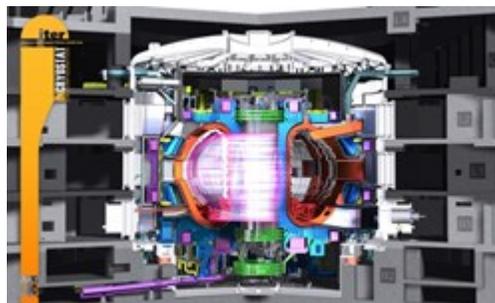


ITER, c'est quoi ?

ITER (en latin le « chemin ») est l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie.



En France, dans le département des Bouches-du-Rhône, 35 pays sont engagés dans la construction du plus grand tokamak jamais conçu, une machine qui doit démontrer que la fusion — l'énergie du

Soleil et des étoiles — peut être utilisée comme source d'énergie à grande échelle, non émettrice de CO₂, pour produire de l'électricité.

Les résultats du programme scientifique d'ITER seront décisifs pour ouvrir la voie aux centrales de fusion électrogènes de demain.

ITER sera la première installation de fusion capable de produire **une quantité d'énergie nette**. La machine réalisera des décharges de plasma de longue durée et testera également, pour la première fois, les technologies, les matériaux, ainsi que les régimes de plasma requis pour produire de l'électricité dans une perspective commerciale.

Des milliers d'ingénieurs et de scientifiques ont contribué à la conception d'ITER depuis que l'idée d'une collaboration internationale sur l'énergie de fusion a été lancée en 1985. Les Membres d'ITER (la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis) se sont engagés dans une collaboration de trente-cinq ans pour construire et exploiter l'installation expérimentale ITER. Un réacteur de démonstration pourra être conçu sur la base de ce retour d'expérience.

Nous vous invitons à découvrir le site internet d'ITER où vous trouverez plus d'information sur la science d'ITER, la collaboration internationale et l'immense chantier en cours à Saint Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône).

ITER pour quoi faire ?

La quantité d'énergie de fusion qu'un tokamak peut produire dépend du nombre de réactions de fusion qui se produisent en son cœur. Plus l'enceinte est grande (et donc également le volume de plasma) plus grand sera le potentiel de production d'énergie de fusion.

$$Q \geq 10$$

Avec un volume de plasma dix fois supérieur à celui de la plus grande machine de fusion opérationnelle aujourd'hui, le tokamak ITER sera un outil expérimental unique, capable de générer des plasmas de longue durée. La machine a été spécifiquement conçue pour :

1) Produire 500 MW de puissance de fusion

Le record de puissance de fusion produite est détenu par le tokamak européen JET. En 1997, cet tokamak a généré 16 MW de puissance de fusion pour une puissance de chauffage totale de 24 MW. Ce ratio (ou « Q ») de 0,67 devrait être porté à 10

par ITER — 500 MW de puissance de fusion pour une puissance en entrée de 50 MW. ITER étant une machine expérimentale qui ne fonctionnera pas de manière continue, l'énergie produite ne sera pas convertie en électricité. Cette étape sera réalisée par la machine qui lui succédera.

2) Démontrer le fonctionnement intégré des technologies d'une centrale de fusion électrogène

ITER marque la transition entre les dispositifs de fusion expérimentaux actuels et les démonstrateurs industriels du futur. Avec cette machine de très grande taille, les scientifiques pourront étudier les plasmas dans les conditions qui seront celles d'une centrale de fusion électrogène et tester des technologies telles que le chauffage, le contrôle, le diagnostic, la cryogénie et la télémaintenance.

3) Réaliser un plasma deutérium-tritium auto-entretenu

La recherche sur la fusion se trouve aujourd'hui au seuil de l'exploration du « plasma en combustion » — un plasma au sein duquel la chaleur de la réaction de fusion demeure confinée de manière suffisamment efficace pour entretenir une réaction de longue durée. Les plasmas d'ITER, plus volumineux, produiront beaucoup plus de puissance de fusion et demeureront stables pendant des durées plus longues.

4) Expérimenter la production de tritium

Dans une phase d'exploitation ultérieure, l'une des missions d'ITER consistera à démontrer la faisabilité de la production de tritium au sein même de l'enceinte à vide. L'inventaire mondial de tritium (utilisé avec le deutérium pour alimenter la réaction de fusion) n'est en aucun cas suffisant pour couvrir les besoins des futures centrales de fusion électrogènes. ITER offrira l'opportunité unique de tester des maquettes de couvertures « tritigènes » dans l'environnement d'un réacteur de fusion.

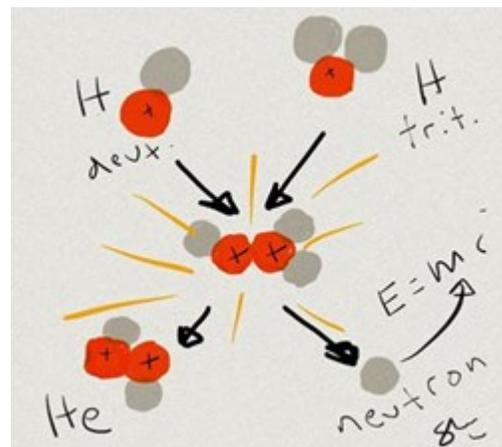
5) Démontrer la sûreté d'un dispositif de fusion

Une étape importante dans l'histoire de la fusion a été franchie en 2012 quand ITER Organization, après un examen rigoureux de ses dossiers de sûreté, a obtenu l'autorisation de création de l'installation nucléaire ITER et en est devenu l'opérateur nucléaire. L'un des principaux objectifs d'ITER est de démontrer que les réactions de fusion qui se produisent au sein du plasma sont sans impact sur les populations et l'environnement.

Qu'est-ce que la fusion ?

La fusion est la source d'énergie qui alimente le Soleil et les étoiles. Dans les conditions de pression et de température extrêmes qui règnent au cœur de ces corps stellaires, les noyaux d'hydrogène entrent en collision et fusionnent pour former des atomes d'hélium et libérer de considérables quantités d'énergie au cours de ce processus.

De toutes les réactions de fusion possibles, c'est la réaction entre le deutérium et le



tritium (deux isotopes de l'hydrogène) qui se révèle la plus accessible en l'état actuel de notre technologie.

Dans un tokamak, trois conditions doivent être remplies pour obtenir des réactions de fusion : une température très élevée (de l'ordre de 150 millions de degrés Celsius), une densité de particules suffisante pour produire le plus grand nombre de collisions possibles, et un temps de confinement de l'énergie suffisamment long pour que les collisions se produisent avec la plus grande vitesse possible.

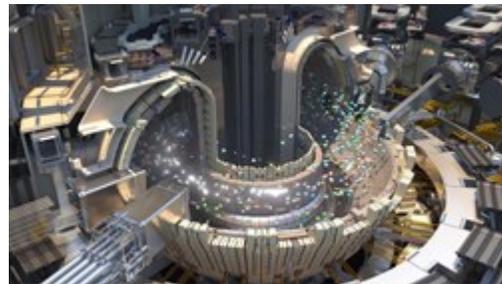
Lorsqu'un gaz est porté à très haute température, les atomes se dissocient : les électrons et les noyaux sont séparés les uns des autres et le gaz se transforme en plasma (quatrième état de la matière). C'est dans ce milieu que les noyaux légers peuvent fusionner et générer de l'énergie.

Dans un tokamak, des champs magnétiques très puissants sont mis en œuvre pour confiner et contrôler le plasma.

*Consulter la section Science pour en savoir plus sur la **fusion** et les **plasmas**.*

Qu'est-ce qu'un tokamak ?

On produit de l'électricité en utilisant l'énergie des combustibles fossiles, des réactions de fission nucléaire, ou celle des ressources renouvelables, comme l'eau ou le vent. Quelle que soit la source d'énergie, les centrales génèrent de l'électricité en transformant une puissance mécanique, comme la rotation d'une turbine, en puissance électrique. Dans le cas des énergies fossiles et de l'énergie nucléaire, la chaleur produite transforme l'eau de refroidissement en vapeur, laquelle actionne des turbines qui produisent de l'électricité par l'entremise d'un alternateur.



Avec l'aimable autorisation de Jamison Daniel, Oak Ridge Leadership Computing Facility (US)

Le **tokamak** est une machine expérimentale conçue pour exploiter l'énergie de la fusion. Dans l'enceinte d'un tokamak, l'énergie générée par la fusion des noyaux atomiques est absorbée sous forme de chaleur par les parois de la chambre à vide. Tout comme les centrales électrogènes classiques, une centrale de fusion utilise cette chaleur pour produire de la vapeur, puis, grâce à des turbines et à des alternateurs, de l'électricité.

Le cœur du tokamak est constitué d'une chambre à vide en forme d'anneau. À l'intérieur, sous l'influence d'une température et d'une pression extrêmes, le gaz d'hydrogène se mue en plasma — le milieu dans lequel les atomes d'hydrogène peuvent fusionner et générer de l'énergie. (Pour en savoir plus sur cet état particulier de la matière, cliquez [ici](#).)

Les particules qui composent le plasma, électriquement chargées, peuvent être confinées et contrôlées par les imposantes bobines magnétiques placées autour de l'enceinte. On tire parti de cette propriété pour maintenir le plasma chaud à l'écart des parois de l'enceinte. Le mot « tokamak » est un acronyme russe qui signifie : « chambre toroïdale avec bobines magnétiques ».

La configuration tokamak, conçue par les chercheurs soviétique au début des années 1950, a été adoptée dans le monde entier comme la plus prometteuse. Avec un volume de plasma dix fois plus important que celui du plus grand tokamak en activité ITER sera, de loin, la plus grande machine de fusion du monde.

*Se reporter à la section **Machine** pour en savoir plus sur le tokamak et ses éléments.*

Qui participe ?

Le programme ITER est issu d'une collaboration à l'échelle mondiale dans laquelle 35 pays sont engagés.

Les membres d'ITER (**la Chine, l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis**) ont mis en commun leurs ressources pour réaliser une grande ambition : reproduire sur Terre l'énergie illimitée qui alimente le Soleil et les étoiles.



L'Accord ITER, conclu par les signataires en 2006, stipule que les sept Membres partagent le coût de la construction, de l'exploitation et du démantèlement de l'installation. Ils partageront également les résultats expérimentaux ainsi que toute propriété intellectuelle générée par la phase d'exploitation, prévue de 2022 à 2042.

L'Europe assume la plus grande partie du coût de construction (45,6 %) de l'installation; la part restante est assumée de manière égale par la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États-Unis (9,1 % chacun).

La contribution des Membres se fait essentiellement « en nature », sous forme de fourniture de bâtiments, pièces et systèmes à ITER Organization.

Les Membres d'ITER représentent trois continents, plus de 40 langues, la moitié de la population de la planète et 85 % de la production de richesse mondiale. Dans les bureaux d'ITER Organization à Saint-Paul-lez-Durance (13) ; dans les agences domestiques créées par les Membres d'ITER ; dans des laboratoires et dans l'industrie des milliers de personnes sont engagées dans le programme ITER.

ITER Organization a également conclu deux accords de coopération technique avec des pays non-Membres—**l'Australie** en 2016 (au travers l'agence australienne pour la science et la technologie ANSTO) et **le Kazakhstan** en 2017 (au travers le centre nucléaire national du Kazakhstan)—ainsi qu'un protocole d'entente avec le **Canada** (pour explorer les possibilités de coopération), un accord de coopération avec **l'Institut de technologie nucléaire thaïlandais**, et plus de 60 accords de coopération avec des organisations internationales, des laboratoires nationaux, des universités et des écoles des pays membres.

*Se reporter à la page **Membres** pour afficher les liens vers les sept agences domestiques.*

Quand commenceront les expériences ?

La date du Premier Plasma est fixée au mois de décembre 2025.

La construction des bâtiments de l'installation scientifique a débuté au cours de l'été 2010 sur une plateforme de 42 hectares dans les départements des Bouches-du-Rhône. Les travaux de génie civil du Complexe tokamak—au centre de l'installation—ont commencé en 2014. C'est dans cet édifice, constitué de trois bâtiments, que se dérouleront les expériences de fusion.



De manière progressive, à partir de 2020, ITER Organization procédera à l'intégration et à l'assemblage des différents éléments de la machine. Une phase d'essais, destinée à vérifier que l'ensemble des systèmes fonctionne de manière satisfaisante, préparera la machine en vue de son exploitation.

La réussite de l'intégration et de l'assemblage de plus d'un million de composants (dix millions de pièces) fabriqués dans les usines des Membres d'ITER dans le monde entier et acheminés vers le site d'ITER représente un défi logistique et d'ingénierie extraordinaire. Le premier évènement majeur de la phase d'assemblage est prévu pour mars 2020 : l'installation de la base du cryostat (un composant en acier de 1 250 tonnes). La séquence précise des opérations d'assemblage a été définie et coordonnée avec soin dans les différents bureaux d'ITER à travers le monde.

Au mois de novembre 2017, ITER Organization a officiellement annoncé aux gouvernements des pays membres du programme que 50% de l'ensemble des activités indispensables pour produire le « premier plasma » avait été réalisé. (*Plus d'informations [ici](#).)* Le programme a aujourd'hui finalisé 63,4 % des tâches indispensables à la production du premier plasma (juillet 2019).

Les grandes étapes d'ITER

2005	Choix du site de Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône)
2006	Signature de l'Accord ITER
2007	Création d'ITER Organization
2007-2007	Préparation de la plateforme (déboisement, nivellement)
2010-2014	Fondations du Complexe tokamak
2012	Un décret officiel autorise ITER Organization à créer l'Installation nucléaire de base (INB) ITER
2014-2021	Construction du Bâtiment tokamak (accès dès 2019 pour les premières opérations d'assemblage)
2010-2021	Construction de l'installation ITER et des bâtiments auxiliaires nécessaires au Premier Plasma
2008-2021	Construction de l'installation ITER et des bâtiments auxiliaires nécessaires au Premier Plasma
2015-2023	Fabrication des principaux éléments et systèmes pour le Premier Plasma
2020-2025	Transport (via l'Itinéraire ITER) et livraison sur site des éléments
2022	Assemblage phase I
2024	La chambre à vide est formée
2024-2025	Fermeture du cryostat

Déc 2025 Tests intégrés et mise en exploitation

2026

Premier Plasma

2035

Assemblage phase 2

Le Conseil

Opération en deuterium-tritium

*portera la plus grande attention à la performance d'ITER Organization et des Agences domestiques, particulièrement pour ce qui concerne la réalisation des différents jalons programmés. **Se reporter à la section Les Grandes Dates pour voir une sélection de dates importantes menant à la réalisation du Premier Plasma.***

Se reporter à la section **Le Chantier** pour en savoir plus sur les phases de construction et d'assemblage.