

Lucien Ransinangue

Objectifs Déterminer, à partir d'un diagramme (N,Z), les isotopes radioactifs d'un élément.
Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité.

Terminale spécialité - Sciences physiques et chimiques **Constitution et transformation de la matière**

Thème • Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation.

Partie • Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation nucléaire.

Notions et contenus Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N,Z), radioactivité α et β , équation d'une réaction nucléaire, lois de conservation.

Compétences mobilisées S'approprier **APP**
Analyser / Raisonner **ANA/RAI**
Réaliser **REA**
Valider **VAL**
Communiquer **COM**

ITER

ITER, *International Thermonuclear Experimental Reactor*, est un projet international qui a pour but de maîtriser une réaction nucléaire hors du commun : celle des étoiles. Actuellement, les centrales nucléaires, elles aussi, exploitent une réaction nucléaire : la fission.

Quels avantages apportera le projet ITER par rapport à la fission déjà à l'œuvre en France dans la production d'électricité ?



Site d'ITER en France dans les Bouches-du-Rhône © ITER

POUR BIEN DÉMARRER!

Choisir la ou les bonnes réponses :

Questions	Réponse A	Réponse B	Réponse C
1. Le noyau d'un atome est constitué :	d'électrons.	de protons.	de nucléons.
2. Le nombre de nucléons est symbolisé par :	A	Z	N
3. Dans le système international d'unités, une masse s'exprime en :	gramme.	kilogramme.	tonne.
4. L'énergie a pour unité :	le joule.	le watt.	le newton.

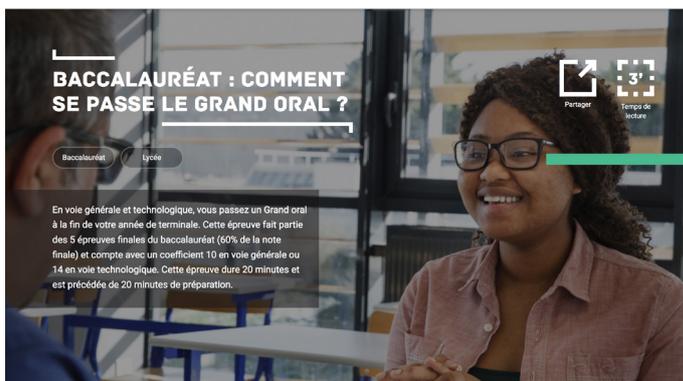
POUR BIEN REVOIR VOS CONNAISSANCES!

Vous pouvez reprendre les bases vues en seconde grâce au dossier : « Les réactions nucléaires dans les étoiles ».

www.mediachimie.org/ressource/les-reactions-nucleaires-dans-les-etoiles



POUR BIEN S'EXPRIMER À L'ORAL!



Pour préparer au mieux le grand oral, vous pouvez consulter « Baccalauréat : comment se passe le Grand oral? » sur le site :

www.education.gouv.fr/baccalaureat-comment-se-passe-le-grand-oral-100028



PARTIE A : L'ÉNERGIE DES ÉTOILES

Le projet ITER vise à utiliser le même type de réaction nucléaire que celle en action au cœur des étoiles.

Le défi technique est immense mais la perspective de reproduire sur Terre le mécanisme qui éclaire le ciel est évidemment captivant.

Quelle est cette réaction nucléaire qu'ITER tente de réaliser ?

Comment pourrions-nous nous approvisionner en matière première pour cette réaction ?



Le Tokamak d'ITER en construction. Il permettra d'établir les conditions possibles à la fusion nucléaire sur Terre. © Iter Organisation

Document 1 : Fonctionnement d'une étoile



Vidéo du CEA de 4'04

« La fusion au cœur des étoiles »

www.mediachimie.org/ressource/la-fusion-au-cœur-des-étoiles



1 ANA/RAI Sur le modèle A_ZX , symboliser le noyau d'hélium 3 et le noyau d'hélium 4 cités dans le Document 1.

.....

.....

2 ANA/RAI Ces deux noyaux d'hélium, l'hélium 3 et l'hélium 4, sont qualifiés d'isotopes. Justifier cette appellation.

.....

.....

3 ANA/RAI En utilisant la notation A_ZX et à l'aide du Document 1, proposer une écriture pour l'équation de la réaction de fusion permettant la formation de l'hélium 3.

.....

.....

4 ANA/RAI La fusion est une réaction nucléaire. En généralisant à partir de la fusion, déterminer les lois de conservation qui régissent les réactions nucléaires.

.....

.....

Document 2 : La fusion sur Terre



Vidéo de 3'06 « La fusion sur Terre ».
Une animation pour comprendre comment produire sur Terre des conditions favorables à la libération de l'énergie de fusion.

www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/fusions-fusion-sur-terre.aspx



Document 3 : La radioactivité naturelle

La stabilité d'un noyau dépend du rapport entre le nombre de ses protons et le nombre de ses neutrons. Lorsqu'un noyau est instable, il se désintègre spontanément, c'est la radioactivité naturelle.

Le diagramme (N,Z) référence tous les noyaux connus ainsi que leur désintégration ou stabilité associée.

Diagramme (N,Z) numérique :

http://clemspcreims.free.fr/simul_ostralo/diagrammeNZ.htm



Sous Mac : <https://segree.web-labosims.org/index.html>



Les désintégrations ne sont pas toutes identiques. On distingue entre autres :

- la radioactivité α : un noyau se désintègre pour former un noyau plus léger ainsi qu'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$;
- la radioactivité β^- : un noyau se désintègre pour former un noyau plus léger ainsi qu'un électron ${}^0_{-1}\text{e}$;
- la radioactivité β^+ : un noyau se désintègre pour former un noyau plus léger ainsi qu'un positon ${}^0_1\text{e}$.

Pour ces désintégrations, les lois de conservation sont celles d'une réaction nucléaire.

5 APP Donner l'équation de fusion réalisable sur Terre pour le projet ITER. Quel noyau sera difficile à obtenir sur Terre pour réaliser la réaction de fusion dans le projet ITER? Justifier.
Le neutron est symbolisé par ${}^1_0\text{n}$.

.....

.....

.....

.....

6 ANA/RAI La durée de 12 ans pour le tritium est appelée temps de demi-vie. En vous appuyant sur la vidéo du Document 2, proposer une définition du temps de demi-vie. (Attention cette appellation peut prêter à confusion).

.....

.....

.....

7 ANA/RAI À l'aide du diagramme (N,Z) numérique du Document 3, déterminer quel type de désintégration subit le tritium. Donner l'équation de cette désintégration.

.....

.....

.....

8 ANA/RAI Pour fabriquer le tritium, on bombarde un noyau de lithium 6 (composé de 6 nucléons) avec un neutron. Il se produit alors une radioactivité α « artificielle ». À l'aide du diagramme (N,Z) numérique du Document 3, expliquer pourquoi on parle de radioactivité « artificielle » pour le lithium 6. Donner l'équation de cette désintégration.

.....

.....

.....

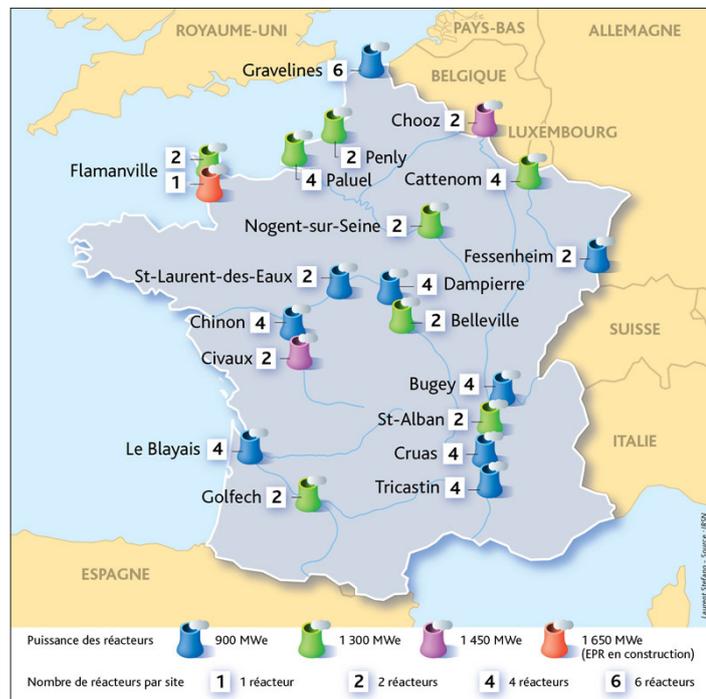
PARTIE B : FUSION ET FISSION

La majorité de la production électrique en France est d'origine nucléaire. Le combustible nucléaire, après son utilisation dans le réacteur, peut être retraité afin d'en extraire les matières énergétiques recyclables. Ce cycle du combustible nucléaire regroupe l'ensemble des opérations industrielles suivantes : extraction de l'uranium des mines, fabrication du combustible, utilisation dans le réacteur, retraitement du combustible déchargé du réacteur, traitement et stockage des déchets.

Aujourd'hui, de nombreuses voix s'élèvent pour amorcer une diminution de l'utilisation des centrales nucléaires et se diriger vers une politique énergétique plus « verte ».

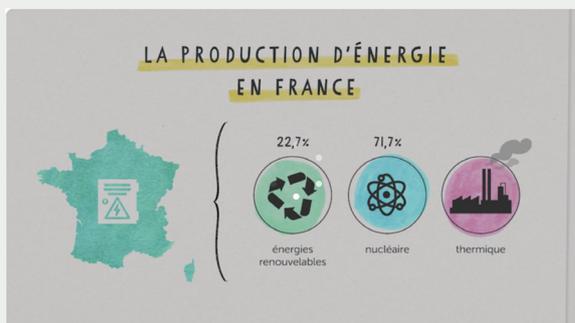
Qu'est-ce qu'une énergie « verte » ?

Quels sont les avantages que pourrait apporter ITER ?



Carte du parc des réacteurs EDF en exploitation © IRSN

Document 4 : L'énergie « verte »



Vidéo Lumni de 3'39

« Peut-on passer au tout énergie propre ? »

<https://www.lumni.fr/video/peut-on-passer-au-tout-energie-propre>



Document 5 : Les avantages de la fusion

Les avantages de la fusion sont nombreux :

- la réaction de fusion au cœur du processus est intrinsèquement sans danger : les accidents qui peuvent se produire dans une installation de fission [...] sont physiquement impossibles dans une installation basée sur la fusion ;
- le combustible est virtuellement inépuisable : le deutérium (isotope stable de l'hydrogène) est aisément extrait de l'eau et le tritium est produit à l'intérieur de l'installation [...];
- l'impact environnemental est minime : ni CO₂ ni autre gaz à effet de serre ou polluants ne sont produits;
- la fusion ne génère pas de déchets très radioactifs à vie longue et les autres déchets radioactifs sont en quantité réduite.

Extraits de « Seule la fusion peut répondre au défi énergétique que l'humanité affronte. »

www.mediachimie.org/ressource/seule-la-fusion-peut-repondre-au-defi-energetique-que-l-humanite-affronte



9 APP Quelle est la part du nucléaire dans la production d'électricité en France ?

10 APP La fission nucléaire est-elle une source d'énergie renouvelable ? Justifier.

11 ANA/RAI Quels sont les différents problèmes qu'engendrerait l'utilisation exclusive d'énergie « verte » ?

12 ANA/RAI L'énergie « verte » est-elle vraiment « propre » ?

13 ANA/RAI Quels sont les avantages qu'apporterait la fusion nucléaire pour la production d'énergie par rapport à l'énergie « verte » et à la fission nucléaire ?

Document 6 : Fusion ou fission ?

La fission scinde les noyaux des atomes lourds comme l'uranium, la fusion fait l'exact contraire : elle « fond » les noyaux des atomes légers, comme l'hydrogène, en noyaux d'atomes plus lourds. Les deux réactions sont des conversions masse-énergie qui génèrent une énergie considérable ; elles sont une spectaculaire illustration de la relation d'Einstein $E = mc^2$, mais elles sont très différentes dans leurs principes.

Extrait de « Seule la fusion peut répondre au défi énergétique que l'humanité affronte. »

14 APP Quelle est la principale différence entre la fusion et la fission ?

.....

15 ANA/RAI Donner l'unité et la signification de chacun des termes de la relation d'Einstein.

.....

.....

Document 7 : Fission dans les centrales nucléaires

Dans le cas des centrales nucléaires, l'énergie libérée a comme source une réaction particulière : la fission nucléaire. Certains atomes possédant un noyau lourd sont capables de se scinder en deux sous l'effet d'une collision avec un projectile. Les plus connus sont l'uranium 235 et le plutonium 239. Le neutron est le projectile le plus utilisé.

Plusieurs atomes peuvent être intéressants pour servir de combustible : l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239 et le plutonium 241. Seul l'uranium 235 se trouve à l'état naturel, il est donc très souvent utilisé. Il se désintègre ainsi en deux noyaux plus légers, le strontium 94 et le xénon 140.

Au cours de cette fission nucléaire, deux neutrons sont libérés et constituent ainsi de nouveaux projectiles capables de provoquer de nouvelles fissions et ainsi de suite. Dans un réacteur nucléaire, ces réactions en chaîne sont maîtrisées de manière à avoir un nombre de fission constant. La quantité d'énergie produite est ainsi contrôlée.

16 ANA/RAI Expliquer pourquoi la maîtrise des réactions en chaîne passe par l'absorption de neutrons au sein du réacteur.

.....

.....

17 ANA/RAI À l'aide du tableau périodique et du Document 7, donner l'équation de fission la plus utilisée dans les centrales nucléaires.

.....

.....

Document 8 : Données

Masse du noyau ou de la particule en unité atomique u :

- Neutron : $m_n = 1,009 u$
- Uranium 235 : $m_u = 234,993 u$
- Strontium 94 : $m_{Sr} = 93,915 u$
- Xénon 140 : $m_{Xe} = 139,925 u$
- Deutérium : $m_D = 2,014 u$
- Tritium : $m_T = 3,016 u$
- Hélium : $m_{He} = 4,002 u$

Unité atomique (u) : $1u = 1,66054 \times 10^{-27} kg$

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,998 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$

$1 MeV = 1,602 \times 10^{-13} J$

18 ANA/RAI Déterminer la variation de masse subie par l'uranium 235 lors de sa fission ainsi que lors de la réaction de fusion du projet ITER. Commenter son signe.

.....

.....

.....

19 ANA/RAI En déduire les énergies libérées, exprimées en MeV, pour ces deux réactions. Puis déterminer les énergies libérées par nucléon.

.....

.....

.....

.....

20 ANA/RAI Commenter les résultats précédents.

.....

.....

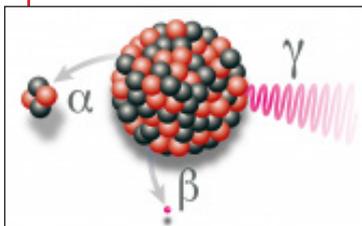
Pour aller
plus loin



Seule la fusion peut répondre au défi énergétique que l'humanité affronte

Un article qui permet de mieux cerner le pourquoi du projet ITER dans la production d'énergie du futur.

www.mediachimie.org/ressource/seule-la-fusion-peut-repondre-au-defi-energetique-que-l-humanite-affronte



Quelle dose moyenne de radioactivité reçoit-on en France ?

Un article permettant de faire le point sur la radioactivité au quotidien.

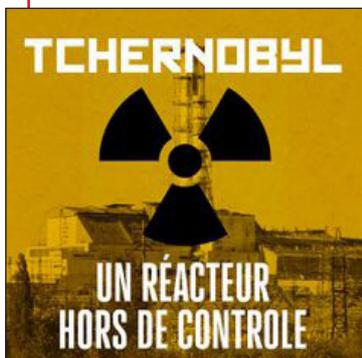
www.mediachimie.org/actualite/quelle-dose-moyenne-de-radioactivite-recoit-en-france



La médiathèque du CEA

À destination des jeunes et du grand public, la médiathèque du CEA vous propose de nombreuses ressources multimédias : reportages photos, animations interactives, vidéos, dossiers thématiques, podcasts et posters pour comprendre des notions fondamentales telles que l'atome ou la radioactivité et découvrir les travaux de recherche du CEA.

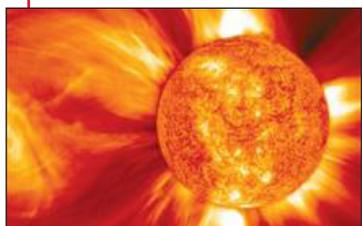
www.cea.fr/multimedia



Tchernobyl, un réacteur hors de contrôle

Un dossier de quatre vidéos permettant d'aborder en détail cet événement tragique du nucléaire industriel.

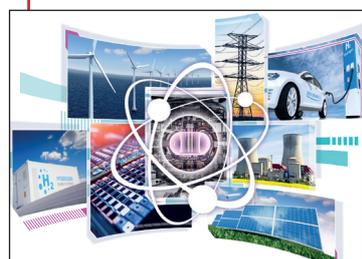
www.lumni.fr/dossier/tchernobyl-un-reacteur-hors-de-controle



Le Soleil

Un dossier multimédia complet sur le Soleil. Composé de cinq parties qui dresse avec précision l'état des lieux des connaissances actuelles sur notre étoile.

www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/soleil.aspx



Colloque Chimie et Énergies Nouvelles - 10 février 2021

Ce 25^e colloque organisé par Médiachimie fait un point scientifique objectif sur une évolution possible du « bouquet énergétique diversifié » en cours de développement.

www.mediachimie.org/actualite/colloque-chimie-et-energies-nouvelles-10-fevrier-2021



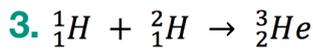
Q.C.M.

1. C ; 2. A ; 3. B ; 4. A.

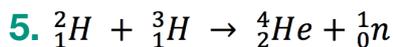
Partie A : L'énergie des étoiles

1. L'hélium 3 : ${}^3_2\text{He}$; L'hélium 4 : ${}^4_2\text{He}$

2. L'hélium 3 et l'hélium 4 sont des isotopes car ils possèdent le même nombre de protons mais un nombre de nucléons différents.



4. Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de protons et du nombre de nucléons.

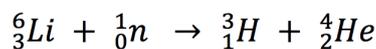


Le deutérium est extrait de l'eau. En revanche, le tritium se désintègre très rapidement, il est donc difficile d'en obtenir sur Terre.

6. Le temps de demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux de l'échantillon étudié se sont désintégrés.

7. D'après le diagramme (N,Z), le tritium subie une radioactivité β^- : ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$

8. D'après le diagramme (N,Z), le lithium 6 est stable. Sa désintégration est forcée par un neutron, on parle alors d'une radioactivité « artificielle ».



Partie B : Fusion et fission

9. La part du nucléaire dans la production d'électricité en France en 2020 est de 71,7 %.

10. Pour réaliser la fission nucléaire, la matière première est extraite des sols ce qui constitue une ressource finie, donc non renouvelable.

11. Le prix de l'électricité augmenterait fortement. De plus, en fonction du climat et de la géographie du territoire, il faudrait multiplier les dispositifs pour assurer une production satisfaisant la demande.

12. Les dispositifs permettant l'utilisation d'une énergie renouvelable sont fabriqués à l'aide de matériaux non renouvelables ou dont l'extraction est génératrice de pollution. En ce sens l'énergie « verte » n'est pas forcément « propre ».

13. La fusion permettrait de répartir uniformément les sites de production d'électricité sur le territoire, indépendamment des spécificités de chaque région, à l'inverse des énergies « vertes ».

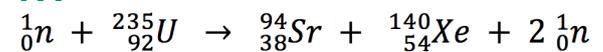
De plus la fusion permettrait, si les défis techniques étaient relevés, de pallier aux défauts de la fission du point de vue des ressources en combustible ainsi que de la dangerosité de la réaction.

14. La fission permet à un noyau de former des noyaux plus légers alors que la fusion permet à des noyaux de former un noyau plus lourd.

15. Dans la relation $E = mc^2$: E représente l'énergie libérée en joule, m représente la variation de masse en kilogramme et c représente la célérité de la lumière dans le vide en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

16. La fission de l'uranium 235 est produite par la collision avec un neutron. Au cours de cette réaction, deux neutrons sont émis, risquant d'entraîner deux autres fissions d'atomes d'uranium 235 au lieu d'une seule souhaitée. L'absorption de neutrons au sein du réacteur permet le contrôle du nombre de fission.

17.



18. Pour la fission :

$$\Delta m = m_{\text{Sr}} + m_{\text{Xe}} + 2m_{\text{n}} - m_{\text{U}} - m_{\text{n}}$$

$$\Delta m = -0,144 \text{ u}$$

Pour la fusion :

$$\Delta m = m_{\text{He}} + m_{\text{n}} - m_{\text{D}} - m_{\text{T}}$$

$$\Delta m = -0,019 \text{ u}$$

La variation de masse est négative ce qui traduit une perte de masse au cours de ces réactions nucléaires.

19. Pour la fission :

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

$$E = 0,144 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2$$

$$E = 1,326 \times 10^2 \text{ MeV}$$

On compte 235 nucléons ainsi l'énergie libérée par nucléon est :

$$E_{/\text{nucléon}} = \frac{1,326 \times 10^2}{235}$$

$$E_{/\text{nucléon}} = 0,5642 \text{ MeV}$$

Pour la fusion :

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

$$E = 0,019 \times 1,66054 \times 10^{-27} \times (2,998 \times 10^8)^2$$

$$E = 1,750 \times 10^1 \text{ MeV}$$

On compte 5 nucléons ainsi l'énergie libérée par nucléon est :

$$E_{/\text{nucléon}} = \frac{1,750 \times 10^1}{5}$$

$$E_{/\text{nucléon}} = 3,500 \text{ MeV}$$

20. D'un point de vue énergétique, la fusion est environ six fois plus intéressante que la fission.