

## Foire aux questions

Retrouvez dans cette rubrique les questions les plus récurrentes sur le programme ITER.

Choix de la catégorie  ▼

### Développement de la fusion et le projet ITER

ITER : C'est quoi ?

À quelles questions, non encore résolues par la recherche, répondra ITER ?

Existe-t-il au sein de la communauté scientifique un consensus sur le projet ITER ?

Qu'ont apporté les tokamaks en 60 ans dans la recherche ?

Quels sont les avantages d'ITER par comparaison aux autres approches en cours de développement comme le Wendelstein 7-X stellarator en Allemagne ou les programmes de fusion par confinement inertiel aux États-Unis et en France ?

Comment est organisée la collaboration internationale autour du programme ITER ?

### Le calendrier d'ITER

Quand ITER sera-t-il opérationnel ?

A quelle date les premiers éléments géants destinés à la machine emprunteront-ils l'itinéraire ITER ?

Est-ce que le programme ITER prend du retard sur son planning ?

Que font les Membres pour gérer les difficultés et les retards de calendrier du programme ?

Nous avons entendu dire que le programme était retardé. Est-ce que les membres d'ITER sont prêts à augmenter leur contribution financière ?

Peut-on craindre qu'ITER soit confronté à des difficultés de mise en route comme celles rencontrées, par exemple, par le LHC avec son réseau d'aimants ?

### Le coût du projet ITER

Comment ITER est-il financé ?

Quelle est le montant de la contribution de la France, « pays hôte » du projet ITER ?

Pourquoi le coût d'ITER a-t-il augmenté ?

Sait-on vraiment ce qu'ITER va coûter ?

Les milliards dépensés pour la fusion ne seraient-ils pas plus utiles s'ils étaient consacrés à l'amélioration d'énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien et la géothermie ?

Les coûts risquent-ils encore d'augmenter ?

### Retombées Economiques

Quels avantages économiques la France retire-t-elle de la présence d'ITER ? Et la région ? Est-ce qu'ITER crée de l'emploi ?

### ITER et l'amplification de puissance

J'ai lu que l'objectif principal du programme ITER était de générer un « Q » d'au moins 10. Qu'est-ce que cela veut dire ?

« Q » est le symbole de l'amplification de puissance délivrée par le plasma. Il exprime le ratio entre la puissance injectée par les systèmes de chauffage externes pour porter le plasma à la température requise pour que les réactions de fusion se produisent et la puissance générée en retour par ces mêmes réactions de fusion.

Rappelons comment les conditions de fusion seront créées dans la machine ITER.

- Le combustible gazeux sera introduit dans la chambre à vide par un système d'injection. Quelques grammes seulement suffisent pour occuper le volume de la chambre à vide du tokamak ;
- Un courant électrique injecté dans le plasma déclenchera un « claquage » et une ionisation du gaz — celui-ci se mue en « plasma », quatrième état de la matière ;
- Les variations des champs magnétiques utilisés pour contrôler le plasma génèrent un effet de chauffage (*voir plus d'information sur le « chauffage ohmique » [ici](#)*). Mais pour porter le plasma d'ITER à la température requise, des moyens de **chauffage externe** seront également nécessaires ;
- Les millions de watts de puissance de chauffage transférés au plasma sont pris en compte dans le ratio « Q » qui exprime le rapport entre la puissance de chauffage injectée dans le plasma et la puissance de fusion restituée.

ITER est conçu pour produire 500 MW de puissance de fusion, soit dix fois la puissance que les systèmes de chauffage auront fournie au plasma pour le porter à la température à laquelle les réactions de fusion peuvent se produire.

[http://www.iter.org/fr/faq#I\\_re](http://www.iter.org/fr/faq#I_re) Copier ce lien Copié

Est-ce que  $Q \geq 10$  représente une vraie avancée ?

Oui, c'est indéniablement une avancée. Le seuil d'équilibre énergétique du plasma (« *breakeven* », ou  $Q=1$ )—qui correspond au moment où un plasma libère autant d'énergie qu'il en a reçu pour atteindre les conditions de la fusion—n'a jamais été atteint dans une installation de fusion. **Le record** est détenu par le Joint European Torus (JET), qui est parvenu pendant les années 1990 à restituer sous forme d'énergie environ 70 % de la puissance de chauffage qui lui avait été apportée ( $Q=0.67$ ). ITER est la seule machine au monde conçue pour dépasser ce seuil, ce qui explique que de très nombreux pays, qui disposent par ailleurs de programmes nationaux de recherche sur la fusion, sont également impliqués dans ITER

L'ambition—et la capacité—d'atteindre  $Q \geq 10$  rend la machine ITER unique au monde.

[http://www.iter.org/fr/faq#Is\\_c](http://www.iter.org/fr/faq#Is_c) Copier ce lien Copié

Qu'est-ce que c'est, un plasma en combustion ?

La fusion d'un noyau de deutérium avec un noyau de tritium (D et T, isotopes de l'hydrogène) produit un noyau d'hélium, également appelé « particule alpha », et un neutron.

Le noyau d'hélium emporte 20% de l'énergie produite par la réaction de fusion. Électriquement chargé, il demeure prisonnier du champ magnétique du tokamak et « chauffe » le plasma en lui communiquant son énergie. (Le neutron, lui, s'échappe du plasma.) Le « chauffage par les alphas » réduit le besoin d'apport de chauffage extérieur. Lorsque le chauffage par les noyaux d'hélium devient dominant ( $> 50\%$ ) le plasma est dit « en combustion » ou « partiellement auto-entretenu » (« *burning plasma* »).

Cet état de matière n'a jamais existé de manière contrôlée sur la Terre ; il représente un domaine de la physique tout à fait nouveau que nous allons explorer dans ITER.

<http://www.iter.org/fr/faq#Wha> Copier ce lien Copié

Le tokamak ITER sera donc le premier au monde capable de produire un plasma en combustion ?

Oui, et il existe de ce fait un large consensus autour de la réalisation d'ITER. Pouvoir explorer un « plasma en combustion » dans lequel au moins 50 % de l'énergie procède d'un des produits de la réaction elle-même (la particule « alpha ») est une des dernières étapes expérimentales du programme de recherche mondial sur la fusion. La communauté internationale met en commun ses forces créatives, ses compétences technologiques et ses ressources financières pour y parvenir.

A  $Q=5$ , les particules alpha contribuent à hauteur de 50 % au chauffage du plasma ; à  $Q=10$  (ITER), leur part est de l'ordre de 66 %. A  $Q=20$  le plasma est quasiment auto-entretenu, avec 80 % de chauffage « interne ». ITER est conçu pour permettre l'étude de plasmas chauffés à plus de 60% par les particules alpha.

La « raison d'être » du programme ITER, est d'offrir aux scientifiques l'opportunité unique d'étudier un plasma en combustion et de faire progresser la science de la fusion. Le retour d'expérience du programme ITER—ausculté en permanence par de très nombreux systèmes de mesure et de diagnostics—permettront aux physiciens et aux ingénieurs de concevoir les réacteurs industriels et commerciaux de demain.

<http://www.iter.org/fr/faq#Will> Copier ce lien Copié

Pourquoi avoir choisi spécifiquement  $Q \geq 10$ , et non une autre valeur ?

Compte-tenu de la taille de la chambre à vide qui le contient et de la force du champ magnétique qui le confine (5.3 Tesla), le plasma d'ITER (830 mètres cubes) pourra porter un courant de 15 méga ampères.

Compte tenu de ces paramètres, une puissance de 50 MW de chauffage externe doit être injectée pour porter le plasma à la température de 150 millions de degrés Celsius. Cette température est l'expression de la vitesse à laquelle les particules se déplacent. Avec une densité de particules suffisante, les réactions de fusion causées par leurs collisions doivent produire 500 MW de puissance thermique.

Pourquoi ne pas avoir conçu une machine pour un ratio « Q » de 30 ou 50 ? La réponse est simple : c'est une question de coût. Ce qui compte pour un tokamak, c'est la taille—si tous les autres paramètres restent inchangés, un plus grand tokamak produira un « Q » plus important. Pour atteindre un « Q » plus grand il aurait été nécessaire soit d'augmenter le champ magnétique, soit d'augmenter le grand rayon du plasma. Quelle que soit l'approche, le coût du programme en aurait été majoré, ce qui est difficilement justifiable, dans la mesure où **les objectifs** du programme peuvent être atteints à  $Q=10$ .

<http://www.iter.org/fr/faq#Hov> Copier ce lien Copié

Et une question similaire : pourquoi ITER ne produira-t-il pas d'électricité ?

Intégrer les systèmes de transformation d'énergie en électricité aurait été possible dans ITER, mais onéreux et sans grand bénéfice pour les objectifs du programme. Cela tient au fait qu'ITER va produire des plasmas de manière non-continue, avec des durées d'impulsion de l'ordre de 400 secondes. Les équipements en question—qui transforment la chaleur en en vapeur sous pression, laquelle actionne des turbines qui produisent de l'électricité par l'entremise d'un alternateur—auront leur place dans la machine qui succédera à ITER, le démonstrateur industriel DEMO, qui, lui, fonctionnera de manière continue.

<http://www.iter.org/fr/faq#Anc> **Copier ce lien** Copié

Quelle différence entre le seuil d'équilibre énergétique du plasma et celui de l'installation ?

Le point d'équilibre énergétique du plasma ( $Q=1$ ) correspond au seuil auquel, dans une installation de fusion, la quantité d'énergie libérée par les réactions de fusion est égale à l'énergie qui a dû être apportée pour créer les conditions de la fusion (*voir les précédentes explications*). A l'exception d'ITER, aucune machine de fusion au monde n'a la capacité technique d'atteindre, et encore moins de dépasser ce seuil d'équilibre. L'objectif d'ITER conditionne tous les paramètres de la machine —sa taille, son système magnétique, ses systèmes de chauffage externe, etc.

Le calcul du seuil d'équilibre énergétique global d'une installation de fusion (« *engineering breakeven* ») devra, lui, prendre en compte l'ensemble des systèmes nécessaires au fonctionnement de la machine (et non pas seulement la puissance injectée des systèmes de chauffage). Les réacteurs de fusion du futur seront évidemment conçus pour produire plus d'électricité qu'ils n'en consomment pour assurer le chauffage de plasma, le refroidissement des bobines supraconductrices, le fonctionnement de l'usine de cryogénie, des systèmes de diagnostics et de contrôle, etc.

<http://www.iter.org/fr/faq#Wh> **Copier ce lien** Copié

### **Quel est le statut des ouvriers sur le site?**

Certains affirment qu'ITER sera construit par des travailleurs migrants mal payés et logés dans des conditions précaires. Est-ce vrai ?

Qu'en est-il du statut juridique spécifique d'ITER Organization ?

Quelle réglementation pour les personnels ?

Comment sont choisies les entreprises intervenant sur le chantier ITER ?

Combien de niveaux de sous-traitance sont-ils autorisés ?

Quel est le nombre de travailleurs attendus sur le site dans les années à venir ?

Quelles nationalités seront représentées ?

On dit que des ouvriers étrangers travaillaient sur le chantier ITER pour un salaire mensuel de 300 €. Est-ce vrai ?

Quels contrôles sont effectués sur le site ITER pour s'assurer que la réglementation est respectée ?

Plusieurs entreprises ont signalé le paiement tardif de certaines factures. Qu'en est-il ?

Comment prévoit-on aujourd'hui de loger les milliers de travailleurs qui œuvreront à la construction de l'installation ITER et à l'assemblage de la machine ?

Des modifications des infrastructures routières sont-elles prévues pour absorber la circulation aux abords du chantier ITER ?

### **Procédure de délivrance de l'autorisation de création d'ITER**

Quelles procédures ont conduit à l'Autorisation de création de l'Installation Nucléaire de Base ITER ?

Quelles sont les prochaines étapes réglementaires ?

### **ITER et l'environnement**

Quelle est la nature des déchets que produira ITER, et quels seront leur volume ?

Que deviennent les déchets radioactifs générés par ITER pendant son exploitation et son démantèlement ?

Quel effet ITER aura-t-il sur les réseaux locaux d'eau et d'électricité ?

### **La sûreté d'ITER**

L'énergie stockée dans le plasma porté à 100 millions de degrés Celsius est-elle dangereusement élevée ?

Les risques liés aux séismes ont-ils été pris en compte dans la conception d'ITER ?

Et qu'en est-il des risques d'une double catastrophe : séisme et inondation ?

Et des actes malveillants ?

Pourrait-il y avoir une explosion ?

Un accident semblable à celui de Fukushima peut-il se produire dans ITER ?

Qu'en est-il du problème de la chaleur dégagée par le processus de décroissance nucléaire, qui est si préoccupant à Fukushima ?

ITER sera construit à proximité d'autres installations nucléaires. Quel est le risque supplémentaire dû à la présence de plusieurs installations ?

Quelle est la quantité totale de tritium stockée dans l'installation ? Quelles sont les procédures prévues pour confiner et contrôler le stock ?

Faut-il avoir peur des neutrons ?

Quelles procédures sont prévues pour éviter une perte de tritium, surtout au cours des premiers tests (fusion incomplète) ?

Quel serait l'effet sur la population d'éventuels rejets radioactifs accidentels dans l'environnement, y compris de tritium ?

Pouvez-vous affirmer que la fusion est réellement sûre alors qu'elle utilise d'énormes quantités de tritium, génère de puissants neutrons et produit des volumes de déchets radiologiques considérables ?

Peut-on craindre que la fusion ouvre une nouvelle filière de fabrication d'armes de destruction massive ?

Et qu'en est-il de la sûreté au travail ?

### **Disruptions : Tout ce que vous avez toujours voulu savoir**

Qu'est-ce qu'une disruption ?

Quelles conséquences pour une disruption ?

ITER résistera-t-il aux disruptions ?

Quel système de prévention/atténuation pour les disruptions d'ITER ?

### **La fusion, une source d'énergie durable**

Pourquoi la fusion s'est-elle développée beaucoup plus lentement que la fission, laquelle a pu fournir des réacteurs commerciaux quelques années seulement après ses premiers développements ?

La fusion commerciale sera-t-elle disponible assez tôt pour contribuer à la transition énergétique nécessaire pour lutter contre le réchauffement climatique et remplacer les combustibles fossiles ?

Si le programme aboutit, à quel moment la fusion pourra-t-elle contribuer à la production industrielle et commerciale d'électricité ? Quelles seront les étapes nécessaires après ITER ?

Quelle quantité d'électricité pourra produire un réacteur de fusion et à quel coût ?

Fusion : Peut-on manquer de combustible ?

Le concept de production de tritium est-il suffisamment maîtrisé pour permettre au projet ITER de démarrer ?

J'ai lu récemment qu'il y avait une pénurie d'hélium dans le monde, et que cette situation ne pouvait que s'aggraver. La construction d'aimants supraconducteurs destinés à la fusion pourrait-elle en être affectée ?

Quels sont les atouts de la fusion par rapport aux réacteurs nucléaires de prochaine génération ?

### **Fiabilité des matériaux**

Mettra-t-on au point les matériaux capables de résister au flux de neutrons très énergétiques issus des réactions de fusion ?

À quelle fréquence la première paroi d'ITER devra-t-elle être remplacée pendant l'exploitation de la machine ?

Quelles sont les procédures prévues pour l'élimination des matériaux irradiés de la première paroi ? Les risques de sûreté ont-ils été pris en compte ?  
Existe-t-il un risque de dégâts en cas de perte de supraconductivité dans les aimants supraconducteurs d'ITER ?