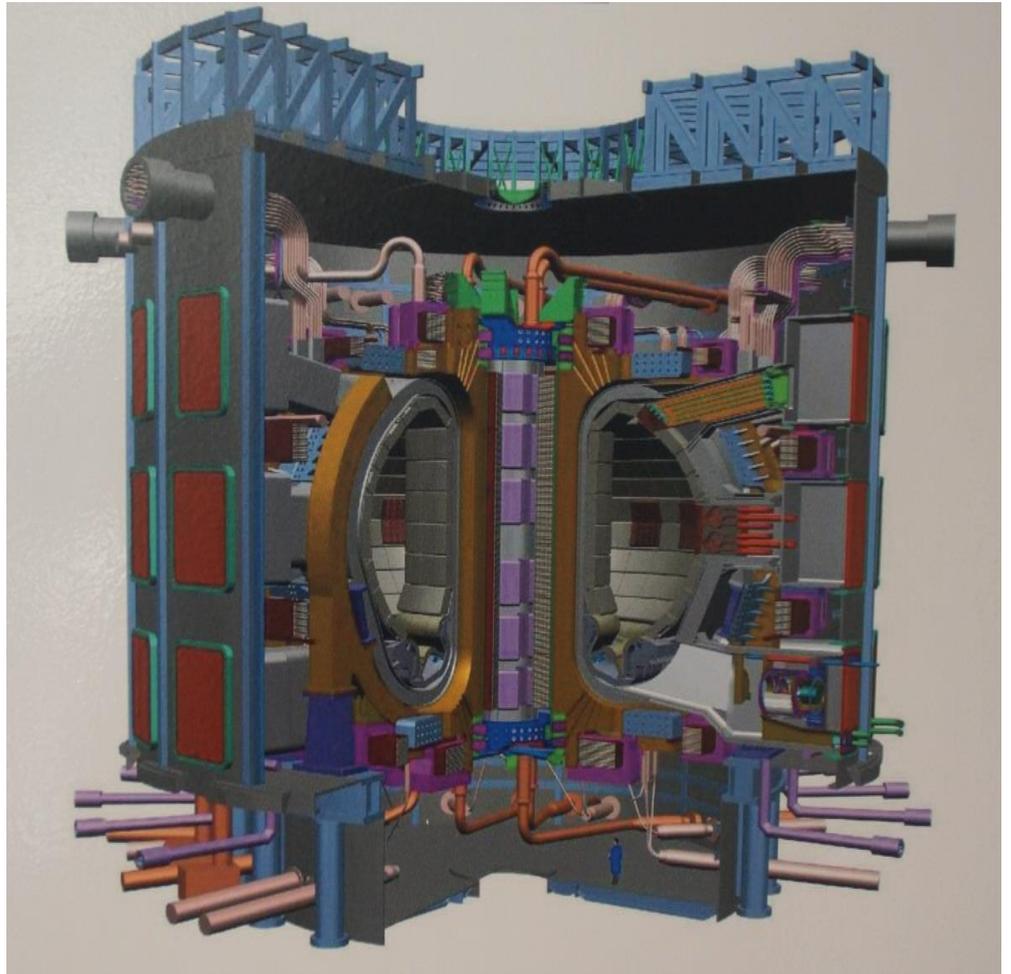


ITER



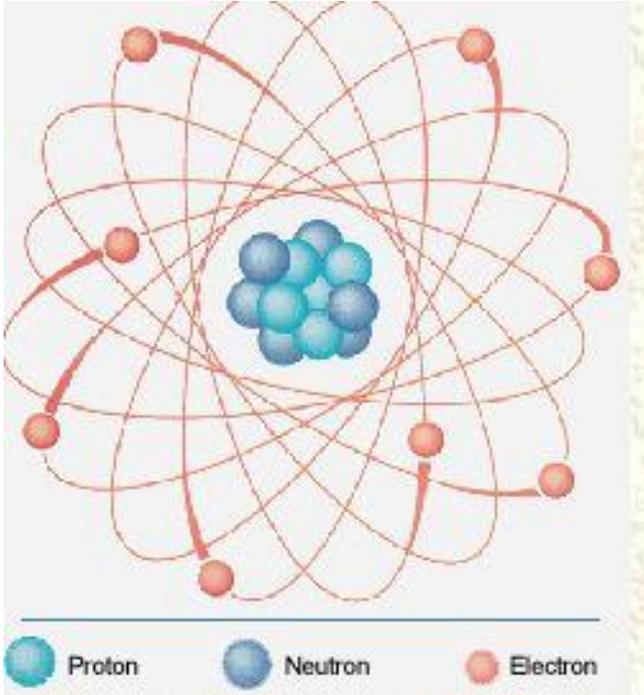
17/04/2015

ITER (International Thermonuclear
Experimental Reactor)

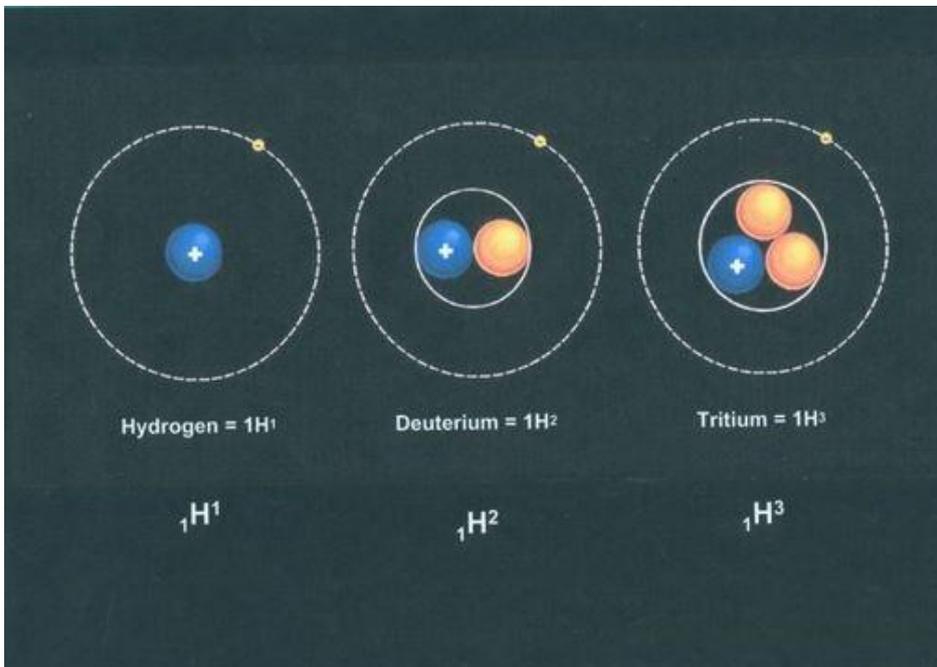
Visite du complexe d'ITER à Saint-Paul-Lez-Duranc

Quelques notions de physique

A) l'Atome :

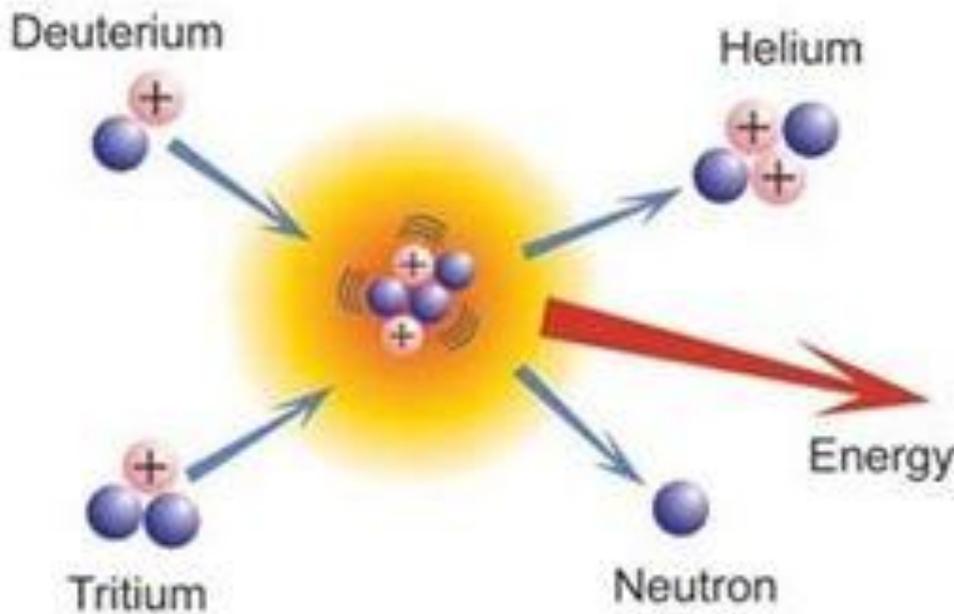


L'atome se compose de 2 parties essentielles, le noyau qui contient les protons et les neutrons et les électrons qui tournent autour du noyau. Les protons sont chargés (+), les neutrons sont « neutres » donc la charge électrique du noyau est (+) et la charge des électrons est (-), l'atome est neutre électriquement donc le nombre d'électrons est égal à celui des protons.



Pour réaliser la fusion on utilise des atomes légers qui sont des isotopes de l'Hydrogène formé d'un proton et d'un électron, le Deutérium qui contient 1 proton et 1 neutron et le Tritium qui contient 1 proton et 2 neutrons. Le Deutérium, isotope de l'Hydrogène se trouve dans l'eau, un litre d'eau de mer, par exemple, contient 33 milligrammes de deutérium. Le Tritium isotope radioactif de l'Hydrogène ne se trouve pas à l'état naturel, on peut toutefois le produire par l'interaction d'un neutron et d'un atome de lithium. Et il en existe des stocks.

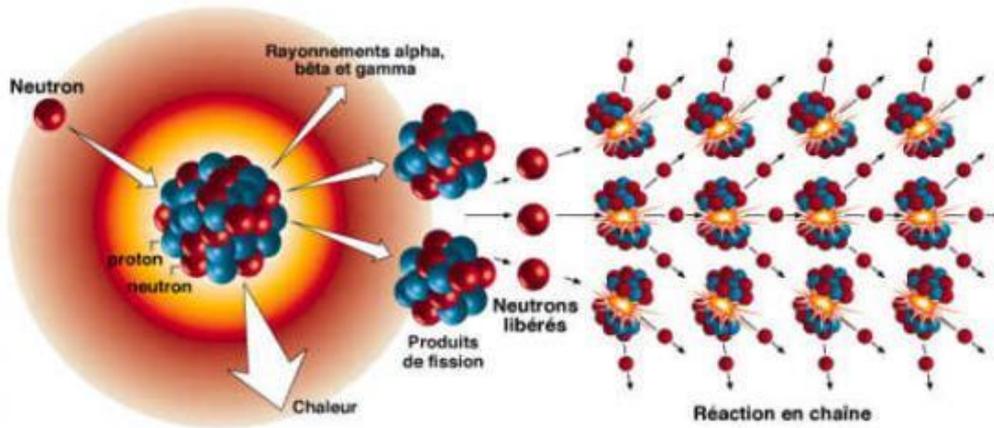
B) Comment la fusion produit-elle de l'énergie ?



On va faire fusionner un noyau de Deutérium avec un noyau de Tritium. Comme on le voit sur le schéma, les 2 noyaux sont chargés positivement, ce qui empêche qu'ils se rencontrent, ils se repoussent. Pour les faire se

rencontrer, il faut qu'ils acquièrent une énergie cinétique telle qu'elle dépasse la force de répulsion, cette vitesse s'obtient en créant un plasma chauffé à 150 millions de degrés. À ces températures extrêmes, les électrons sont séparés des noyaux et le gaz se transforme en plasma, un gaz chaud électriquement chargé. Les noyaux alors peuvent fusionner en créant de l'Hélium (2 protons et 2 neutrons), un neutron est libéré. Comme un peu de la masse a disparu, une grande quantité d'énergie est apparue. Ce phénomène est exprimé par la célèbre formule d'Einstein $E=mc^2$: l'infime perte de masse (m) multipliée par le carré de la vitesse de la lumière (c^2) produit un nombre très élevé (E) qui correspond à la quantité d'énergie créée par la réaction de fusion. Dans le cas d'ITER, la réaction de fusion va se produire dans un tokamak, une machine dans laquelle on va injecter quelques milligrammes de Deuterium et Tritium et qui utilise des champs magnétiques pour confiner et contrôler le plasma chauffé par plusieurs moyens dont les ondes comme dans un micro-onde. Le noyau d'hélium résultant de la fusion est porteur d'une charge électrique et sera donc soumis aux champs magnétiques du tokamak, il restera ainsi confiné dans le plasma. Toutefois, 80 % environ de l'énergie produite sera emportée hors du plasma par le neutron qui, n'étant pas chargé électriquement, demeurera insensible aux champs magnétiques. Les neutrons seront absorbés par les parois du tokamak, transférant leur énergie à ces dernières sous forme de chaleur. Cette chaleur passera dans un liquide et sera utilisée pour produire de la vapeur et, au moyen de turbines et d'alternateurs, de l'électricité.

C) La fission



Actuellement les réacteurs nucléaires en service utilisent le procédé de fission,

Le noyau d'un atome lourd (noyau qui contient beaucoup de nucléons, tels les noyaux d'uranium et de plutonium) est divisé en plusieurs

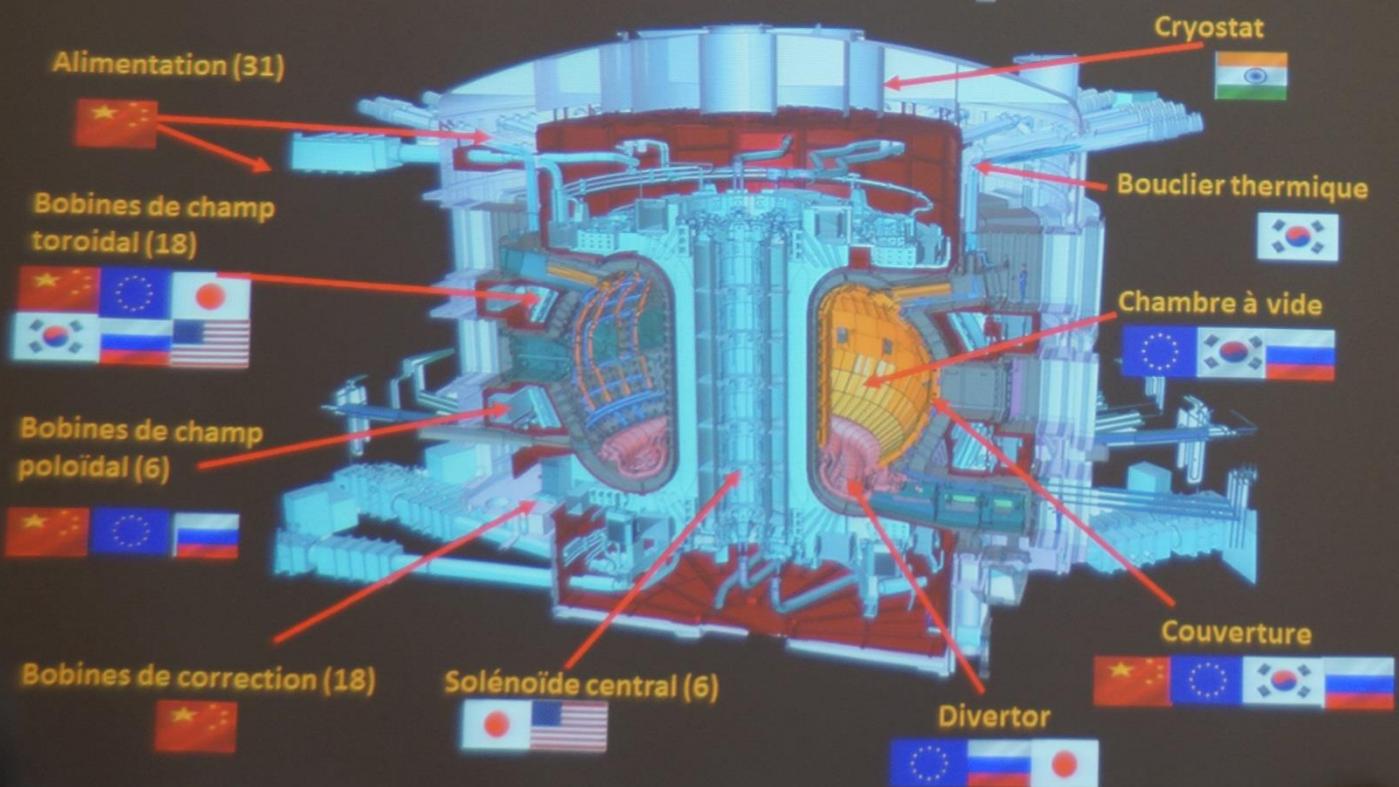
nucléides plus légers, généralement deux nucléides. Cette réaction nucléaire se traduit aussi par l'émission de neutrons et un dégagement d'énergie très important et entraîne une réaction en chaîne qu'il faut alors contrôler.

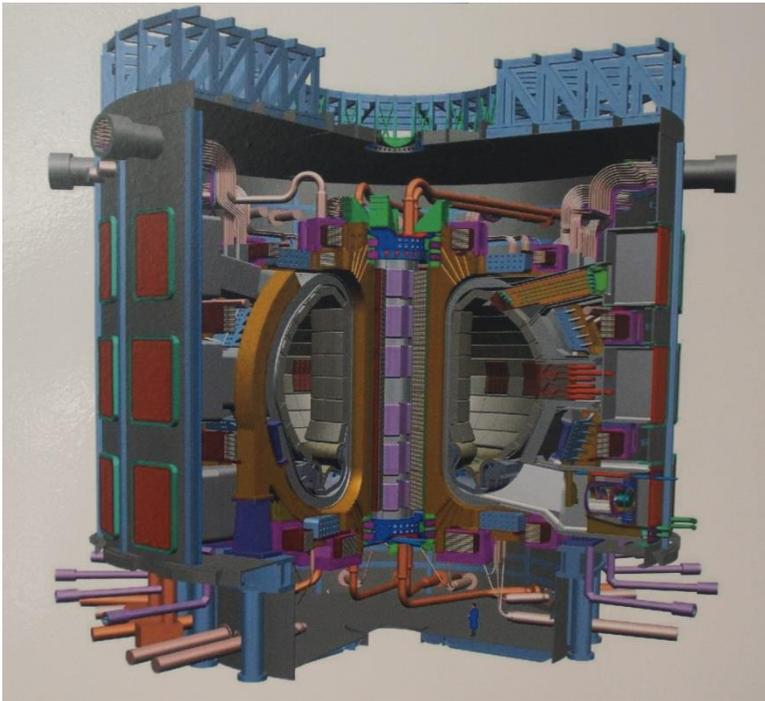
Qu'avons-nous appris sur place ?

1) Qui participe à ITER et qui fabrique quoi dans le Tokamak ?

Participant : Union européenne + la Suisse, Chine, Inde, Japon, Corée, Fédération de Russie et Etats-Unis Les grandes puissances mondiales se sont fédérées au sein d'ITER pour mener à bien l'un des projets scientifiques internationaux les plus vastes et les plus ambitieux de tous les temps. ITER, qui signifie « le chemin » en latin, est fondé sur un niveau de collaboration scientifique sans précédent. Les sept Membres du programme fourniront les principaux éléments de la machine à ITER Organization sous forme de contribution « en nature ». Dans cette perspective, chaque partenaire a créé une « agence domestique » qui gère les contrats industriels. Les Membres d'ITER sont convenus de participer, ensemble, à tous les aspects du programme : recherche scientifique, approvisionnement, financement, ressources humaines, etc. afin que chacun d'eux puisse disposer, à terme, du savoir-faire nécessaire pour construire sa propre centrale de fusion.

Qui fabrique quoi?





Le tokamak d'ITER va peser au total 23 000 tonnes

Le poids de la chambre à vide : 8000 tonnes (le poids de la Tour Eiffel)

Hauteur : 29m

Diamètre ; 28m

Volume de la chambre à vide pour le plasma : 840 m3

TOUT S'EXPLIQUE

LE TOKAMAK DE FUSION NUCLÉAIRE

Le tokamak est un réacteur expérimental permettant de créer et de confiner un plasma de fusion grâce à des champs magnétiques intenses. Ce plasma est un mélange de deutérium (D) et de tritium (T) porté à très haute température pour favoriser les réactions de fusion : lorsque deux noyaux légers D et T fusionnent, ils forment un noyau plus lourd d'hélium, libèrent un neutron et génèrent de l'énergie. La production d'électricité pourra être envisagée dès que les tokamaks généreront cette énergie de fusion dans des puissances et durées suffisantes...

Formation du plasma

Un mélange de quelques milligrammes de deutérium (D) et de tritium (T) est introduit dans l'enceinte à vide du tokamak. L'ionisation du mélange est obtenue grâce à la bobine magnétique centrale du tokamak. Le plasma ainsi créé est ensuite contrôlé par l'action des champs magnétiques des autres bobines, et porté dans l'état de densité (un million de fois moins qu'à l'ambiant) et de température (cent millions de degrés) propice à la fusion nucléaire.

Chauffage du plasma

Les dix premiers millions de degrés proviennent de l'effet joule du courant électrique très intense (plusieurs millions d'ampères) généré dans le plasma. Puis, deux méthodes sont utilisées pour atteindre cent millions de degrés. La première consiste à injecter dans le plasma, comme une goutte d'eau bouillante dans un café froid, du combustible surchauffé ① entre 1 et 10 milliards de degrés dans un accélérateur de particules. La seconde envisage, comme dans un four à micro-ondes, des ondes radio très haute fréquence ② aux ions et électrons du plasma. À terme, la température sera entretenue par les noyaux d'hélium produits par les réactions de fusion ③.

Confinement du plasma

Le plasma de fusion, chaud et ténu, ne peut entrer en contact avec les parois denses et froides de l'enceinte du tokamak sans disparaître instantanément. Pour le confinement de ces plasmas, une combinaison de champs magnétiques intenses (50 000 fois le champ terrestre) produite par les bobines est utilisée. Elle produit des lignes de champ magnétique qui emprisonnent le plasma, en le contraignant à se déplacer le long de ces lignes ④.

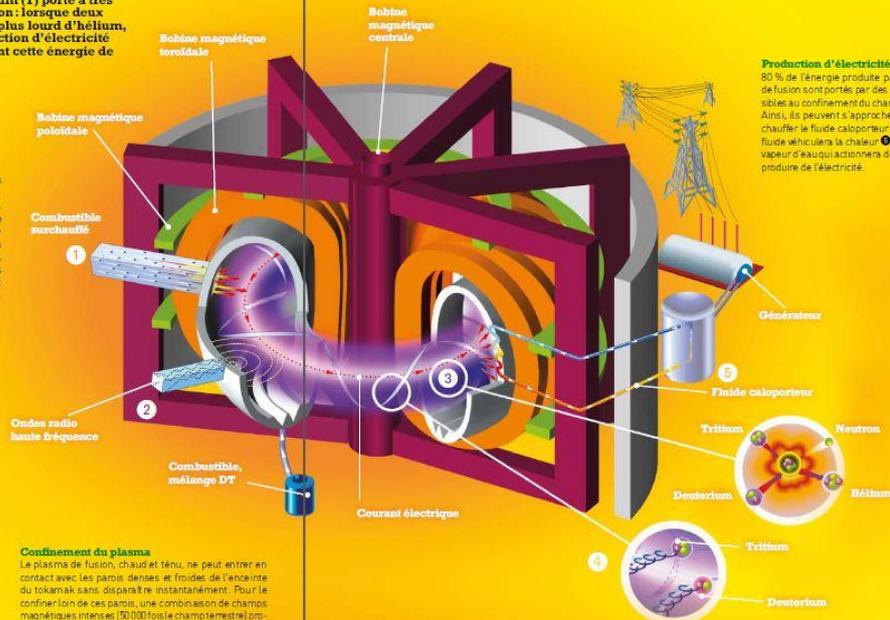
À SAVOIR

Des combustibles abondants

Le deutérium est très abondant (10 mg par litre d'eau) et peu coûteux à isoler. Le tritium, élément radioactif de courte période, n'existe pas dans la nature mais peut être fabriqué en bombardant, avec les neutrons produits par les réactions de fusion, le lithium contenu dans les couvertures tritigènes (paroi interne) du tokamak, avec les neutrons produits par les réactions de fusion.

Production d'électricité

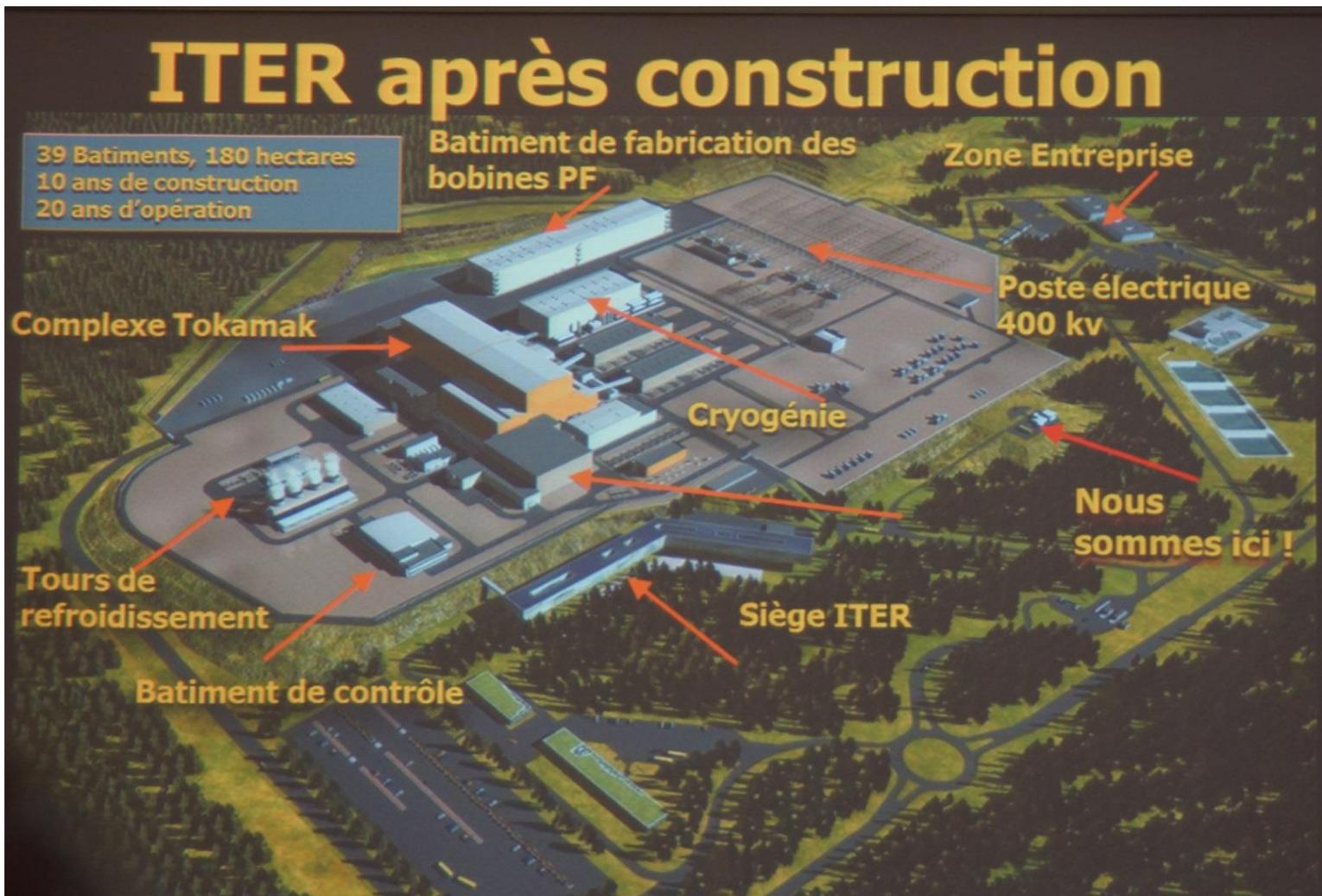
80 % de l'énergie produite par les réactions de fusion sont portés par des neutrons insensibles au confinement du champ magnétique. Ainsi, ils peuvent s'approcher des parois et chauffer le fluide caloporteur qui y circule. Ce fluide véhiculera la chaleur ⑤ pour générer la vapeur d'eau qui actionnera des turbines pour produire de l'électricité.



Source : <https://www.google.fr/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=le+tokamak+et+tout+s%27explique&spell=1>

2) Le chantier

Le programme a été lancé en 1985 en vue de pallier la disparition des sources combustibles fossiles. Signé en 2006, l'accord a été l'objet d'après négociations entre les pays partenaires notamment sur son implantation. C'est le site de Cadarache qui a été retenu. C'est en 2010 que les travaux ont pu commencer pour réaliser la plateforme de 42 hectares. Le Complexe tokamak est niché au cœur d'une fosse d'isolation sismique, profonde de 17 mètres, longue de 130 mètres et large de 90. Cet espace a été creusé pour recevoir le radier en béton, les murs de soutènement, et les plots parasismiques qui protégeront les bâtiments et les équipements en cas d'événement sismique.



3) Le calendrier

Le chantier de construction d'ITER devrait s'achever en 2019. Viendra ensuite une phase de tests durant laquelle il faudra s'assurer que tous les systèmes fonctionnent de manière coordonnée et préparer la machine pour réaliser le premier plasma en novembre 2020. La phase d'exploitation devrait durer vingt ans C'est seulement à la fin d'une période de multiples tests soit vers 2035 que la machine fonctionnera à plein régime et révélera si elle produit alors plus qu'elle ne consomme. ITER n'est pas une fin en soi mais une étape vers une installation pré-industrielle qui démontrera la faisabilité de la production d'électricité et de l'autosuffisance en tritium. Le réacteur de démonstration DEMO, dont la conception pourrait être achevée d'ici 2017, succédera immédiatement à ITER. Si tout se passe comme prévu, DEMO inaugurerait l'ère de la fusion industrielle. L'exploitation devrait commencer au début des années 2030, la commercialisation d'électricité issue de la fusion étant prévue vers 2040

4) Quelques vues du chantier



La forêt de grues

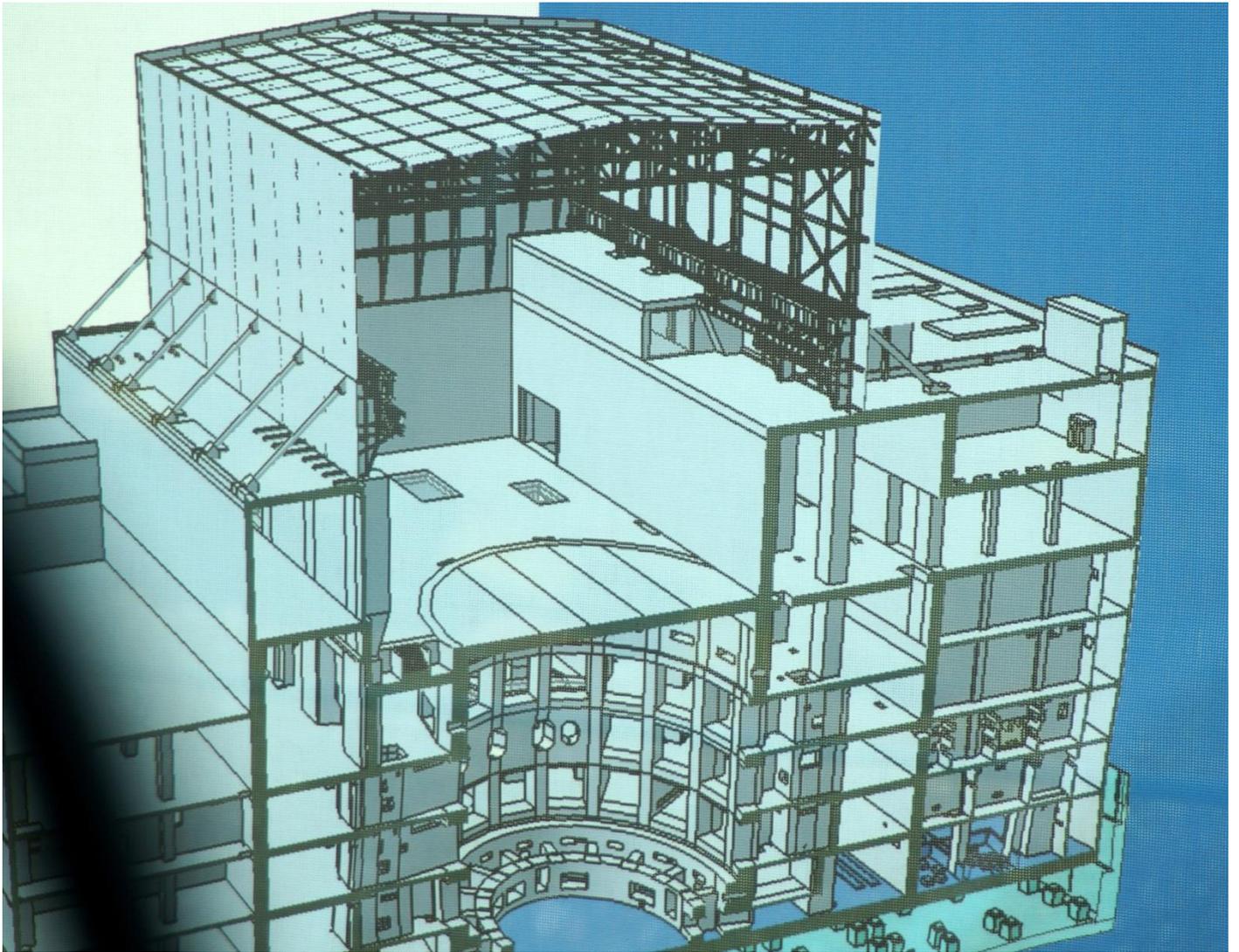


L'accès à la fosse du tokamak





On aperçoit le cercle de l'enveloppe du tokamak



Le bâtiment du tokamak et des annexes on aperçoit en bas les plots antisismiques sur lesquels a été coulée la dalle qui va supporter le complexe



Vues du bâtiment en construction



5) Pour amener les éléments, c'est tout un trajet qu'il a fallu adapter...



Un moyen de transport spécifique a été réalisé, 46 m de long, 800 tonnes, 352 roues...

Entre 2014 et 2019, 230 convois de ce genre vont emprunter l'itinéraire ITER à une vitesse moyenne de 15-20 kmh.

Au total il faudra assembler plus d'un million de pièces fabriquées sur toute la planète pour réussir à faire fonctionner ITER



Ici le premier transformateur fabriqué par les EU et le Japon arrivé par la voie ITER le 20 septembre 2014

5) Avantages de la fusion

	Fusion	Fission
Combustible	Deutérium abondant Tritium : on espère le produire dans les parois du tokamak et ainsi être auto-producteur Donc sources quasi illimitées	Uranium 235 et Plutonium 239 : épuisement des réserves dans 150-200 ans environ de plus ils sont de plus en plus chers.
Dangers	Au moindre problème le plasma refroidit et le processus s'arrête	Si la réaction en chaîne s'emballe, il y a risque d'accident (type Tchernobyl)
Radioactivité : (temps pour la demi-vie, diminution de moitié de la radioactivité)	La demi-vie du Tritium est de 12,5 ans	La demi-vie de l'Uranium est de 710 millions d'années posant donc le problème des déchets et de leur stockage
Energie libérée	Le processus de fusion dégage en théorie 5 fois plus d'énergie que la fission.	
<p>Toutefois, il reste à prouver que le processus de fusion au-delà des calculs théoriques produit plus d'énergie qu'il n'en consomme (ce qui n'est pas le cas du 1^{er} réacteur JET en Angleterre) et qu'il est possible de stabiliser le plasma chauffé à 150 millions de degrés. C'est donc tout l'enjeu d'ITER.</p>		

Même si nous n'avons vu qu'un immense chantier, les explications données sur place permettent de se faire une idée de ce que sera ce complexe, ce n'est toutefois pas avant 2030-2035 que l'on saura si ce gigantesque effort dont les coûts ont déjà été multipliés par plus de 3 soit à 16 milliards actuels, d'euros, se traduit par une possibilité d'industrialisation de ce processus.

Sources complémentaires

Le site général d'ITER : <http://www.iter.org/fr/accueil>

Pour ceux qui ont du mal à comprendre sans démonstration, un petit film animé :

<http://www cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/dossiers/fusion-s>

Un film également de la construction :

<http://www.universcience.tv/video-iter-sort-de-terre-en-provence-6061.html>

Fin ITER