

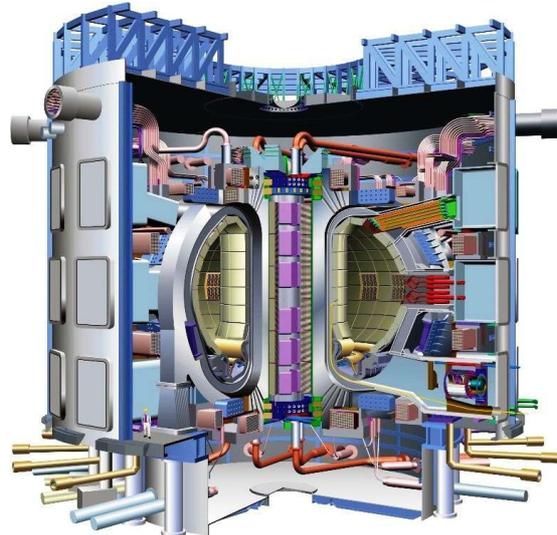
LE PROJET ITER

Situation de départ

(s'approprier) 

L'objectif du projet Iter, l'International Thermonuclear Experimental Reactor (réacteur expérimental thermonucléaire international en français) implanté sur le site de Cadarache, est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des noyaux atomiques.

Une vue en coupe du réacteur Iter. Notez l'homme en bas à gauche, qui donne une idée de la taille de la machine. © CEA



Il faut savoir qu'en un an, l'humanité consomme une énergie totale de 15 TWan (térawatt.an). D'ici 2050, cette valeur aura presque doublé par rapport à aujourd'hui, alors que le manque d'énergie fossile se fera cruellement sentir. L'une des solutions à ce problème fait l'objet d'études depuis plus de 50 ans : c'est la fusion contrôlée. Elle consiste à maîtriser des réactions thermonucléaires similaires à celles qui font briller le Soleil.

Les dirigeants de plus de la moitié de la population mondiale l'ont parfaitement compris. C'est pourquoi la Chine, la Corée du Sud, les États-Unis, l'Inde, le Japon, la Russie et l'Union européenne se sont réunis au sein du projet Iter, qui signifie aussi « le chemin » en latin. Quel est ce chemin ? Celui de l'obtention de la fusion contrôlée, en utilisant un tokamak pour confiner le plasma obtenu à partir d'un mélange de deutérium et de tritium porté à 110 millions de degrés. On comprend facilement l'intérêt de cette réaction lorsqu'on sait qu'avec 300 litres d'eau de mer, on pourrait extraire un gramme de deutérium. C'est-à-dire que l'eau des océans permettrait, à elle seule, de subvenir aux besoins de l'humanité pendant environ un milliard d'années.

Iter lui-même n'est pas le prototype des centrales à énergie de fusion, qui fleuriront peut-être un jour sur tous les continents. Il n'est pas conçu pour cela : il sert à donner une preuve de principe que de telles centrales sont réalisables. Il ne produira pas non plus le tritium nécessaire à la réaction de fusion. À Iter devrait donc succéder Demo (demonstration power plant), le premier véritable prototype de réacteur pour la commercialisation d'électricité, prévue à l'horizon 2050.

Source : <http://www.futura-sciences.com/>

Vidéo :

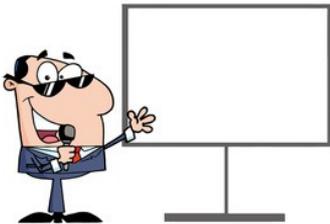
<https://www.youtube.com/watch?v=Wvo5849kk24>

Question préalable*(s'approprier, analyser)*

Ecrire l'équation de la réaction de fusion nucléaire ayant lieu dans le réacteur Iter et calculer l'énergie dégagée par cette réaction.

**Problème***(analyser, réaliser, valider, communiquer)*

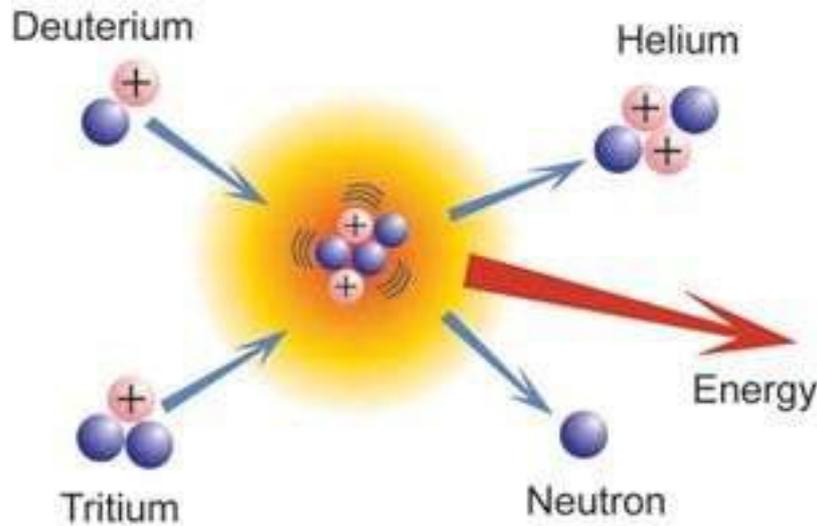
A l'aide de vos connaissances, de la question préalable et des documents suivants, déterminer la durée d'autonomie énergétique mondiale que pourrait fournir de tels réacteurs à fusion nucléaire.



Rédiger un paragraphe argumenté contenant l'ensemble de votre démarche (hypothèses, raisonnement, calculs, résultats...) permettant de répondre à la problématique.

Documents*(s'approprier)***Doc.1 : Le principe de fonctionnement d'Iter**

Le mélange combustible deutérium-tritium est injecté dans une chambre où on le chauffe avec des ondes électromagnétiques jusqu'à l'obtention d'un plasma suffisamment chaud pour qu'une réaction de fusion démarre et s'autoentretienne en dégageant la chaleur nécessaire à la poursuite de la réaction. Ce faisant, le réacteur produit des cendres (les atomes d'hélium) et de l'énergie sous forme de particules rapides ou de rayonnement. L'énergie produite sous forme de particules et de rayonnement est absorbée dans un composant particulier, la « première paroi », qui, comme son nom l'indique, est le premier élément matériel rencontré au-delà du plasma.



La réaction de fusion la plus efficace et la plus facile à mettre en œuvre pour produire de l'énergie est pour le moment celle faisant intervenir deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium. © CEA

L'énergie qui apparaît sous forme d'énergie cinétique des neutrons est, quant à elle, convertie en chaleur dans des éléments au-delà de la première paroi, mais néanmoins à l'intérieur de la chambre à vide. Celle-ci est le composant qui clôt l'espace où a lieu la réaction de fusion. Les parois sont bien évidemment refroidies par un système d'extraction de la chaleur. La chaleur peut en principe être utilisée pour produire de la vapeur et alimenter un ensemble classique composé d'une turbine et d'un alternateur producteur d'électricité.

Si tout va bien, Iter commencera à fonctionner vers 2020, et pendant des années, les chercheurs apprendront à optimiser le fonctionnement de la machine. Mais ce n'est qu'en 2027 au minimum que débiteront réellement les expériences avec de véritables réactions de fusion. On espère ensuite atteindre un rendement (on parle de **facteur d'amplification**) d'au moins dix pendant 400 secondes, c'est-à-dire produire au final dix fois plus d'énergie qu'il n'en faut pour faire fonctionner le réacteur. Un rendement en continu de cinq est aussi l'objectif à atteindre.

Source : <http://www.futura-sciences.com/>

Doc.2 : Les réserves en combustible sur Terre

Pour obtenir du deutérium, il suffit de distiller de l'eau, qu'il s'agisse d'eau douce ou d'eau de mer. Cette ressource est largement disponible et quasiment inépuisable. Un litre d'eau de mer contient 33 milligrammes de deutérium que l'on extrait de manière routinière à des fins scientifiques et industrielles.

Le tritium est l'isotope radioactif de l'hydrogène. Sa désintégration est rapide et il n'est présent dans la nature qu'à l'état de traces. Le tritium peut toutefois être produit par l'interaction d'un neutron et d'un atome de lithium. Dans ITER, ce mode de génération du tritium sera exploré de manière expérimentale.

La teneur moyenne de lithium dans l'écorce terrestre est d'environ 50 ppm. Il est plus abondant que l'étain ou le plomb et même dix fois plus abondant que l'uranium (3 à 4 ppm). Le prix d'un kg de lithium est inférieur à 5\$ et les réserves sont estimées à 12 millions de tonnes (à titre de comparaison, les réserves en uranium naturel sont estimées à moins de 4 millions de tonnes et le prix d'un kg d'uranium est voisin de 100 \$).

Le lithium peut aussi être tiré de l'eau de mer (0.17g/m³).

Il existe également un stock de tritium d'une vingtaine de kilos, issu du fonctionnement d'un certain type de réacteur de fission (CANDU) et réparti entre différentes installations nucléaires. C'est dans ce stock qu'ITER puisera pendant sa phase d'exploitation. Pour répondre aux besoins des futures centrales de fusion industrielles, il sera essentiel de pouvoir produire du tritium à partir de la réaction de fusion.

Doc.3 : Les réservoirs d'eau sur Terre

Les réservoirs	Les stocks en km ³
Océans	1 350 000 000
Eaux continentales	35 976 700
Glaciers	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Mers intérieures	105 000
Lacs d'eau douce	100 000
Humidité des sols	70 000
Rivières	1 700
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000
Biosphère (eau des cellules vivantes)	1 100

Doc.4 : Données physiques**Masses des noyaux ou des particules :**

- masse d'un noyau d'hélium 4 : $m(\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$
- masse d'un noyau de tritium = $m(\text{T}) = 3,0155 \text{ u}$
- masse d'un noyau de deutérium : $m(\text{D}) = 2,0136 \text{ u}$
- masse d'un noyau de lithium 7 : $m(\text{Li}) = 7,0144 \text{ u}$
- masse d'un neutron : $m(\text{n}) = 1,0087 \text{ u}$

Unités et constantes :

- $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- $1 \text{ u} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$
- $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$