
Thème : Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique

Chapitre : Transformation nucléaire

Objectifs :

- Identifier les isotopes.
- Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale à des réactions nucléaires.
- Identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation à partir de sa description ou d'une écriture symbolique modélisant la transformation.

Sommaire

1. Cours	2	2. Activité 1 : Les isotopes de l'iode	4
1.1 La transformation nucléaire	2	3. Activité 2 : Différentes transformations	5
1.2 L'identification de la nature d'une transformation	3	4. Exercices	7

1. Cours

Les isotopes

a) Élément chimique

Par quoi est caractérisé un élément chimique ?

.....

Tous les représentants, atomes ou ions, d'un élément chimique donné ont donc :

—

—

b) Isotopes

Quelle est la particularité des atomes ou ions isotopes ?

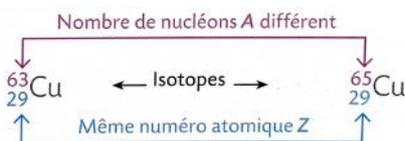
.....

.....

.....

Les isotopes portent le nom de l'élément chimique auquel ils appartiennent, suivi de leur nombre de nucléons *A*.

Exemple : Les deux isotopes stables du cuivre se nomment cuivre 63 et cuivre 65.



Le cuivre 63 possède neutrons. }
 Le cuivre 65 possède neutrons. } Leur nombre de neutrons *N* diffère.

c) Réactivité chimique

Les propriétés chimiques d'un atome sont déterminées par la structure de son cortège électronique.

Quelle est la particularité des atomes isotopes ?

.....

1.1 La transformation nucléaire

Lors d'une transformation nucléaire :

—

—

—

a) Équation de réaction nucléaire

Quels sont les éléments qui interviennent durant une réaction nucléaire ?

.....

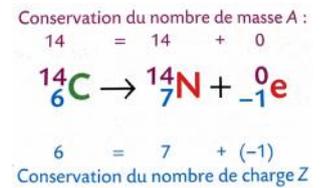
Par quoi est caractérisée une particule ?

.....

Que traduit l'équation nucléaire ?

.....

Exemple : Désintégration d'un noyau de carbone 14 en un noyau d'azote 14 avec émission d'un électron ${}^0_{-1}e$.



b) Conversion d'énergie

Que devient une partie de l'énergie nucléaire contenue dans les noyaux réactifs lors d'une transformation nucléaire ?

.....

1.2 L'identification de la nature d'une transformation

Quelle que soit la transformation (chimique, physique ou nucléaire), elle est modélisée par une équation de réaction.

Comment identifier la nature de la transformation ?

.....

- Transformation physique :

Exemple : $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$

- Transformation chimique :

Exemple : $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$

- Transformation nucléaire :

Exemple : ${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$

2. Activité 1 : Les isotopes de l'iode

Objectif :

- Identifier les isotopes.

L'élément iode I est essentiel au fonctionnement du corps humain. Mais, lors d'un accident nucléaire, de l'iode radioactif cancérigène peut être émis. Il existe différents types d'atomes d'iode, dits « isotopes », qui n'ont pas les mêmes effets sur l'organisme : **Comment identifier des atomes isotopes ?**

L'iode est indispensable à la glande thyroïde pour produire des hormones thyroïdiennes qui contribuent au bon développement du cerveau, à la régulation de la température du corps, etc. Les apports quotidiens recommandés en iode 127 sont de l'ordre de 150 microgrammes. L'élément iode est naturellement présent dans certains aliments (fruits de mer, poissons, etc.). En France, l'iodation du sel de table permet de pallier les insuffisances en élément iode.



FIGURE 1 – L'iode, un nutriment nécessaire.

En cas de fuite d'iode 131 dans une centrale nucléaire, l'Autorité de sûreté nucléaire recommande la prise de comprimés d'iodure de potassium qui contiennent de l'iode 127, non radioactif, pour saturer la thyroïde en iode. Ainsi, l'iode 131, potentiellement cancérigène, n'est pas fixé par la thyroïde.

FIGURE 2 – L'iode en radioprotection.

Vocabulaire : Un atome est radioactif si son noyau se désintègre spontanément en formant un nouveau noyau et en émettant des radiations.

Donnée : Numéro atomique : $Z(I) = 53$.

• Un examen médical appelé scintigraphie peut être réalisé pour analyser le fonctionnement de la thyroïde. Une très faible quantité d'iode 123 est injectée dans la veine du patient, et va se fixer sur les cellules de la thyroïde. L'iode 123, **radioactif**, émet un rayonnement qui, une fois mesuré, permet d'obtenir un cliché de la thyroïde.

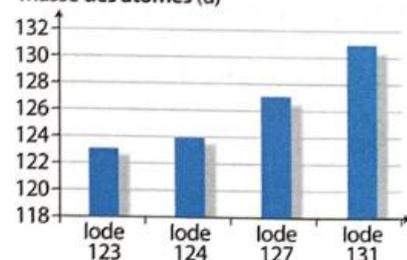


> Scintigraphie de la thyroïde

• Dans le traitement d'une hyperthyroïdie ou d'un cancer thyroïdien, on utilise l'iode 131 radioactif afin de détruire les cellules cancéreuses.

FIGURE 3 – L'iode en médecine.

Masse des atomes (u)



• L'unité de masse atomique, notée u, est adaptée aux valeurs de la masse des atomes.

• La masse $m_{\text{nucléon}}$ d'un nucléon est environ égale à 1 unité atomique :

$$m_{\text{nucléon}} = 1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

FIGURE 4 – Masse de différents atomes d'iode I.

1.a) Calculer le nombre de masse A de chacun des atomes d'iode.

b) En déduire la composition de chaque atome d'iode.

2. Déterminer l'écriture conventionnelle des noyaux des atomes de l'élément iode I.

3. Ces différents atomes d'iode sont dits « isotopes ». Définir des atomes isotopes.

4. Proposer un argument qui pourrait justifier l'usage médical des isotopes radioactifs de l'iode, alors qu'ils sont potentiellement dangereux.

Bilan : Comment identifier deux atomes isotopes ?

3. Activité 2 : Différentes transformations

Objectif :

- Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale à des réactions nucléaires.
- Identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation à partir de sa description ou d'une écriture symbolique modélisant la transformation.

Les centrales électriques produisent de l'énergie électrique à partir de différentes formes d'énergie. Cette production nécessite des transformations qui peuvent être physiques, chimiques ou nucléaires.

Comment identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation ?

La production annuelle d'énergie électrique en France s'élève à environ $1,9 \times 10^{18}$ J, une grande partie est d'origine nucléaire. Dans une centrale nucléaire, la production d'énergie se fait en plusieurs étapes :

- 1 La réaction utilisant l'uranium libère une énergie importante permettant de chauffer un fluide dit « caloporteur ». Ainsi, 1,0 kg d'uranium libère $7,3 \times 10^{13}$ J.
- 2 Le fluide caloporteur vaporise l'eau circulant dans le circuit secondaire.
- 3 La vapeur sous pression entraîne une turbine qui se met en rotation. La vapeur se liquéfie.

Bâtiment réacteur
Générateur de vapeur
Cuve de réacteur
Fluide

$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$

${}^1_0n + {}^{235}_{92}U \xrightarrow{\text{Fission}} {}^{94}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + 3 {}^1_0n$

Vapeur d'eau
Turbine
Alternateur
Condenseur

$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$

- 4 La rotation de la turbine entraîne celle d'un alternateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

FIGURE 1 – Principe d'une centrale nucléaire.

La combustion du fioul, principalement constitué d'une espèce chimique de formule $C_{16}H_{34}$, permet de libérer de l'énergie thermique dont une partie est transformée en énergie électrique.

La combustion d'un kilogramme de fioul libère $4,3 \times 10^7$ J.

CO_2

Réseau électrique

Turbine
Alternateur

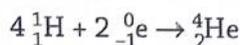
Générateur de vapeur
Eau liquide
Condenseur
Eau froide
Rivière

Entrée d'air
Combustible

$2 C_{16}H_{34}(l) + 49 O_2(g) \rightarrow 32 CO_2(g) + 34 H_2O(g)$

FIGURE 2 – Centrale thermique à fioul.

L'énergie libérée par le Soleil est due principalement à la transformation suivante :



L'énergie libérée par 1,0 g d'hydrogène au cours de cette transformation est d'environ $5,9 \times 10^{11}$ J.

FIGURE 3 – Transformation dans le Soleil.

- Lors d'une transformation nucléaire, un ou plusieurs noyaux réactifs se transforment en de nouveaux noyaux. Les éléments chimiques ne sont pas conservés, et un rayonnement, dit « gamma » (γ), est émis.
- Les particules neutron et électron sont notées respectivement : 1_0n et ${}^0_{-1}e$.

1. **Identifier**, en justifiant, la nature (physique, chimique ou nucléaire) de chacune des transformations citées dans les figures ci-dessus.
2. À l'aide de la figure 2, **expliquer** brièvement le principe de fonctionnement d'une centrale thermique à fioul.
- 3.a) Pour chaque combustible (fioul, uranium, hydrogène), **calculer** la masse nécessaire à la production électrique annuelle de la France.
- b) **Proposer** des arguments expliquant l'intérêt que suscite la fusion de l'hydrogène.

Bilan : Dresser un tableau indiquant, pour chaque type de transformation évoquée : son nom, sa définition et un exemple.

4. Exercices

Exercice 1

Les massifs granitiques du Limousin contiennent de l'uranium qui a été longtemps extrait pour les besoins de l'industrie nucléaire. Cet uranium est essentiellement composé d'uranium 238 instable qui se scinde en deux noyaux d'écritures conventionnelles ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_Z^AX + {}_{-1}^0\text{e}$.

1. **Écrire** l'équation de la réaction de désintégration de l'uranium 238. **Vérifier** la conservation du nombre de masse et nombre de charge.
2. **Compléter** l'équation de désintégration du thorium 234 en déterminant A , Z et X .

Données :

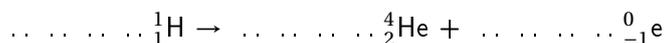
Z	92	90	89	87	86	85
Symbole	U	Th	Ac	Fr	Rn	At
Nom	Uranium	Thorium	Actinium	Francium	Radon	Astate

Exercice 2

Une supernova est l'ensemble des phénomènes qui résultent de l'explosion d'une étoile. Dans le milieu interstellaire sont alors libérés des éléments chimiques.

Une étoile est principalement constituée des éléments hydrogène H et hélium He. La température et la pression au cœur y sont élevées. Ces conditions permettent la formation d'autres éléments.

- 1.a) **Déterminer** la composition des noyaux d'hélium de symbole ${}^4_2\text{He}$ et ${}^3_2\text{He}$.
 - b) Les atomes correspondant à ces noyaux sont-ils des isotopes ?
2. La synthèse des autres éléments chimiques se fait par une succession de transformations. **Indiquer**, en justifiant, la nature de ces transformations.
 3. **Recopier et compléter**, en justifiant, l'équation de la réaction de fusion de l'hydrogène :



4. Cette réaction de fusion modélise-t-elle une transformation physique ? **Justifier**.
5. D'autres réactions ont lieu au cœur d'une étoile. Si la température atteint environ 10^8 K, la réaction d'équation ci-dessous se produit :



Déterminer les valeurs A et de Z , puis à l'aide du tableau périodique, **déterminer** X .

6. De l'eau H_2O peut être présente dans certains nuages interstellaires. Une transformation nucléaire peut-être expliquer la formation d'eau ?

Exercice 3

L'eau de mer contient du deutérium, isotope de l'hydrogène. On estime la concentration en masse en deutérium de l'eau de mer à $32,4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$ est le réactif d'une transformation, dite « de fusion », modélisée par l'équation :



L'énergie libérée par cette réaction de fusion d'un noyau de deutérium avec un noyau de tritium est égale à $2,82 \times 10^{-12} \text{ J}$.

1. **Calculer** le nombre de noyaux de deutérium dans 1,0 L d'eau de mer.
2. **En déduire** l'énergie qui serait libérée par la transformation nucléaire du deutérium contenu dans 1,0 L d'eau de mer.

- 3. **Calculer** l'énergie libérée lors de la combustion de 800 L d'essence.
- 4. **Discuter** l'affirmation suivante : « La fusion du deutérium, contenu dans 1,0 L d'eau de mer, avec du tritium, produirait autant d'énergie que la combustion de 800 L d'essence. »

Données :

- Masse m_D d'un atome de deutérium : $m_D \approx 3,34 \times 10^{-27}$ kg.
- Énergie libérée lors de la combustion d'un litre d'essence : $E_{comb} = 3,5 \times 10^7$ J.

Exercice 4

En octobre 2018, un vaisseau grec échoué au fond de la mer Noire est découvert. Pour dater ce navire, une datation au carbone 14 est réalisée sur un échantillon de bois prélevé sur la coque. On mesure 10,1 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

Le carbone 14 est un isotope instable du carbone 12. Sa teneur est constante dans l'atmosphère. Il réagit rapidement avec le dioxygène de l'air O_2 pour former du dioxyde de carbone, CO_2 . Tous les organismes vivants échangent du dioxyde de carbone avec l'atmosphère par la respiration et l'alimentation. Ils fixent le carbone 14 dans leurs tissus jusqu'à leur mort, à une teneur égale à celle de l'atmosphère. Après la mort, l'absorption et le rejet de dioxyde de carbone s'arrêtent.*

* Un noyau est dit « instable » s'il se désintègre spontanément.

FIGURE 1 – Assimilation du carbone 14.

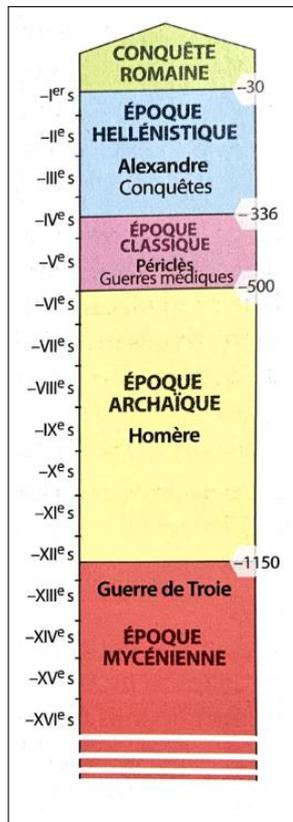


FIGURE 2 – Frise.

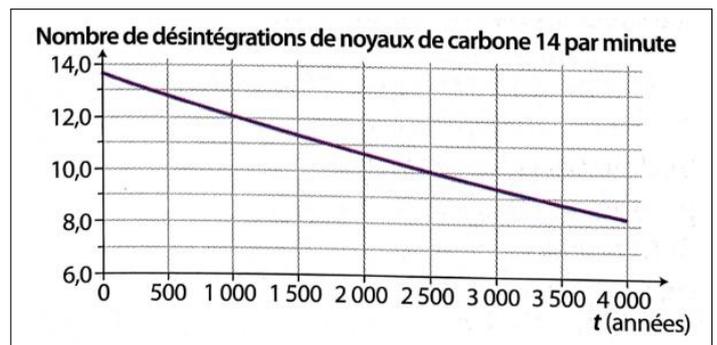


FIGURE 3 – Désintégrations d'un gramme de carbone 14.

1. **Expliquer** la phrase en italique de la figure 1.
2. La désintégration du noyau de carbone 14 conduit à l'émission d'un électron de symbole ${}_{-1}^0e$ et d'un noyau A_ZX . **Écrire** l'équation de la réaction nucléaire correspondante à l'aide du tableau périodique.
3. **Justifier** le fait que la quantité de carbone 14 dans un organisme vivant reste constante.
4. **Interpréter** l'allure de la courbe après la mort de l'organisme.
5. **Déterminer** l'époque de construction du vaisseau en expliquant la démarche.