



La fusion, le dernier espoir du nucléaire

ÉNERGIE • A Cadarache (F) se construit un réacteur géant appelé à démontrer l'efficacité de la fusion nucléaire. L'EPFL participe étroitement à ce projet. Son tokamak vient d'être homologué pour son excellence par Euratom.

PROPOS RECUEILLIS PAR
PASCAL FLEURY

La catastrophe de Fukushima a jeté un froid glacial sur le nucléaire. L'énergie atomique pourrait toutefois renaître sous une forme «propre» et «durable» grâce à la fusion nucléaire, appelée à remplacer peu à peu, vers 2050, la traditionnelle fission nucléaire. Dans l'ombre des laboratoires du monde entier, le projet ITER progresse à grands pas, et les travaux de construction du réacteur géant ont déjà démarré près de Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône.

Le projet ITER peut compter sur l'expertise du Centre de recherches en physique des plasmas de l'EPFL, à Ecublens, dont le petit mais très performant tokamak vient d'être homologué par Euratom pour accompagner la phase de réalisation de cette expérience futuriste à 15 milliards d'euros. Membre de la direction du laboratoire lausannois, le physicien Yves Martin fait le point sur ce projet qu'il qualifie de complémentaire aux énergies renouvelables.

Fukushima a largement occulté le projet ITER auquel participe la Suisse. Où en est le projet?

Yves Martin: Il va de l'avant. Un pas décisif a été marqué au niveau européen avec la publication d'une «feuille de route». Sur mandat de la Commission européenne, les chercheurs européens ont déterminé les étapes et le calendrier menant à la production d'électricité par la fusion. On est passé de la recherche fondamentale et appliquée à l'objectif de production d'électricité. La commercialisation est prévue d'ici 2050. Pour y arriver, le programme européen prévoit trois étapes: la construction d'ITER à Cadarache, son exploitation entre 2020 et 2030 pour démontrer la faisabilité de la fusion, et enfin, dès 2030, la construction et l'exploitation d'un réacteur de démonstration nommé DEMO.

Où en sont les travaux sur le site français, près de Cadarache?

Les fondations ont été posées, avec près de 500 piliers d'isolation sismique et des dalles en béton. Un premier bâtiment a été construit pour abriter la fabrication des plus gros aimants, des bobines de câbles supraconducteurs intransportables qui feront jusqu'à 27 m de diamètre et pèseront chacune plusieurs centaines de tonnes. Les premiers éléments devraient être livrés sur le

site au premier semestre 2014 pour être assemblés. Ils viendront par bateaux et camions des pays partenaires, Japon, Corée, Chine, Inde, Russie, Etats-Unis et Europe, dont la Suisse.

Le projet est-il prêt du point de vue scientifique?

Il reste bien sûr encore des questions de physique à résoudre. Dans le cœur du tokamak, où la fusion nucléaire se fera à une température de plus de 100 millions de degrés, on aimerait que le confinement du plasma soit optimal, un peu comme l'isolation d'une maison, pour économiser un maximum d'énergie. On a les recettes pour obtenir un confinement de haute qualité. Il peut même s'avérer trop bon, si bien qu'il faut pouvoir relâcher un peu d'énergie pour que le plasma ne s'«étouffe» pas. Le problème, c'est que ces bouffées d'énergie relâchées peuvent altérer la première paroi entourant le cœur de la machine. Il importe donc de trouver les matériaux qui résistent le mieux à cette chaleur.

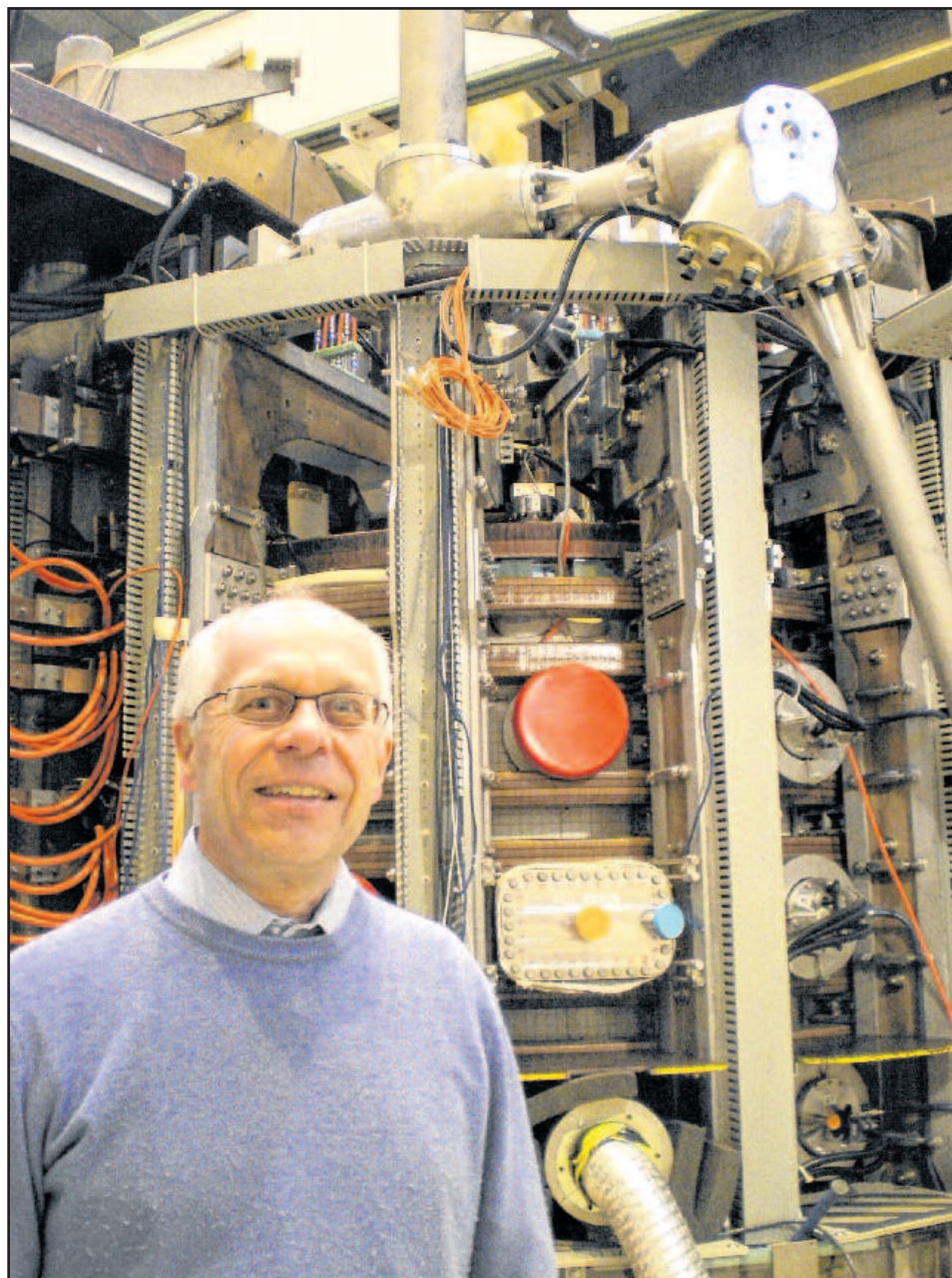
Justement, les antinucléaires craignent de graves (disruptions) du plasma, comparables à des éruptions solaires, qui anéantiraient le confinement en quelques millisecondes. Que leur répondez-vous?

Effectivement, on peut rencontrer des disruptions dans un tokamak, mais seulement dans des conditions extrêmes. Pour cela, il faut pousser la machine dans ses derniers retranchements, par exemple en augmentant exagérément la densité des combustibles. Le plasma peut alors entrer en contact avec les parois et les endommager. Cela est bien connu. Les premières années d'expérimentation d'ITER serviront justement à maîtriser parfaitement les plasmas et à connaître les limites du tokamak. Les essais de fusion deutérium-tritium ne sont prévus qu'à partir de 2027.

L'objectif est de produire plus d'énergie que consommée par la machine. Dans quelle proportion?

Le tokamak ITER devrait fournir dix fois plus d'énergie qu'il n'en consommera. JET, le plus grand tokamak existant, qui est situé en Angleterre, a produit 16 MW en utilisant 25 MW, cela avec une chambre circulaire de 3 mètres de rayon. Ce bilan est encore défavorable. Mais on a observé que le rendement augmente avec la taille de la machine. A Cadarache, le rayon du tore sera de 6,20 mètres. Bien suffisant.

La fusion nucléaire est souvent présentée comme l'«énergie du futur». Quels sont ses atouts?



Le physicien Yves Martin, devant le tokamak de l'EPFL, partenaire du projet ITER. PASCAL FLEURY

Les combustibles pour la fusion sont quasiment infinis: le deutérium se trouve dans l'eau, et le lithium, dont on a besoin pour produire du tritium, est aussi présent dans l'eau et la roche. Le lithium est le même qu'on trouve dans les batteries d'ordinateurs. Sauf que l'énergie qu'on peut en tirer avec la fusion est phénoménale par rapport à une pile électrique. Pour se faire une idée, avec le deutérium se trouvant dans 1 litre d'eau, on peut produire autant d'énergie qu'avec 300 litres de pétrole.

«Autre avantage, la réaction est relativement propre. L'hélium est un déchet totalement inoffensif, le même qu'on utilise dans les ballons d'enfants. Les parois du tore deviendront en revanche radioactives avec le bombardement des neutrons, mais seulement pour une certaine d'années, ce qui est tout à fait gérable. A la différence de la fission, la réaction de la fusion n'est pas

une réaction en chaîne. De plus, le combustible est injecté dans la machine au fur et à mesure. Si le plasma devient instable, tout s'arrête et s'éteint. Enfin, la fusion ne produit pas de CO₂.

ITER est estimé à 15 milliards d'euros. C'est l'un des projets scientifiques les plus onéreux de la planète...

Oui, avec le CERN et la Station spatiale internationale ISS. Mais ce coût est à comparer avec d'autres dépenses dans le domaine de l'énergie. Les compagnies pétrolières investissent chacune plusieurs fois cette somme chaque année pour chercher du pétrole ou d'autres combustibles. Les expériences faites sur le tokamak JET nous permettent d'envisager un succès de la fusion avec 99% de chances. Le risque en vaut la peine. I

> Voir aussi le film «Nucléaire. Exception française», ce dimanche sur RTS2.

REPÈRES

Le soleil dans une bouteille

> **Principe.** Contrairement aux réacteurs nucléaires actuels, qui produisent de l'énergie par la «fission» d'atomes lourds comme l'uranium, les tokamaks permettent la «fusion» d'atomes légers, le deutérium et le tritium (isotopes de l'hydrogène), sous vide et à des températures considérables, à l'instar de ce qui se passe dans le soleil.

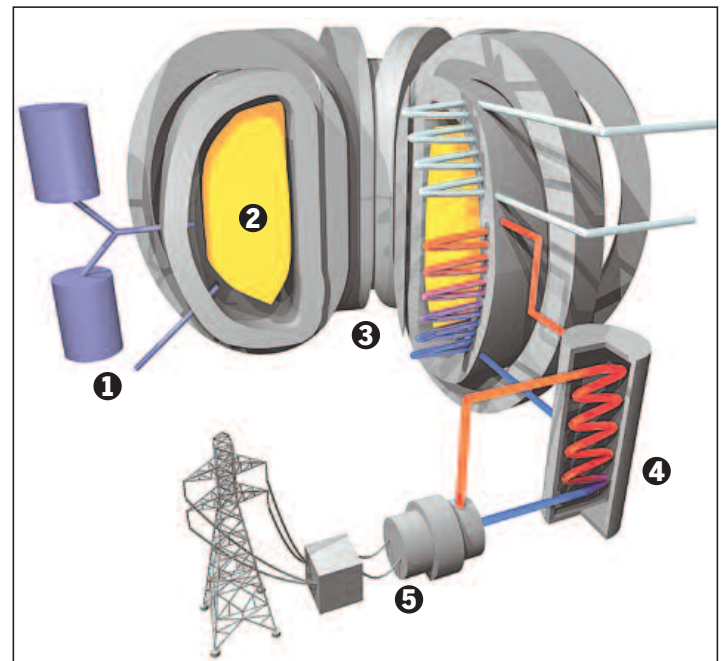
> **Réacteur.** Le cœur du tokamak – un acronyme russe signifiant «chambre magnétique torique» – est un anneau en forme de pneu, appelé «tore». Dans cette chambre circulaire, le gaz injecté est confiné sous forme d'un anneau de plasma (gaz ionisé) grâce à de puissants champs magnétiques. Le plasma est élevé à 100 millions de degrés Celsius pour enclencher la fusion. Le volume du plasma dans le tokamak ITER sera de 800 mètres cubes.

> **Carburants.** On utilise des isotopes de l'hydrogène, le deutérium non radioactif, en abondance dans l'eau, et le tritium radioactif (12 ans de demi-vie), produit sur place à partir de lithium, un métal léger, dont les réserves sont suffisantes.

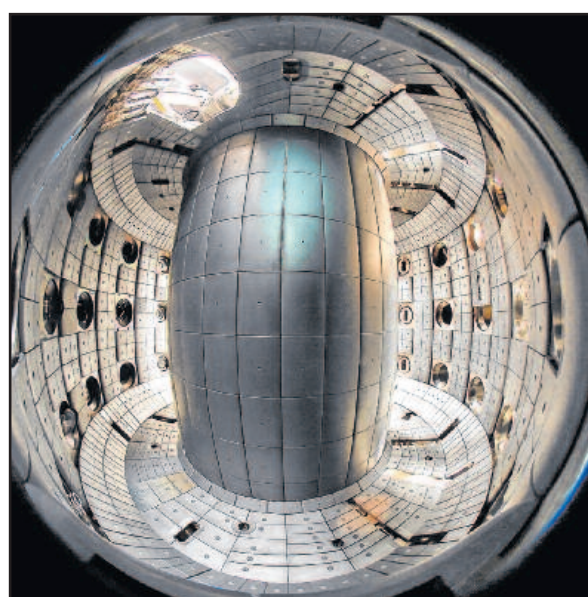
> **Energie.** La réaction au sein du tokamak produit de l'énergie sous forme de particules rapides ainsi que des cendres (les atomes d'hélium). La chaleur est récupérée par des échangeurs dans les parois pour produire de la vapeur et alimenter une turbine. Le fluide caloporteur pourrait être du lithium ou de l'hélium.

> **Radioactivité.** Les produits de la fusion, de l'hélium et des neutrons, ne sont pas radioactifs mais les parois intérieures du tokamak doivent être traitées. La fusion ne génère pas de déchets hautement radioactifs.

> **Rendement.** Un gramme de deutérium fusionné avec un gramme et demi de tritium ont un rendement dix millions de fois supérieur à celui d'un gramme de pétrole. PFY



Réacteur de fusion nucléaire: 1. Injection du mélange de combustible deutérium-tritium. 2. Plasma. 3. Tokamak avec ses bobines magnétiques. 4. Echangeurs de chaleur et production de vapeur. 5. Turbine classique et alternateur pour la production d'électricité. ITER/EPFL



Le cœur du tokamak dans lequel se forme le plasma. EPFL

Le tokamak de l'EPFL dans la course

Membre de la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom), la Suisse a fourni pour 2012 et 2013 une contribution de 100 millions de francs, dont la majeure partie revient au projet ITER. En novembre dernier, la conseillère fédérale Doris Leuthard a visité le tokamak du Centre de recherches en physique des plasmas (CRPP), à Ecublens. Elle s'est montrée «intéressée par les défis relevés et impressionnée par les progrès déjà réalisés», selon l'EPFL.

Il faut dire que le CRPP, qui compte près de 120 collaborateurs – dont la moitié sont financés par Euratom – joue un rôle d'importance dans la recherche européenne en matière de fusion. Et que

son tokamak lui-même, en fonction depuis 1992, vient d'être sélectionné en Europe, grâce à ses excellents résultats, comme machine d'utilité internationale. Il sera sollicité en accompagnement à ITER et en vue du futur réacteur DEMO.

L'EPFL est en contrat avec ITER dans divers secteurs, notamment les systèmes de chauffage. «On est spécialisé dans le chauffage de type électron-cyclotron, c'est-à-dire qu'on injecte dans le plasma des ondes dont l'énergie est transférée aux électrons par résonance», explique le physicien Yves Martin. Le CRPP est aussi spécialisé dans les appareils qui produisent ces micro-ondes à très haute fré-

quence. «Nous avons un stand de test de ces appareils, appelés gyrotrons. Tous les gyrotrons européens prévus pour ITER passeront d'abord chez nous pour être testés et calibrés.» Le centre travaille également sur les miroirs qui servent à diriger précisément les micro-ondes vers certaines zones du plasma à chauffer.

Pour rester à la pointe de la recherche, le laboratoire est en train d'installer un second chauffage sur son tokamak. «L'objectif, précise le chercheur, est de pouvoir chauffer spécifiquement les ions, afin d'obtenir des informations plus précises sur les turbulences du plasma.» Un développement dont bénéficiera bien sûr le projet ITER. PFY

SEMAINE PROCHAINE

MISE EN BIÈRE

L'affaire Cardinal, où l'histoire d'un succès puis d'une débâcle, sur fond de globalisation. Un documentaire à voir aussi ce dimanche au Rex, à Fribourg.

Histoire vivante

Du lundi au vendredi de 20 à 21h



Dimanche 22h 30

Lundi 23h 20