

Produire de l'énergie comme le soleil, le rêve se concrétise

Le premier réacteur nucléaire à fusion efficient voit le jour au sud de la France. Reportage

Jérôme Ducret
Cadarache

Le futur réacteur du projet ITER en coupe

Les entrées du site sont bien gardées, avec portails d'accès et, par endroits, soldats armés ou policiers accompagnés de chiens. Cadarache, près de Manosque (Alpes-de-Haute-Provence), est un immense site dédié à la recherche nucléaire, dont le développement de réacteurs pour sous-marins militaires. Une petite partie (100 hectares) de cet endroit un peu spécial est dédiée à ITER («chemin», en latin), un colossal projet international visant à construire le plus grand réacteur nucléaire basé sur le principe de la fusion entre atomes. L'engin devra démontrer qu'il est capable de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Devisé à environ 15 milliards d'euros, ITER est le plus important projet scientifique du monde. Vingt-sept pays européens, dont la Suisse, y participent, ainsi que la Russie, les Etats-Unis, la Chine, le Japon et la Corée du Sud. L'idée d'une coopération internationale dans le but de construire ce réacteur date de 1985 - elle a été approuvée par les présidents américain et russe Reagan et Gorbatchev. Mais ce n'est qu'en 2007 que l'organisation correspondante est née. ITER ne devrait, quant à lui, «tourner» qu'en 2022. Il sera suivi par plusieurs autres machines qui fourniront de l'électricité; en 2035 déjà pour la Chine, dont les besoins sont pressants, pas avant 2050 en Europe.

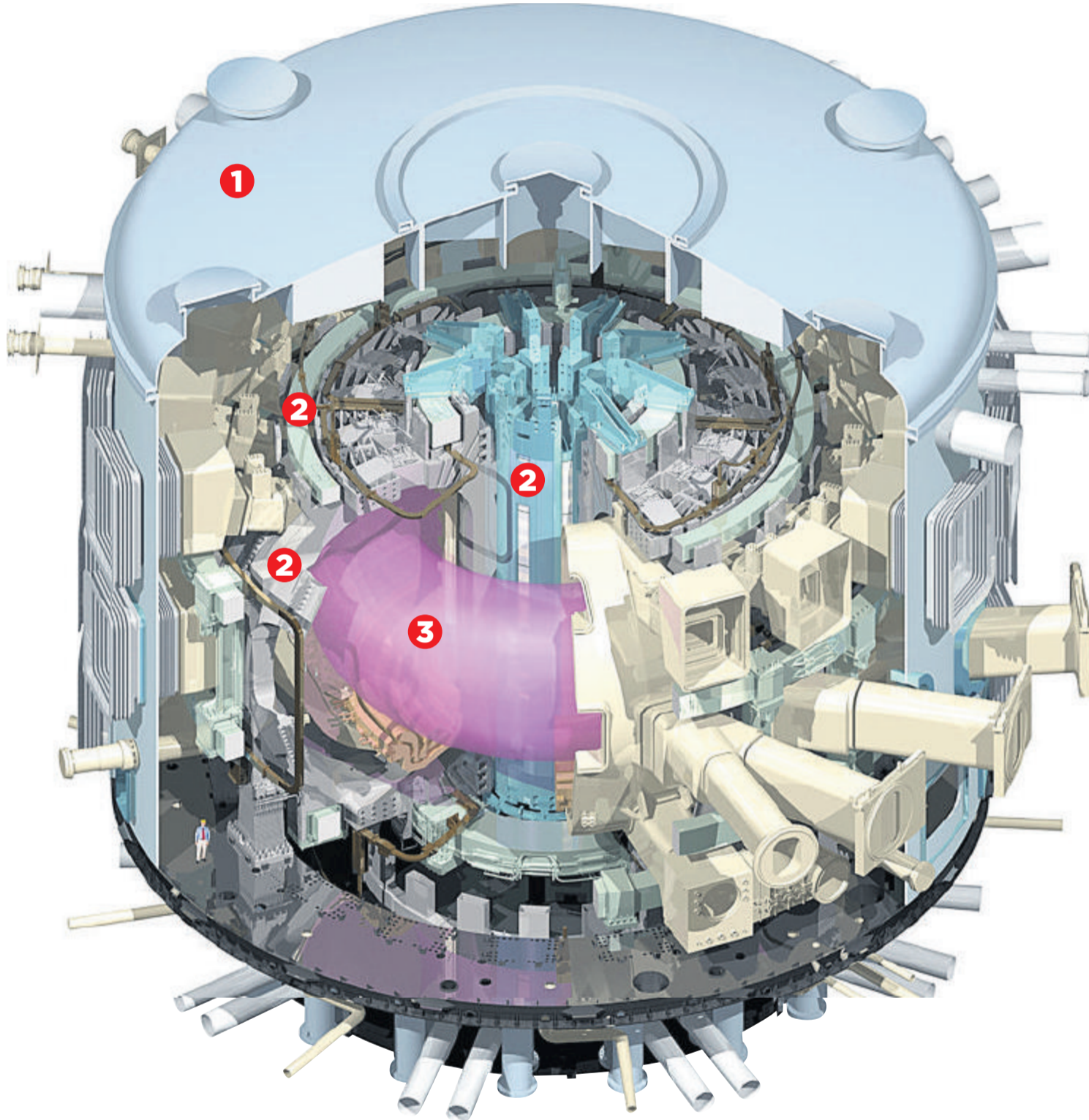
Pourquoi de tels délais? Il a fallu franchir de gros obstacles pour lancer ITER. La taille des équipements, la complexité de la machine, son caractère scientifiquement novateur, son coût, sont autant de raisons. Sans compter la dimension cosmopolite du projet... Selon Remmelt Haange, l'un des directeurs généraux adjoints, il aurait été possible de tout faire en huit à dix ans de moins si ITER n'avait été le fruit que d'une seule nation. «Mais celle-ci n'aurait pas eu les ressources nécessaires; de plus, chaque partenaire aura au final acquis la maîtrise de ces technologies.»

Comment ça marche?

Qu'est-ce que la fusion nucléaire? A l'inverse de la fission, à l'œuvre dans des réacteurs classiques, elle ne consiste pas à fracturer deux atomes, mais à les compacter pour en former un nouveau. Dans les deux cas, une quantité considérable d'énergie est produite, selon la fameuse formule d'Einstein. «Les forces à l'œuvre ici sont environ un million de fois plus importantes que celles obtenues en brûlant du carburant fossile», précise Richard Pitt, physicien membre de l'équipe ITER. Par contre, le cycle de production de l'énergie est ici nettement plus propre que pour la fission. «La fusion est, selon moi, la seule possibilité de produire massivement de l'électricité de manière écologiquement acceptable», déclare Carlos Alejandre, directeur adjoint d'ITER en charge de la qualité et de la sécurité.

Le principe s'inspire de ce qui se passe dans le soleil, où des atomes d'hydrogène se «mettent ensemble» sous l'effet de la force de gravité. «Sur terre, nous n'avons pas la possibilité d'avoir une masse comme celle du soleil, lance Richard Pitt. Il faut utiliser une autre méthode: on chauffe ou on accélère - c'est la même chose - un nuage qui contient du deutérium et du tritium, des variantes de l'hydrogène.» La chaleur nécessaire à l'opération, au moins 150 millions de degrés Celsius, est cent fois plus importante que celle qui règne au cœur de l'astre solaire.

Le deutérium est courant dans l'eau et le tritium sera principalement produit dans le réacteur par interaction avec un



1. Coque externe

Elle prendra place dans un bâtiment actuellement en construction qui mesurera 30 mètres de hauteur (le personnage en bas, à gauche, donne une idée de l'échelle). C'est l'Inde qui est responsable de fabriquer cette coque isolante, dite aussi cryostat.

2. Les aimants

Au nombre de 48, ce seront les plus puissants jamais construits avec la technologie des supraconducteurs. Les forces générées permettront de confiner le plasma tourbillonnant à très haute température. Six aimants circulaires (en vert très clair) seront positionnés à plat, et 18 autres aimants en forme de D seront placés verticalement. Ajoutez encore un complexe de six supraaimants dans la tour centrale, et 18 boucles d'aimants, dit correcteurs. Ces derniers permettront de donner la forme optimale au plasma. Les turbulences de ce genre d'expérience sont très compliquées à modéliser. Dans le cadre d'ITER, une des tâches du CRPP suisse (Centre de recherche en physique des plasmas), à l'EPFL et à Villigen, est précisément d'améliorer cette modélisation.

3. Tore de plasma

L'endroit où la fusion se produira, sous vide. Une sorte de nuage en forme d'anneau, très chaud, où des atomes de deutérium et de tritium vont se rencontrer et s'agréger.



Le site où se construit ITER, à Cadarache (Saint-Paul-lès-Durance). DR



La fosse du réacteur en cours de construction, avec ses 493 piliers d'isolation sismique. DR

autre élément, le lithium. En plus de la chaleur, le processus donnera de l'hélium, un élément utile, en voie de raréfaction dans la nature. Et si le tritium est radioactif, il ne le reste qu'un court laps de temps. En 12,6 ans, un gramme de cet élément se désintègre déjà de moitié: une paille comparé aux centaines de milliers d'années nécessaires pour les différentes variantes de l'uranium. «Notre objectif est

d'obtenir, en injectant 50 mégawatts dans le réacteur, au moins 500 mégawatts à la sortie, déclare Carlos Aljaldre. C'est l'équivalent d'un petit réacteur nucléaire civil à fission.» Mais avec des paramètres de sécurité bien plus confortables. «Ce qui s'est passé à Fukushima ne peut pas arriver ici, continue le scientifique. Notamment parce qu'il n'y a pas de réaction en chaîne dans la fusion.»

La Suisse très active

«Membre de l'organisation Euratom, la Suisse fait partie de l'aventure depuis le début», explique Ambrogio Fasoli, directeur du Centre de recherche fédéral en physique des plasmas, à l'EPFL. Euratom compte 27 pays. Le poids de la Suisse, en termes de collaborateurs et de recherche (5e rang), est sans commune mesure avec sa population: la Confédération investit environ 20 millions d'euros par année dans ITER. Outre le travail de recherche et développement lié à certains aspects du futur réacteur,

le pays peut aussi compter sur des retombées en contrats d'exécution ou de tests de composants. Comme par exemple des miroirs à micro-ondes chez Apco, à Aigle, ou les tests du concept de tous les câbles et aimants d'ITER, réalisés par le CRPP à Villigen (9 millions d'euros sur trois ans). L'expérience acquise en Suisse pour ITER a même débordé dans d'autres secteurs, comme l'imagerie biomédicale (résonance magnétique nucléaire) ou la sécurité. C'est le cas de la petite société Swissto12, spin-off de l'EPFL.

Un projet colossal

- **14 à 15 milliards d'euros** (budget approximatif). L'Europe investit environ **6,5 milliards d'euros**.
- **5000 personnes** sur le site pour la période la plus intense de la construction, prévue pour 2014-2015. Il y en a environ **1500** aujourd'hui.
- Le réacteur de type tokamak (acronyme d'origine russe) pèsera **23 000 tonnes**, trois fois le poids de la tour Eiffel. Ce sera le plus gros jamais construit. Sa chambre à vide, où le plasma sera chauffé, mesurera **840 mètres cubes**.
- Pour **50 mW** d'énergie fournie, il devra en générer au moins **500 mW**.
- **80 000 kilomètres** de câbles supraconducteurs seront nécessaires pour les aimants verticaux, pour un poids de **400 tonnes**. La production annuelle de ce genre de câbles, avant ITER, était de 15 tonnes.
- **150 millions de degrés Celsius** la température qui régnera au cœur du plasma du réacteur, soit dix fois celle du centre du soleil.