

Dans ce numéro

• 35 nations, 40 langues, quelle culture? Page 2

• Ils se lèvent tous pour ITER Page 3

# iter

# le magazine

N°2 FEVRIER 2014



1

# Chaud devant!

## Editorial

ITER n'est pas seulement une grande expérience scientifique ouvrant la voie à l'exploitation industrielle et commerciale de l'énergie de fusion. C'est également une communauté d'hommes et de femmes, venus de 35 pays pour construire ici, sur les rives de Durance, l'une des machines les plus complexes de toute l'histoire de la science et de la technologie.

Ce deuxième numéro d'*ITER le magazine* vous invite à découvrir ces deux aspects du programme ITER, étroitement imbriqués et aussi uniques l'un que l'autre.

L'équipe d'*ITER le magazine*.

[editormag@iter.org](mailto:editormag@iter.org)



china eu india japan korea russia usa

## Du béton tiède dans l'aube glacée

Bien avant l'aube, le 11 décembre dernier, les premiers mètres-cubes de béton ont été coulés sur la dalle du Complexe Tokamak (« B2 slab »).

Sur un chantier ordinaire, l'opération aurait été banale. Ici, elle revêtait une grande importance symbolique : ce qui prenait forme dans le froid mordant, sous la lumière crue des projecteurs du chantier, c'était le « plancher », d'une épaisseur de 1,5 mètres, sur lequel reposeront les 360 000 tonnes du Complexe Tokamak – le cœur même de l'installation ITER.

Pendant une dizaine d'heures, deux énormes pompes ont déversé dans le ferrailage un flot continu de béton : 800 mètres-cubes pour un plot de quelque 500 mètres-carrés.

« Le béton que nous utilisons n'est pas un béton ordinaire, explique Laurent Patisson, responsable des bâtiments nucléaires au sein d'ITER Organization. Il doit répondre à des exigences très rigoureuses en termes de stabilité, d'imperméabilité et de confinement des gaz. »

Aussi le traite-t-on avec de grands égards : réchauffé au sortir de la centrale pour éviter le gel, on le recouvre, une fois coulé, par d'épaisses bâches de plastique sous lesquelles de gros ventilateurs soufflent un air chaud qui régule le processus de séchage.

L'opération du 11 décembre s'est renouvelée le 22 janvier et le 13 février : deux nouveaux plots d'une surface équivalente ont été coulés, finalisant ainsi la partie du radier qui supportera le Bâtiment diagnostics.

La dalle a été divisée en 15 plots de taille à peu près égale, qui seront successivement coulés d'ici la fin de l'été : au total, près de 15 000 mètres cubes de béton qui viendront enserrer les 4 000 tonnes de son armature d'acier.



2

## 35 nations, 40 langues, quelle culture?

**Sur les rives de Durance, à mi-chemin d'Aix-en-Provence et de Manosque, une petite communauté s'est créée – un demi-millier de personnes, venues de 35 pays avec leur langue, leur culture, leurs habitudes de vie et leurs méthodes de travail.**

Il y a parmi eux des physiciens, des secrétaires, des ingénieurs, des comptables, des administrateurs, des spécialistes d'une multitude de domaines différents. Certains viennent des grands laboratoires de recherche, d'autres de l'industrie ou des grandes organisations internationales.

Ces hommes et ces femmes ont été rassemblés pour construire ITER. Les plus âgés ont travaillé pendant plus de trente ans pour voir aboutir ce projet ; les plus jeunes venaient au monde quand le programme fut officiellement lancé à la fin de l'année 1985.

L'anglais, langue maternelle d'à peine 15% d'entre eux, est leur langue de travail quotidienne. Mais pour se comprendre, une langue commune ne suffit pas. C'est là toute la difficulté et toute la richesse du multiculturalisme au sein de l'organisation internationale ITER.

À l'exception des Nations unies, une telle diversité de langues, d'origines et de cultures (nationales et professionnelles) ne se rencontre pas. Aux Nations unies toutefois, chacun œuvre pour le pays qu'il représente – à ITER, quel que soit le pays d'origine, tous sont mobilisés par la réalisation de l'objectif commun.

« Travailler à ITER, c'est être confronté, à chaque instant, à la 'différence' de l'autre, explique Shawn Simpson, qui anime ateliers, séminaires et événements dédiés à 'l'interculturalité' au sein de l'organisation. Et les pièges, linguistiques autant que culturels, sont nombreux. »

Traduits dans la *lingua franca* d'ITER, un simple « oui », un simple « non », un « je souhaite », un « je voudrais » peuvent exprimer des intentions très différentes selon qu'ils sont prononcés par un Japonais, un Chinois, un Américain, un Européen du sud ou du nord, un Indien, un Russe ou un Coréen...

Un geste, amical pour l'un, risque d'être perçu comme excessivement familier par l'autre ; un haussement de ton, banal dans telle culture, sera peut-être ressenti dans une autre comme une agression difficilement supportable.

La formulation des courriels – et il s'en échange des dizaines de milliers, chaque jour, au sein de l'Organisation – reflète elle aussi les valeurs et les traditions de chaque langue, culture ou groupe national. Ici, les formules de politesse sont de règle ; là, elles sont considérées comme superflues. D'où, parfois, de sérieux malentendus.

Le rapport à l'autorité, à la hiérarchie, peut être totalement différent d'une culture à l'autre : souple, collaboratif chez les uns ; plus rigide, plus autoritaire chez les autres.

« La compréhension mutuelle repose sur une remise en question permanente de soi, dit Shawn, Américaine née au Vietnam et qui a grandi, entre autre lieux, en France, au Nigéria, en Australie. Quand les problèmes surviennent, c'est toujours une question d'ego – quelle que soit la nationalité. »

En dépit de ces écueils, de ces « champs de mines »

comme dit Shawn, au travers desquels il faut apprendre à progresser, les hommes et les femmes d'ITER se comprennent. Mieux : ils s'enrichissent mutuellement de leurs particularismes. « On apprend des autres, constamment ; et on apprend beaucoup sur soi. C'est quand même une chance extraordinaire... »

Depuis que les tout premiers arrivants se sont installés dans les préfabriqués mis à leur disposition par le CEA, en 2006, une culture nouvelle s'est peu à peu élaborée, nourrie des apports de toutes les autres. « Quand des Américains vont assister à un spectacle de danse traditionnelle japonaise en France, là, je me dis : l'interculturalité, à ITER, ça marche ! »

Les grandes entreprises humaines, qu'elles soient scientifiques ou non, seront toutes, demain, fondées sur de très larges collaborations internationales. Ce que les hommes et les femmes d'ITER « inventent » et vivent quotidiennement n'est peut-être pas encore un modèle. Mais c'est une expérience exceptionnellement riche, qui suscite déjà l'intérêt d'autres structures internationales.



L'anglais, langue maternelle d'à peine 15% du staff ITER, est la langue de travail quotidienne. Mais pour se comprendre, une langue commune ne suffit pas.



A Cadarache, le tokamak Tore Supra (CEA-Euratom) se transforme en profondeur pour servir de banc d'essais à l'un des dispositifs essentiels d'ITER – le divertor.

## Ils se lèvent tous pour ITER

**Dans sa quête de l'énergie de fusion, ITER ne chemine pas seul. D'autres tokamaks, en Europe, aux Etats-Unis, en Corée, au Japon, travaillent en éclaireurs, balisant le terrain qu'ITER commencera à explorer dans moins de dix ans.**

Différentes par leur taille et leur conception, toutes ces machines ont orienté leur programme scientifique et/ou modifié leurs caractéristiques techniques pour se muer, partiellement ou en totalité, en banc d'essais pour ITER.

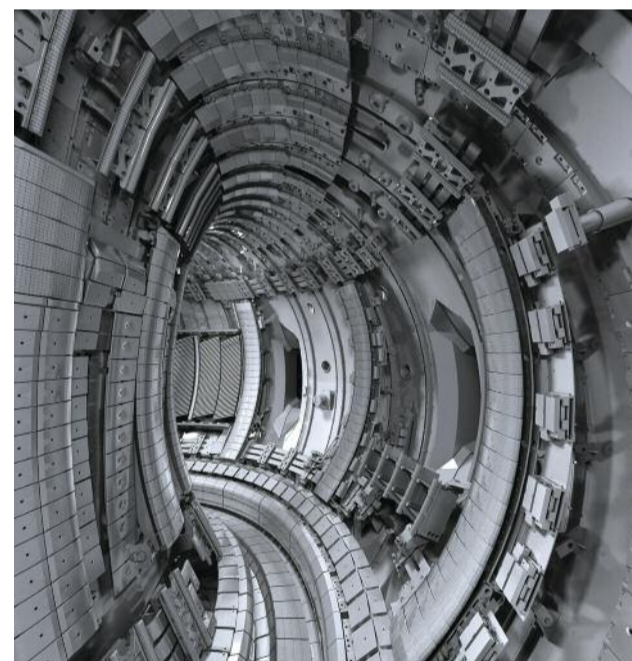
A Cadarache, c'est le tokamak Tore Supra, exploité depuis 1988 par l'association CEA-Euratom, qui se transforme en profondeur <sup>(1)</sup> pour tester l'un des dispositifs essentiels d'ITER – le *divertor*, la pièce la plus exposée au flux de chaleur et de particules généré par la réaction de fusion.

Entamé il y a plusieurs semaines, le « déshabillage » de la chambre à vide de la machine est aujourd'hui parachevé : des monumentales antennes de chauffage aux plus petits éléments de tuyauterie, 1 500 éléments, pour une masse totale de 65 tonnes, ont été démontés, soigneusement répertoriés et entreposés.

Dans cet espace libéré, Tore Supra va pouvoir recréer à échelle réduite une partie de l'environnement d'ITER. Des bobines magnétiques supplémentaires permettront de produire un plasma de même forme que celui de la future machine internationale ; l'installation d'un *divertor* en tungstène permettra d'étudier l'impact des flux de chaleur sur cette pièce stratégique – aussi exposée que le serait un hypothétique vaisseau spatial à proximité immédiate de la surface du Soleil.

Tous les tokamaks aujourd'hui en activité ne subissent pas de transformations aussi radicales. Mais tous sont mobilisés pour anticiper les problématiques auxquelles ITER pourrait être confronté.

(1) C'est le programme WEST pour *W Environment in Steady-state Tokamak*, où W est le symbole chimique du tungstène.



A Culham, au Royaume-Uni, béryllium et tungstène remplacent le carbone des « éléments face au plasma » du tokamak européen JET. © EFDA



## Près de 15 000 visiteurs en 2013, 65 000 depuis l'ouverture du chantier

Près de 15 000 visiteurs ont été accueillis sur le site ITER en 2013. L'organisation de ces visites est assurée par ITER Organization (*ITER Visit Team*) et par l'Agence Iter France, cette dernière se consacrant particulièrement aux populations scolaires.

Si le site Internet propose une information détaillée et accessible, c'est au cours de la visite de site que chacun peut réellement prendre la mesure du programme ITER. Les visites ont pour vocation d'initier le public aux principes de base de la fusion et de leur présenter l'état des travaux en cours. Elles se terminent par un tour de site commenté.

L'*ITER Visit Team* accueille des visiteurs issus de tous horizons : grand public, milieu scientifique, administrations, gouvernements étrangers, monde de l'industrie, etc... Lorsqu'une compétence scientifique ou technique particulière est requise, elle s'appuie sur la

participation de spécialistes du personnel d'ITER Organization.

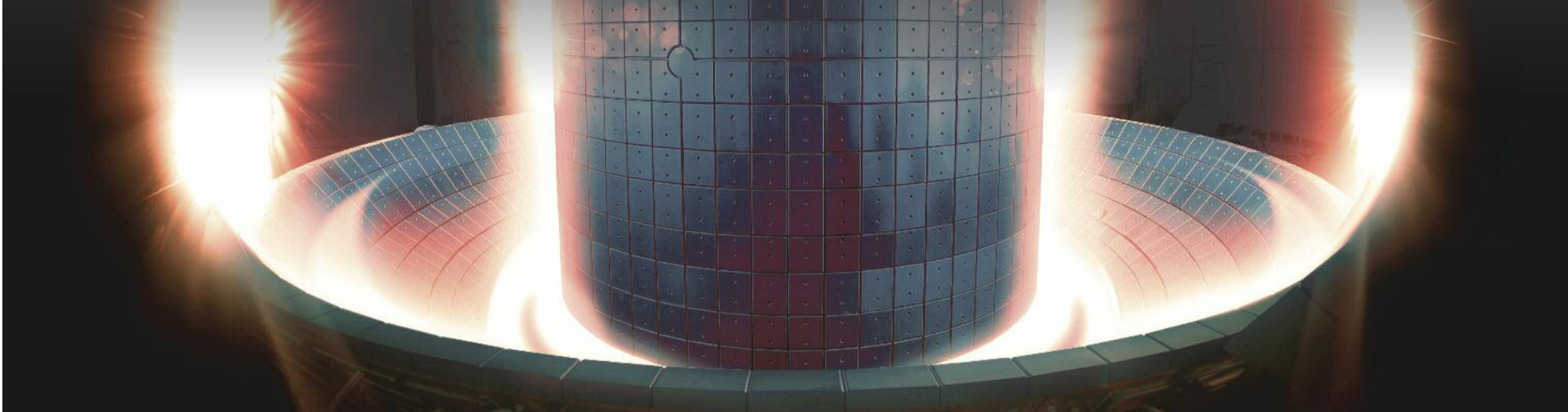
De l'enfant de 10 ans à qui l'on explique la fusion pour la première fois aux experts scientifiques qui voient se concrétiser leur travail de recherche, chaque visite est unique. Les questions les plus fréquemment posées vont de « *Quand verrons-nous les premiers réacteurs de fusion industriels ?* » et « *Combien coûte le projet ITER ?* », à « *D'où provient le tritium ?* » et « *Pourquoi ITER ?* ».

En 2013, les populations scolaires ont représenté 53% du total des visites et le « grand public », 21%. Au total, plus de 65 000 personnes ont visité le site ITER depuis 2007.

**Pour toute demande de visite, rendez-vous sur <http://www.iter.org/fr/visit>, ou adressez un courriel à [visit@iter.org](mailto:visit@iter.org).**

# Chaud devant !

**Le plasma d'ITER sera dix fois plus chaud que le cœur d'une étoile. Comment atteindre de telles températures ? Et dans quoi contenir un tel milieu ?**



Au cœur du tokamak coréen KSTAR, mis en service en 2008, un plasma vient de s'allumer. Sur cette photo, les zones les plus brillantes ne sont pas les plus chaudes : à 150 millions de degrés, le plasma ne rayonne pas dans la lumière visible et c'est au cœur de l'anneau de plasma, sombre sur l'image, que la température est la plus élevée. © National Fusion Research Institute Korea

Dans les profondeurs du Soleil, où les réactions de fusion prennent naissance, la température atteint 15 millions de degrés centigrades. Au cœur du plasma d'ITER, elle sera de l'ordre de 150 à 300 millions de degrés. Comment imaginer un tel environnement ? Et dans quelle enceinte contenir un milieu dix, voire vingt fois plus « chaud » que le cœur du Soleil ?

Pour répondre à ces questions, il faut d'abord comprendre ce qu'est la température. Aux yeux du physicien, la température ne mesure pas seulement le « chaud » et le « froid » – elle rend compte de l'énergie des particules (noyaux, atomes, molécules) qui constituent un objet ou un environnement. Et c'est la vitesse à laquelle ces particules se déplacent qui détermine l'énergie dont elles sont animées.

Ainsi de l'eau : à l'état solide (glace) les molécules sont peu mobiles, la température est basse ; quand celle-ci s'élève, l'agitation des molécules augmente, l'eau devient liquide. Que la température augmente encore et les molécules seront animées de vitesses de plus en plus rapides – l'eau passera de l'état liquide à l'état gazeux sous forme de vapeur d'eau.

La température, toutefois, n'est pas la « chaleur ». Prenons l'exemple de ce qu'on appelle improprement un « néon », c'est-à-dire un tube fluorescent contenant un gaz (néon, argon, vapeur de mercure...) excité par une décharge électrique. Au sein du tube, la température du gaz est très élevée, de l'ordre de 10 à 15 000 degrés. Or, au toucher, un « néon » est presque froid.

Ce paradoxe s'explique par la très faible densité du gaz contenu dans le tube fluorescent. Pour transmettre de la chaleur d'un milieu vers un autre, il faut de la densité et plus celle-ci est élevée, plus grande sera la quantité de chaleur transférée. Une barre de fer exposée au grand soleil pourra être brûlante au toucher ; dans les mêmes conditions un bout de bois, beaucoup moins dense, ne le sera jamais.

Revenons maintenant au plasma d'ITER et à ses 150 à 300 millions de degrés. Le plasma est un milieu très ténu ; c'est un quasi-vide, un million de fois moins dense que l'air que nous respirons. Aux particules qu'il contient, on a imprimé par diverses techniques de chauffage (voir encadré), une formidable énergie. Les voici animées d'une vitesse prodigieuse. Lorsqu'elles entrent en collision frontale, le choc est tel que la barrière électromagnétique qui les entoure cède – la fusion des noyaux peut alors s'accomplir.

Pour une raison contraire à ce que le bon sens suggère, rien, aucun objet physique, ne peut « contenir » un tel milieu, porté à une telle température. Si le plasma à 150 millions de degrés (mais très ténu) entrait en contact avec une quelconque partie de la machine, cette partie serait certes superficiellement endommagée. Mais il y aurait plus grave, et plus lourde de conséquences : le plasma, en dépit de sa température infernale, se refroidirait quasi instantanément, interdisant toute possibilité de fusion.

A cet obstacle fondamental, les « bouteilles magnétiques », dont les tokamaks sont les héritiers, ont fourni dès les années 1950 un début de solution. Dans ce dispositif, sans cesse amélioré depuis, le plasma est confiné par des champs magnétiques très intenses, générés par de puissants électro-aimants. On l'empêche ainsi de se dilater sous l'effet de sa pression interne et d'entrer en contact physique avec les parois internes de la machine.

Au cœur de la machine ITER, physiciens et ingénieurs s'apprêtent à reproduire la réaction physique qui, en alimentant le feu du Soleil, entretient depuis des milliards d'années la vie sur notre planète. Dans cette même réaction, l'humanité trouvera la ressource énergétique, inépuisable, propre et sûre, qui soutiendra son développement dans les siècles à venir.

## Fusion, mode d'emploi

Pour obtenir une réaction de fusion, on placera dans un récipient (la chambre à vide) une toute petite quantité d'un mélange gazeux composé à parts égales de deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium.

En appliquant à ce mélange une forte décharge électrique (un « claquage ») on transformera ce mélange gazeux en plasma – les électrons seront arrachés aux atomes et le milieu deviendra conducteur.

Un courant électrique circulant dans le plasma en augmentera progressivement la température. C'est le principe du grille-pain ou du radiateur électrique (le « chauffage ohmique »), qui permettra d'atteindre une température de l'ordre de 10 millions de degrés C.

Pour aller au-delà, d'autres techniques devront être mises en œuvre : le chauffage par ondes radiofréquence, comme dans un four à micro-ondes (mais les systèmes d'ITER seront 25 000 fois plus puissants qu'un modèle domestique et ils opéreront à différentes longueurs d'ondes...) et l'injection de particules de très haute énergie au cœur du plasma – un peu comme le garçon de café qui chauffe un pot de lait en soumettant son contenu à un jet de vapeur sous pression.

Ces deux dernières techniques sont chacune à même de porter le plasma à la température requise. ITER, machine expérimentale, permettra de choisir laquelle des deux est la mieux adaptée au fonctionnement d'un réacteur industriel.

Photo de Une: un plasma dans le tokamak sphérique MAST, opérationnel depuis 1999 au Centre de recherches pour l'énergie de fusion de Culham, au Royaume-Uni.

ITER Organization Headquarters  
Route de Vinon-sur-Verdon  
CS 90 046  
13067 St. Paul-lez-Durance Cedex  
France

Directeur de la publication  
Michel Claessens  
[michel.claessens@iter.org](mailto:michel.claessens@iter.org)  
Responsable de la rédaction  
Robert Arnoux  
[robert.arnoux@iter.org](mailto:robert.arnoux@iter.org)  
Contributions  
Krista Dulon  
Jooree Cho  
Julie Marcillat

© ITER Organization, février 2014

[www.iter.org](http://www.iter.org)



china eu india japan korea russia usa