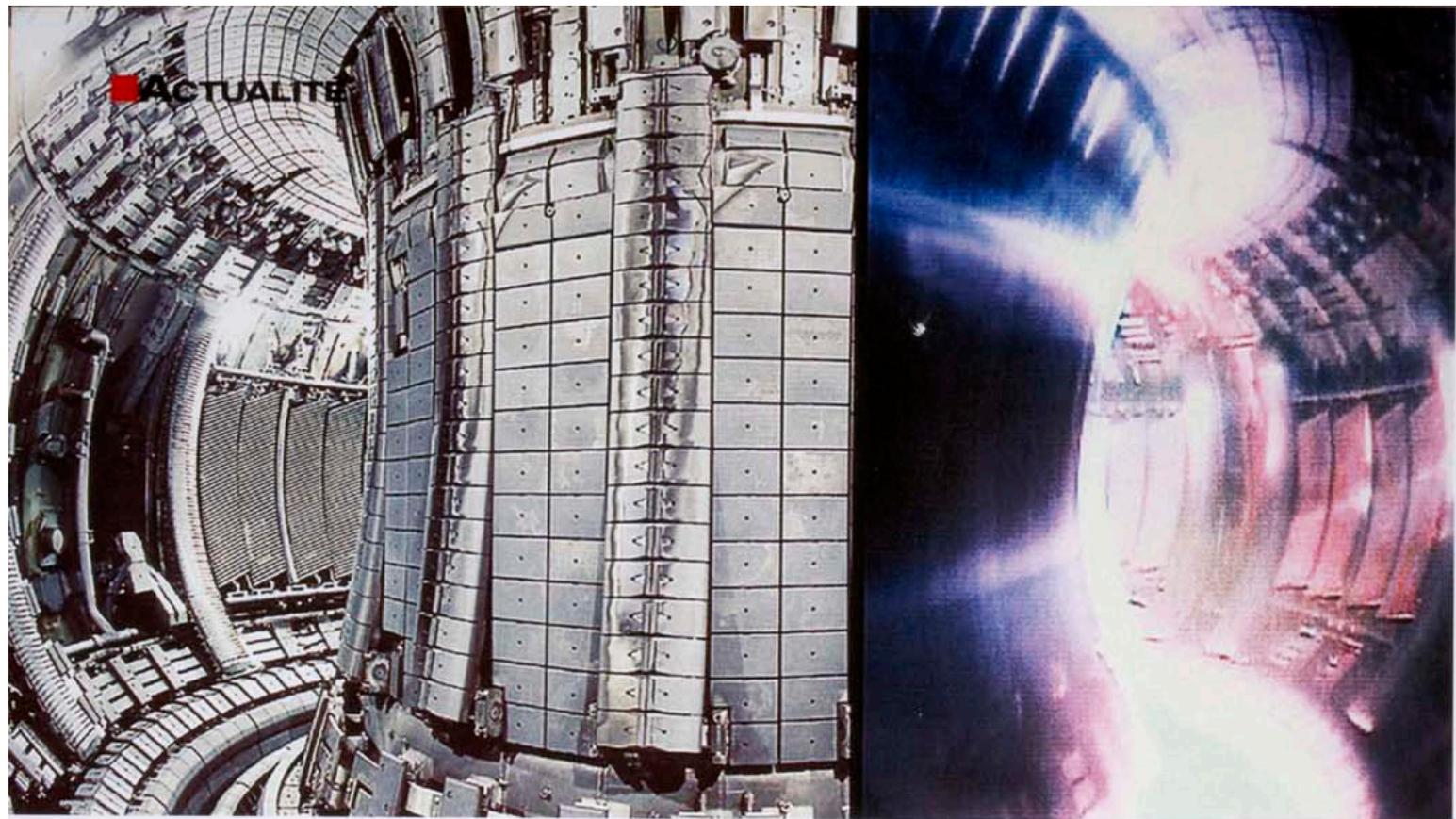
Par Pedro Lima (texte) et Pascal Goetgheluck (photos)

Maitriser la fabuleuse énergie à l'œuvre au cœur du Soleil, offrir aux générations futures un mode de production énergétique ne générant ni gaz à effet de serre, ni tensions internationales... puisque les combustibles se trouvent dans l'eau de mer. Rêve utopique ? Non, très bientôt une réalité qui porte déjà un nom : ITER (pour *International Thermonuclear Experimental Reactor*).

De quoi s'agit-il ? « ITER est un projet regroupant l'Union européenne, le Japon, la Russie, les Etats-Unis, la Chine et la Corée du Sud », répond Jean Jacquinot, conseiller scientifique du haut-commissaire à l'énergie atomique. *L'objectif du réacteur ITER sera de démontrer qu'il est possible, scientifiquement et technologiquement, de produire de l'énergie à partir de la fusion des atomes.* »

Alors que les réacteurs nucléaires classiques produisent de l'énergie grâce à la fission d'atomes lourds, c'est-à-dire leur rupture, il s'agit ici d'obtenir la fusion d'atomes légers. Une réaction qui se déroule en permanence au cœur du Soleil, où les noyaux d'hydrogène fusionnent en dégageant l'énergie qui nous parvient sous forme de rayons.

En théorie, la fusion tient de la solution miracle. Pourquoi ? Tout d'abord, le « carburant » est presque inépuisable : le deutérium et le tritium, combustibles d'un tel réacteur, se rencontrent en abondance dans l'eau de mer. Les réserves permettraient de fournir l'énergie de la planète pendant plusieurs millions d'années. De plus, un réacteur de fusion permettrait d'éviter le rejet de gaz à effet de serre, responsables des modifications du climat. Encore mieux : les déchets radioactifs de la fusion auraient une durée de vie limitée, équivalente, au bout de cent ans, à celle des



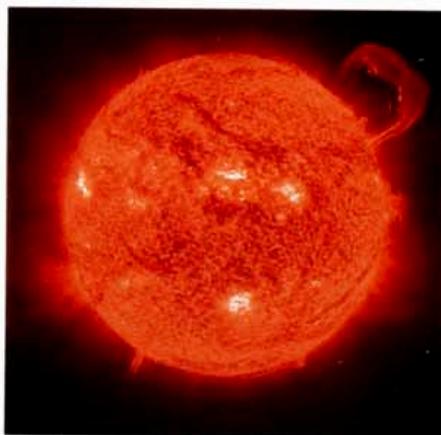
La machine européenne JET (Joint European Torus) détient le record du monde de puissance de fusion produite : 16 millions de watts. A gauche, la machine sans plasma, à droite avec du plasma. A dix fois la température du centre du Soleil, le plasma reste pourtant à notre pression atmosphérique.

●●●
cendres des centrales à charbon. Autre avantage : la sécurité. En effet, les réactions de fusion ne pourraient pas s'emballer. En cas de problème, il suffirait de cesser d'alimenter le réacteur en deutérium et en tritium pour qu'il s'arrête complètement au bout d'une minute.

Pourtant, la fusion constitue encore un pari scientifique qui n'est pas encore gagné. Les difficultés tiennent en un mot : plasma. C'est le nom que l'on donne au quatrième état de la matière, celui qu'elle atteint après avoir été solide, liquide puis gazeuse. Car les réactions de fusion ne se produisent en nombre dans un réacteur qu'à des températures incroyablement élevées : 100 millions de degrés environ ! Dans un réacteur de fusion, un mélange deutérium-tritium gazeux est introduit dans une enceinte appelée tore, c'est-à-dire en forme d'anneau. Le chauffage du mélange permet la création du plasma, au cœur duquel débutent les réactions de fusion, à partir de quelques dizaines de millions de degrés.

Mais il reste encore à résoudre des problèmes scientifiques et techniques, par exemple, le contrôle du plasma sur des durées importantes.

Ce sera justement à Iter de répondre à ces questions et, pour cela, on ne lésinera pas sur les moyens. Le coût du réacteur expérimental a été évalué à 4,7 milliards d'euros pour la construction et à 4,8 milliards d'euros pour l'exploitation, démantèlement compris. Prévu pour vivre ses premières expériences dans le courant des années 2010, Iter tiendra du mastodonte. Le réacteur sera constitué d'un



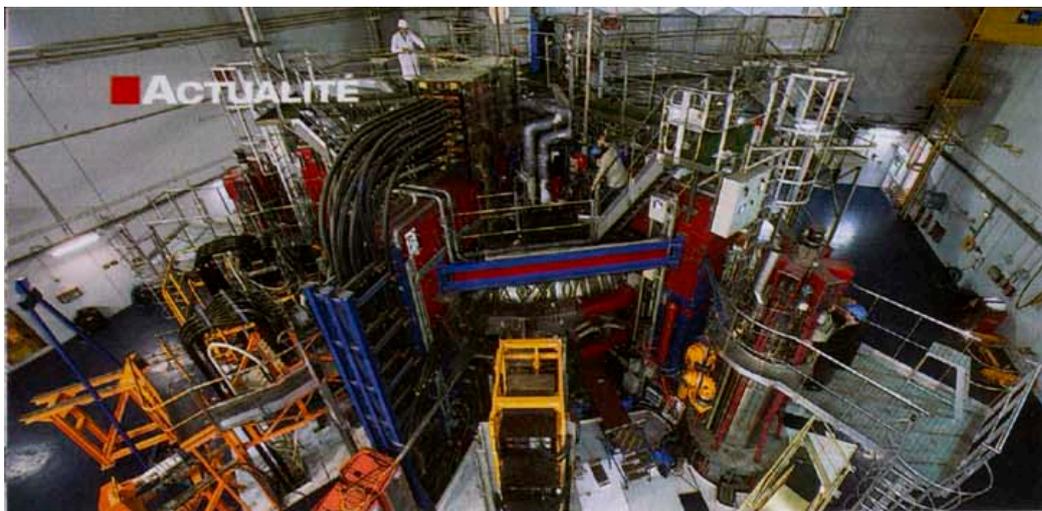
Pour mener à bien un tel projet, il fallait une mobilisation scientifique internationale. Une aventure à six partenaires : Europe, Etats-Unis, Japon, Russie, Chine et Corée du Sud (en haut). Objectif : fournir l'énergie à la planète pour plusieurs millions d'années en prenant le Soleil pour modèle (en bas).

cylindre de 27 mètres de hauteur sur 27 mètres de diamètre, c'est-à-dire l'équivalent en hauteur d'un immeuble de 9 étages. Grâce à son volume de plasma de 850 mètres cubes, le cœur d'Iter sera isolé de telle sorte que la puissance à apporter sous forme de chauffage se limitera à 10 % de la puissance de fusion générée par le réacteur.

Le calendrier ? « Si le projet se poursuit sur les bases actuelles, il faudra attendre l'horizon 2050 pour voir un réacteur produire éventuellement de l'électricité, estime Jean Jacquinot. Mais si l'on met les bouchées doubles, en cas, par exemple, de crise majeure due à la raréfaction des ressources fossiles, cela pourrait se produire dès 2035. »

Mais en attendant, les recherches sur la fusion sont déjà bien engagées. En particulier au CEA de Cadarache, qui abrite Tore Supra, une machine inaugurée il y a une vingtaine d'années. Bien que de taille plus modeste, elle préfigure ce que sera Iter. C'est en effet sur Tore Supra qu'ont été validés les aimants supraconducteurs et les parois puissamment refroidies, nécessaires au fonctionnement d'Iter et des réacteurs du futur. Grâce à ces composants, Tore Supra a battu, le 4 décembre 2003, le record mondial de durée d'un plasma, avec une « décharge » de plus de 6 minutes. Une sacrée performance, lorsque l'on sait que le plasma est un état extrêmement instable de la matière, qui ne demande qu'à se refroidir à la moindre occasion. En présence, par exemple, d'un des ennemis des physiciens, qui porte un nom :





Grâce à ses aimants supraconducteurs et à ses parois puissamment refroidies, Tore Supra a permis de maintenir un plasma à trois fois la température du centre du Soleil pendant plus de six minutes.

... De quoi s'agit-il ? « De quelques microgrammes d'un des matériaux de l'enceinte interne du réacteur. Arrachés par le plasma, ils le polluent et le

refroidissent en émettant un fort rayonnement », répond Jean-Marc Ané, physicien du département de recherche sur la fusion contrôlée au CEA de Cadarache. Pour éviter

de tels désagréments, toutes les précautions sont prises : régulièrement, l'intérieur de la machine est soigneusement révisé. On y pénètre en traversant un sas, après avoir enfilé tenue, gants et masque de protection, afin de ne pas introduire la moindre poussière dans l'anneau.

L'ambition des chercheurs est maintenant d'aller au-delà de 6 minutes. Autres travaux incontournables, ceux qui visent à améliorer la modélisation et à affiner la compréhension de la physique des plasmas, afin de mieux maîtriser cet état de la matière si particulier. Avec, en ligne de mire, l'espoir d'un réacteur de fusion d'où pourrait jaillir, dans quelques décennies, une énergie quasiment inépuisable. ■

PEDRO LIMA

Iter sur le web : www.iter.gov.fr



DE LANDE / JDD/GAMMA

Un poker planétaire

Entretien avec Pierre Lellouche, député de Paris, émissaire du gouvernement chargé de l'implantation d'Iter à Cadarache.

Après des mois, des années d'incertitude, c'est sur le sol français, sur le site de Cadarache, que serait édifié Iter. Un homme derrière cette victoire.

■ **Le Figaro Magazine** – Est-on sûr, cette fois, que la construction d'Iter se fera bien sur le sol français, à Cadarache ? Les Japonais mettent en avant le non au référendum... Ne risque-t-on pas un nouveau rebondissement ?

Pierre Lellouche – Normalement, on peut considérer que nous sommes aujourd'hui à l'abri d'une mauvaise surprise : l'accord a été bel et bien conclu et la décision va bientôt être officiellement annoncée. Il semble difficile de revenir en arrière.

■ **On devait connaître le choix du pays hôte en décembre 2003, puis en février 2004. Pourquoi tant de retard ?**

On peut dire que cela a été du sport. Lorsqu'on m'appelle, début novembre 2003, à trois semaines de la décision européenne, et que

Jean-Pierre Raffarin me dit : « Il faut Cadarache », c'est loin d'être gagné. Car il s'agissait d'une élection à deux tours : le premier en Europe, le second mondial. Mais au départ, le gouvernement Jospin, avec la présence des Verts et de Dominique Voynet, avait tout simplement... omis de présenter la candidature de Cadarache. Et pendant ce temps l'Espagne faisait campagne pour son site candidat Vandellos. Nous partions donc avec un lourd handicap. Commence alors une course contre la montre, de 200 000 à 300 000 kilomètres parcourus d'une capitale européenne à l'autre pour, à chaque fois, rencontrer et convaincre les ministres de la Recherche, les conseillers diplomatiques des chefs de gouvernement et les experts scientifiques. Mais tout cela finit par payer : le jour du vote, nous avons 14 voix sur 15 et les Espagnols retirent leur candidature, ce qui permet à la France d'obtenir l'unanimité.

■ **Cadarache devient donc alors la candidate européenne. Mais nous sommes encore en 2003 et le Japon maintient toujours sa candidature...**

Il me reste, en décembre 2003, à

convaincre Washington. Mais les conséquences de la guerre d'Irak pèsent lourdement : le Japon y est présent aux côtés des Etats-Unis et les deux pays sont donc soudés. Et dans mon tour du monde, je me heurte à chaque fois au problème de l'Irak. Il faudra attendre 2004 et la réélection de George Bush pour qu'enfin, en décembre, les Américains disent, en privé : « Mettez-vous d'accord avec les Japonais », sous-entendu nous ne les soutenons plus. Lesquels, bien entendu, maintiennent leur projet.

■ **Alors, comment est-on sorti de cette impasse ?**

C'était une partie de poker à six : l'Europe, la Russie, la Chine, les Etats-Unis, le Japon et la Corée du Sud. Il fallait en effet que toute la communauté scientifique mondiale se mobilise sur ce projet, beaucoup plus grand encore que la station spatiale internationale. Une partie de poker gagnée sur un coup de bluff. Mais un bluff sérieux, fondé sur une vraie expertise scientifique et sur une Europe soudée autour de Cadarache. Les Japonais ne voulaient pas renoncer, les Américains pensaient tirer les ficelles avec une mise de seu-

lement 500 millions de dollars, les Coréens jouant un jeu équivoque... Nous avons donc dit : « Très bien. Si vous continuez, on y va seuls. » Seuls, c'est-à-dire l'Europe, la Russie et la Chine. En précisant aux Etats-Unis : « Si vous bloquez, vous allez vous retrouver dans la même situation qu'avec Areva ou Airbus. » Ils savaient que nous avions toutes les compétences scientifiques et le savoir-faire et que c'était possible, même si l'opération nous aurait coûté beaucoup plus cher que prévu. Ils étaient pris au piège.

■ **Conclusion ?**

Conclusion, après les dix années nécessaires à sa construction, Iter va commencer à fonctionner à Cadarache. Une expérience de fusion grandeur nature, dont les résultats, exploités au plan industriel, pourront changer la donne énergétique de la planète vers 2035/2040. Et au final pour la France : près de un milliard d'euros, partagés à 50 % entre les collectivités territoriales de la Région Paca et l'Etat, qui feront de cette Région un grand pôle scientifique, universitaire, technologique et industriel organisé autour de ce programme mondial. ■ R. L. N.