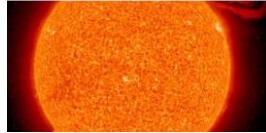


ITER, un soleil sur Terre... afin de la préserver ?

Annexe 2 : Contenu des modules

CONTENUS DU MODULE 1 (INTRODUCTION AU PROJET ITER : 11 ELEMENTS)

ITER partie 1 : Introduction au projet
ITER
Module



ELEMENT 1

Document 1

Comment fonctionnera le "soleil artificiel" du programme international ITER ?

N'hésitez pas à prendre quelques notes... bon visionnage !



ELEMENT 2

Combien de pays sont impliqués dans le projet ITER, quand a-t-il débuté ?

⌵ 25 ⌵ 35 ⌵ 1996 ⌵ 15 ⌵ 45 ⌵ 2006 ⌵ 2000 ⌵ 2016

pays sont impliqués dans le projet ITER, et les travaux ont débuté dans le sud de la France, juste après la signature du traité en .

ELEMENT 3

Quel est le principe de base du projet ITER ?

⌵ chimique ⌵ dans les étoiles ⌵ sur Terre ⌵ énergie ⌵ nucléaire

Produire de l' en utilisant une réaction se produisant naturellement

ELEMENT 4

Quelle réaction nucléaire souhaite-t-on mettre en oeuvre pour produire de l'énergie dans le réacteur ITER ?

La fission de noyaux
isotopes de l'hydrogène

La fusion de noyaux
d'uranium

La fission de noyaux
d'uranium

La fusion de noyaux
isotopes de l'hydrogène

La fission de noyaux
d'hélium

ELEMENT 5

Document 2

En savoir plus sur les mécanismes de la fusion
(vidéo du CEA)



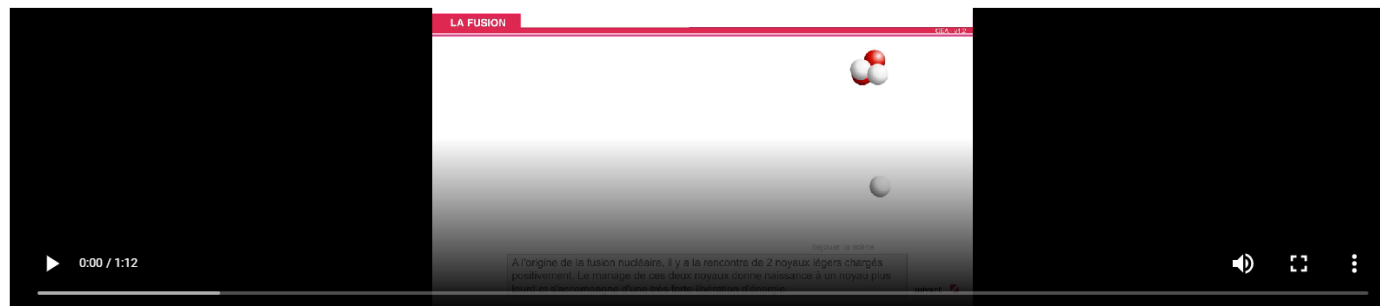
N'hésitez pas à prendre quelques notes... !

Vidéo réalisée par le CEA : <https://www.youtube.com/watch?v=fFQv5kh9Bs8>

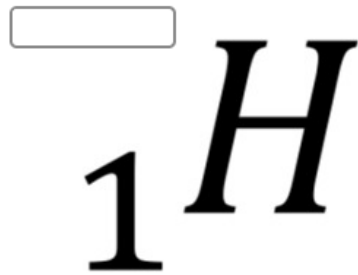
ELEMENT 6

Document 3

La réaction de fusion au sein d'ITER
(document du CEA)



<https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/reaction-de-fusion.aspx>

DeutériumTritium

Symbole de
l'élément chimique

Le combustible

ITER a pour ambition de réussir la fusion de deux isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium. Sachant qu'un noyau de deutérium contient un neutron, et celui de tritium deux neutrons, compléter les symboles de ces deux isotopes.

ELEMENT 8

Quelle est la différence entre la fusion nucléaire, utilisée dans ITER, et la fission utilisée dans les centrales nucléaires actuelles ?

Sélectionner la bonne réponse à l'aide des menus déroulants

Lors de la fusion nucléaire, on deux noyaux pour former un noyau plus , alors qu'au cours d'une fission on brise un noyau pour donner naissance à des noyaux plus .

ELEMENT 9

Quelle doit être la température dans le réacteur Iter pour que la réaction de fusion Deutérium-Tritium puisse avoir lieu ? Sélectionner la proposition correcte :

La température dans le réacteur pourra être à peu près égale à la température ambiante

Il faudrait atteindre, dans le réacteur à fusion nucléaire, des températures de l'ordre de 5 millions de degrés, soit un peu inférieure à celle au cœur du Soleil

Il faudrait atteindre, dans le réacteur à fusion nucléaire, des températures de l'ordre de 15 millions de degrés, soit à peu près égale à celle au cœur du Soleil

Il faudrait atteindre, dans le réacteur à fusion nucléaire, des températures de l'ordre de 150 millions de degrés soit environ 10 fois supérieures à celle au cœur du Soleil

Document 4 : Doit-on renoncer au projet ITER ?

"Le prix Nobel de physique Georges Charpak et d'autres scientifiques invitent à « renoncer » au projet de réacteur expérimental international à fusion nucléaire Iter, qui est « hors de prix et inutilisable », dans une tribune publiée [...] dans le quotidien Libération.

« Le coût de construction d'Iter venant de passer de 5 à 15 milliards d'euros, il est question d'en faire subir les conséquences aux budgets de financements de la recherche scientifique européenne », menaçant « de nombreuses recherches autrement plus importantes », s'inquiètent-ils.[...]

Contrôler la fusion nucléaire est un « rêve ancien ». La « méthode consiste à chauffer un mélange d'hydrogène lourd (un plasma de deutérium et de tritium) jusqu'à 100 millions de degrés », pour que les noyaux d'atomes fusionnent, en dégageant une énergie colossale, rappellent ces scientifiques.

Mais cela implique, écrivent-ils, de « surmonter trois difficultés majeures : maintenir le plasma à l'intérieur de l'enceinte, produire du tritium en quantités industrielles et inventer des matériaux pour enfermer ce plasma ». Or, [...] la troisième semble « la plus redoutable ».

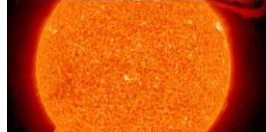
Pour ces scientifiques, on est donc « loin de la mise au point d'un prototype de centrale électrique » et de « l'avènement d'une nouvelle filière de production d'énergie »."

D'après un article du 11 août 2010 du quotidien Libération <https://www.liberation.fr/>

ELEMENT 11

Indiquer ci-dessous les avantages et inconvénients du projet ITER d'un point de vue technologique, économique et environnemental en vous basant sur les documents 1, 2 et 3 (répondre par Vrai ou Faux) :

- L'énergie produite serait une énergie propre :
- Les réserves de combustibles seraient facilement accessibles, et abondantes sur Terre, donc peu de risque de pénurie :
- L'énergie produite par ITER serait une très bonne alternative aux énergies fossiles, notamment car lors d'une réaction de fusion, il n'y a pas rejet de CO_2 dans l'atmosphère :
- Le projet ITER est un défi technologique complexe, qui n'est donc pas certain d'aboutir :
- L'un des avantages d'ITER est que des seuls des déchets radioactifs à durée de vie courte sont produits, contrairement aux centrales actuelles basées sur la fission :
- Le projet ITER est extrêmement coûteux, et il est légitime de se poser la question de sa faisabilité et de sa pertinence :
- La fusion se produisant à des températures assez basses, il est inutile d'utiliser des métaux spécifiques pour construire le futur réacteur, il sera tout à fait possible d'utiliser de métaux courants :



ELEMENT 1

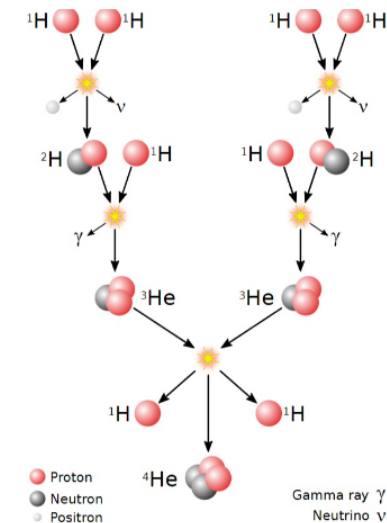
Document 5

Quelles sont les réactions nucléaires au coeur du Soleil ?

Le processus de fusion le plus important dans la nature est celui qui alimente les étoiles.

Le Soleil est essentiellement constitué d'hydrogène, et il s'y produit différentes réactions nucléaires au cours desquelles du deutérium et de l'hélium se forment aux étapes intermédiaires, avec formation d'hélium 4 en fin de processus.

Le bilan de cet ensemble de réaction est ainsi la transformation de quatre noyau d'hydrogène ${}^1\text{H}$ en un noyau d'hélium ${}^4\text{He}$

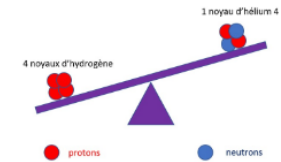


Document 6

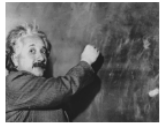
D'où vient l'énergie produite dans les étoiles ?

C'est seulement en 1920 que le voile est levé, par les Britanniques Francis William ASTON et Arthur EDDINGTON :

Ces physiciens découvrent notamment qu'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est plus léger que quatre noyaux d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$!
Ils en déduisent qu'une partie de la masse initiale disparaît lors de la fusion nucléaire



En quoi cette perte de masse est-elle associée à une production d'énergie ?



ASSOCIATED PRESS, CC0, via Wikimedia Commons

Cette question trouve sa réponse dans l'hypothèse formulée en 1905 par le physicien d'origine allemande Albert Einstein dans sa théorie de la relativité restreinte : l'équivalence entre la masse et l'énergie.

En effet, selon cette hypothèse (largement vérifiée expérimentalement depuis !), la masse peut se transformer en énergie, et réciproquement ! Le lien mathématique entre les deux peut se trouver dans sa célèbre équation :

$$E = m \times c^2$$

Différence de masse en kilogrammes (kg)

↓

Energie libérée en joules (J)

↑

Célérité de la lumière dans le vide
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Etant donné qu'au cœur du Soleil les noyaux d'atomes d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ (le principal constituant solaire) se transforment en hélium ${}^4_2\text{He}$ en fusionnant, cette réaction libère alors une énergie faramineuse....

ELEMENT 3

Que signifie la relation d'Einstein $E = mc^2$?

Que représentent les termes de cette relation lorsqu'on l'applique à notre Soleil ? Selectionner les réponses cotrrectes :

E est l'énergie contenue dans le Soleil

E est l'énergie émise par le Soleil, ou énergie radiative, lors des fusions nucléaires

m désigne la masse perdue par le Soleil lors de la fusion nucléaire

m désigne la masse totale du Soleil

m s'exprime en kg

m s'exprime en grammes

E s'exprime en watts

E s'exprime en Joules

" c " est la célérité de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

ELEMENT 4

Qu'en est-il de la masse du Soleil ?
En utilisant les documents 5 et 6, sélectionner la proposition correcte :

Dans le Soleil, au cours de la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium, le soleil libère de l'énergie, et donc gagne de la masse, ce qui se traduit par :
 $4 \times m(^1H) < m(^4He)$

Dans le Soleil, au cours de la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium, le soleil libère de l'énergie, et donc perd de la masse ce qui se traduit par :
 $4 \times m(^1H) > m(^4He)$

ELEMENT 5

Document 7

Une conséquence de la relation d'Einstein

Etant donné le nombre astronomique de noyaux d'hydrogène transformés chaque seconde en hélium au coeur du Soleil, cela représente une masse et donc une quantité d'énergie énorme.

Réciproquement, ainsi que l'avait indiqué Einstein, "si un corps dégage une énergie E sous forme de radiation, sa masse diminue nécessairement de $m = \frac{E}{c^2}$ "

Les mesures de puissance radiative du Soleil ont progressivement permis aux physiciens de connaître la puissance phénoménale émise par notre étoile sous forme de rayonnements :

$$P = 3,87 \times 10^{26} \text{ W}$$

Le calcul indique alors que le Soleil doit "maigrir" d'environ 4 millions de tonnes chaque seconde !

Document 8

Le Soleil maigrit-il vraiment aussi vite ? Pour le savoir, nous aurons besoin de nous rappeler de la relation entre puissance, énergie et durée...

$$E = P \times t$$

En joule (J) En Watt (W) En seconde (s)

Afin de vérifier que vous avez bien compris le lien entre puissance et énergie, complétez le texte suivant :

⌘ joules ⌘ 20 ⌘ seconde ⌘ 10 ⌘ 5 ⌘ watts

La puissance P en représente l'énergie dépensée chaque .

Exemple : un appareil électrique de puissance 10 W, dépense une énergie de en 2 s.

ELEMENT 8

Revenons à notre Soleil... Dans le document 7, on donne la puissance libérée par rayonnement :

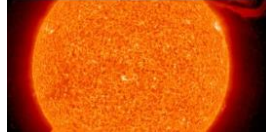
$$P = 3,87 \times 10^{26} \text{ W}$$

Utiliser la relation d'Einstein pour retrouver l'énergie émise, puis la masse perdue par le Soleil chaque seconde : on détaillera le calcul ci-dessous, avant d'indiquer si le résultat est en accord avec les conclusions du document 7.

Entrez votre réponse...

CONTENUS DU MODULE 3 (SYNTHESE ORALE : 1 ELEMENT)

ITER partie III : Synthèse orale
Module



ELEMENT 1

Utilisez votre micro de façon à enregistrer une brève conclusion au format audio (attention : 2 minutes maximum), aussi claire et précise que possible.

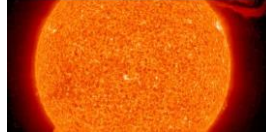
Les points suivants doivent être évoqués, mais aucun calcul n'est demandé :

- Quel est le type de réaction qui se produit au coeur des étoiles et au sein du réacteur que le projet ITER veut mettre au point ?
- Comment expliquer la production d'énergie par Iter, ou d'énergie lumineuse dans une étoile comme le Soleil ? Comment varie sa masse?
- Comment calculer la variation de masse ? Qu'est-ce que la relation d'Einstein ? Quelles sont les grandeurs mises en jeu, leur signification et leur unité ?
- Quels sont les objectifs et avantages du projet ITER, notamment dans une perspective de développement durable ? Quels sont ses inconvénients et limites ?

[OUVRIR L'ENREGISTREUR AUDIO](#)

CONTENUS DU MODULE 4 (UN PROJET RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT ? : 6 ELEMENTS)

ITER partie IV - un projet respectueux de l'environnement ?
Module



ELEMENT 1

Voici un extrait d'un article disponible [sur le site reporterre.net](#) qui évoque le bilan énergétique du site d'ITER

" [...] Iter entend déjà démontrer qu'avec son plasma autoentretenu, le réacteur générera « la première production d'énergie nette de toute l'histoire de la fusion » en créant « une amplification d'un facteur 10 : soit 50 mégawatts (MW) en entrée et 500 mégawatts en sortie ». C'est la première chose que l'on vous apprend sur Iter. Avec très peu de combustible et de déchets, on va décupler l'énergie : on injecte 50 MW, on en obtient 500 MW.

Un bilan énergétique nul

Le problème, c'est que c'est faux. Ou, du moins, ce n'est que très partiellement vrai. Steven B. Krivit, journaliste scientifique étasunien, spécialiste de la fusion nucléaire, y a consacré une enquête, puis un [film](#). Au moment des tirs de plasma, explique-t-il, pour produire ces 50 MW de chaleur qui seront injectés dans le tokamak, compte tenu de toutes les infrastructures présentes sur le site, des systèmes de chauffage et des pertes énergétiques, Iter consommera entre 300 et 500 MW. Soit presque autant que l'énergie qu'il est censé en produire. [...]"

ELEMENT 2

Le deuxième article ci-dessous, plus complet et issu du même site web, vous permettra de vous faire une idée plus précise des enjeux et débats qui entourent le projet ITER sur le plan environnemental :

reporterre.net : ITER, un impact uniquement positif sur le plan environnemental ?



Extraction de niobium au Brésil, en 2009. [Wikimedia Commons/CC BY 2.0/Thiago Melo](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Extraction_de_niobium_au_Br%C3%A9sil,_en_2009.jpg)

ELEMENT 3

Compléter le texte de façon à résumer le propos des deux articles précédents concernant la consommation électrique du site ITER :

⌘ dix ⌘ nul ⌘ moins ⌘ supraconducteurs ⌘ supercalculateurs ⌘ refroidissement ⌘ plus ⌘ autant ⌘ chauffage ⌘ données

Si ce que rapporte le site reporterre.net est vérifié, contrairement à ce qui est fréquemment annoncé, le réacteur ITER ne permettrait pas globalement de récupérer fois plus d'énergie que ce que l'on a fourni au départ. Le bilan énergétique serait en effet plutôt , c'est à dire qu'ITER consommerait d'énergie que ce que l'on est capable de récupérer.

Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il faut par exemple alimenter non seulement les systèmes de nécessaires à l'initialisation de la réaction de fusion, mais aussi les usines cryogéniques permettant le des aimants , ou encore les gérant le traitement et le stockage des énormes volumes de nécessaires au paramétrage de l'expérience.

ELEMENT 4

Qu'en est-il de l'énergie propre qu'ITER est censée produire ? Notamment sur le plan de la radioactivité ?

Remarque : on rappelle que la demi-vie du tritium est d'environ 12 ans

Aucun réactif de la réaction de fusion n'est radioactif

L'un des réactifs de la réaction de fusion est déjà radioactif

La réaction de fusion ne va générer aucun déchet radioactif supplémentaire

La réaction de fusion va générer des déchets radioactifs de faible demi-vie, notamment toute l'infrastructure du réacteur, qu'il faudra isoler pendant au moins plusieurs dizaines d'années

La réaction de fusion va générer des déchets radioactifs de longue demi-vie qu'il faudra enfouir pendant des centaines de milliers d'années.

ELEMENT 5

Qu'en est-il du combustible manifestement radioactif ?

L'un des réactifs de la réaction de fusion est radioactif : il s'agit du [] .

La question de sa production dans le futur [] entièrement résolue, de plus [] % de cet élément radioactif sera probablement "perdu" car il se repandra dans les matériaux et dans l' [] ...

L'enjeu majeur est alors de pouvoir le récupérer.

ELEMENT 6

Un autre problème soulevé par l'article concerne les métaux utilisés pour faire fonctionner le réacteur :

☛ uranium

☛ graves

☛ radioactif

☛ toxiques

☛ niobium

☛ eaux souterraines

☛ explosives

☛ cancers

☛ béryllium

Pour recouvrir les parois de la chambre à vide du tokamak d'Iter, on est amené à utiliser un métal particulièrement résistant : le .

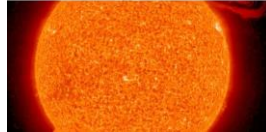
En dehors du fait que ce métal est l'un des plus au monde (il est en effet à l'origine de), il faudrait donc en permanence en filtrer les poussières qui sont, de plus, ! Enfin, les gisements d'où on l'extrait contiennent en général de l', très .

L'extraction d'un autre métal peut poser problème : il s'agit d'un métal nécessaire à la construction des aimants supraconducteurs d'ITER, le .

En effet, les mines brésiliennes dont il est issu sont déjà connues pour avoir contaminé les avec des métaux parfois radioactifs, causant ainsi, chez la population des régions environnantes, de nombreuses maladies .

CONTENUS DU MODULE 5 (CONCLUSION : 1 ELEMENT)

ITER partie V : conclusion
Module



ELEMENT 1

Placer chacun des aspects d'ITER dans le groupe qui lui correspond le mieux (atout ou inconvénient)

Demi-vie des déchets radioactifs	Lutte contre le changement climatique	Coût	Efficacité énergétique annoncée de la réaction de fusion	Nature du métal utilisé pour recouvrir l'intérieur du réacteur	Abondance du combustible	Alternative aux énergies fossiles	Méthode d'extraction des métaux nécessaires à la construction d'ITER	Efficacité énergétique actuelle
Complexité technologique								

Atouts



Inconvénients

