

Chapitre 10 : Modélisation des transformations nucléaires

À maîtriser pour commencer

- Connaître la notation symbolique d'un noyau
- Savoir déterminer le nombre d'entités et la quantité de matière que contient un échantillon
- Connaître l'écriture symbolique d'une transformation physique et/ou chimique

Numérique

Connectez-vous sur le livrescolaire.fr pour tester vos connaissances sur le quiz en ligne ! LLS.fr/PC2P181

Objectifs du chapitre

- Savoir identifier des isotopes
- Savoir vérifier les lois de conservation lors d'une transformation nucléaire, l'équation de réaction étant donnée
- Savoir identifier la nature nucléaire d'une transformation
- Connaître les conversions d'énergie se déroulant au sein du Soleil et dans un réacteur nucléaire

1) Transformations nucléaires

1.1) Isotopie:

Des **isotopes** sont des noyaux ayant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons.

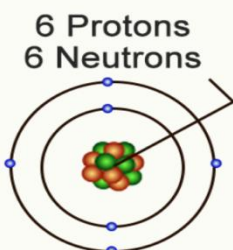
Ils appartiennent au même élément chimique et ont des propriétés chimiques identiques mais des propriétés physiques différentes.

Exemples : $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$ et $^{14}_6\text{C}$ sont des isotopes du carbone.

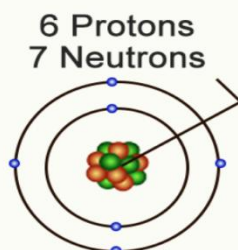
Certains isotopes peuvent se transformer spontanément en un autre noyau tout en émettant une particule et de l'énergie. **Lors d'une transformation nucléaire, il y a conservation du nombre de charge Z et du nombre de masse A .**

Exemple :

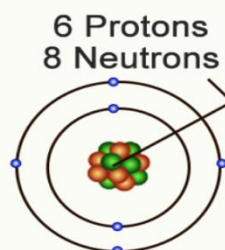
NATURAL ISOTOPES OF CARBON



Carbon-12
(6P + 6N)
Atomic Weight = 12
Isotope Mass: 12 u
Abundance: 98.89%



Carbon-13
(6P + 7N)
Atomic Weight = 13
Atomic Mass = 13.00335 u
Abundance: 1.109%



Carbon-14
(6P + 8N)
Atomic Weight = 14
Isotope Mass: 14.003241 u
Abundance: 1 Part Per Trillion
Half-life: 5,730 ± 40 Years

1.2) Radioactivité:

➤ Un noyau peut spontanément se transformer selon trois processus radioactifs : α , β^- et β^+ . Les réactions α et β^- sont naturelles (les isotopes sont dans la nature), la réaction β^+ est artificielle (les isotopes sont produits en laboratoire). Les lois de conservation permettent d'établir les équations de réactions suivantes :

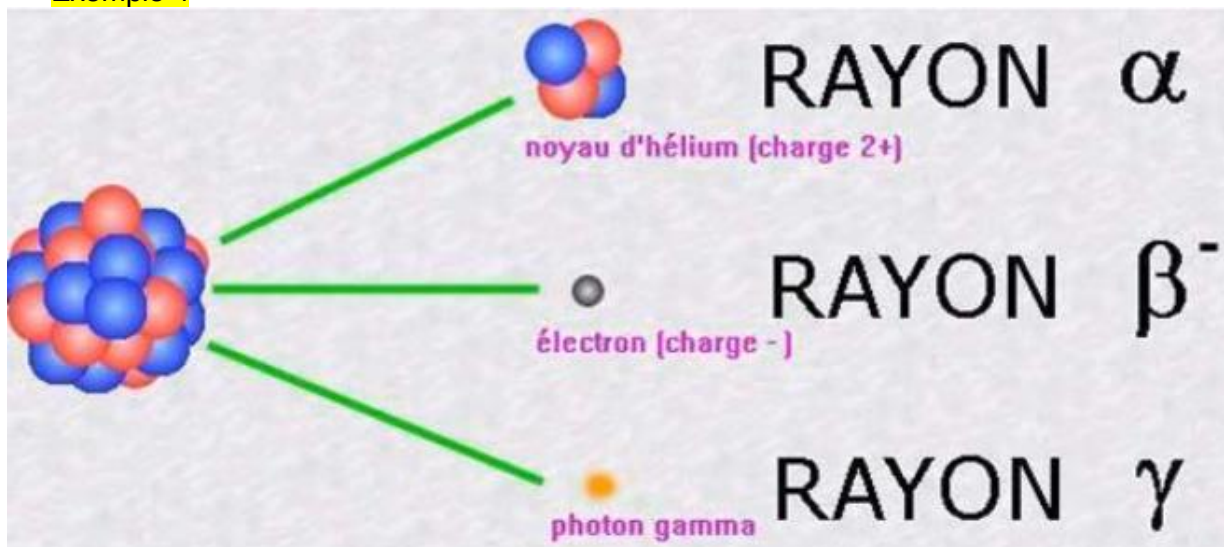
- α : un noyau A_ZX se transforme en un autre noyau ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ et émet un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ (particule alpha) :

$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$$
| exemple : ${}^{213}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{209}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$
- β^- : un noyau A_ZX se transforme en un autre noyau ${}^A_{Z+1}Y$ et émet un électron ${}^0_{-1}\text{e}$ (particule bêta « - ») :

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}\text{e}$$
| exemple : ${}^{209}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^0_{-1}\text{e}$
- β^+ : un noyau A_ZX se transforme en un autre noyau ${}^A_{Z-1}Y$ et émet un positon (positron en anglais) ${}^0_1\text{e}$ (particule bêta « + »)

$${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1\text{e}$$
| exemple : ${}^{205}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{205}_{81}\text{Tl} + {}^0_1\text{e}$

Exemple :



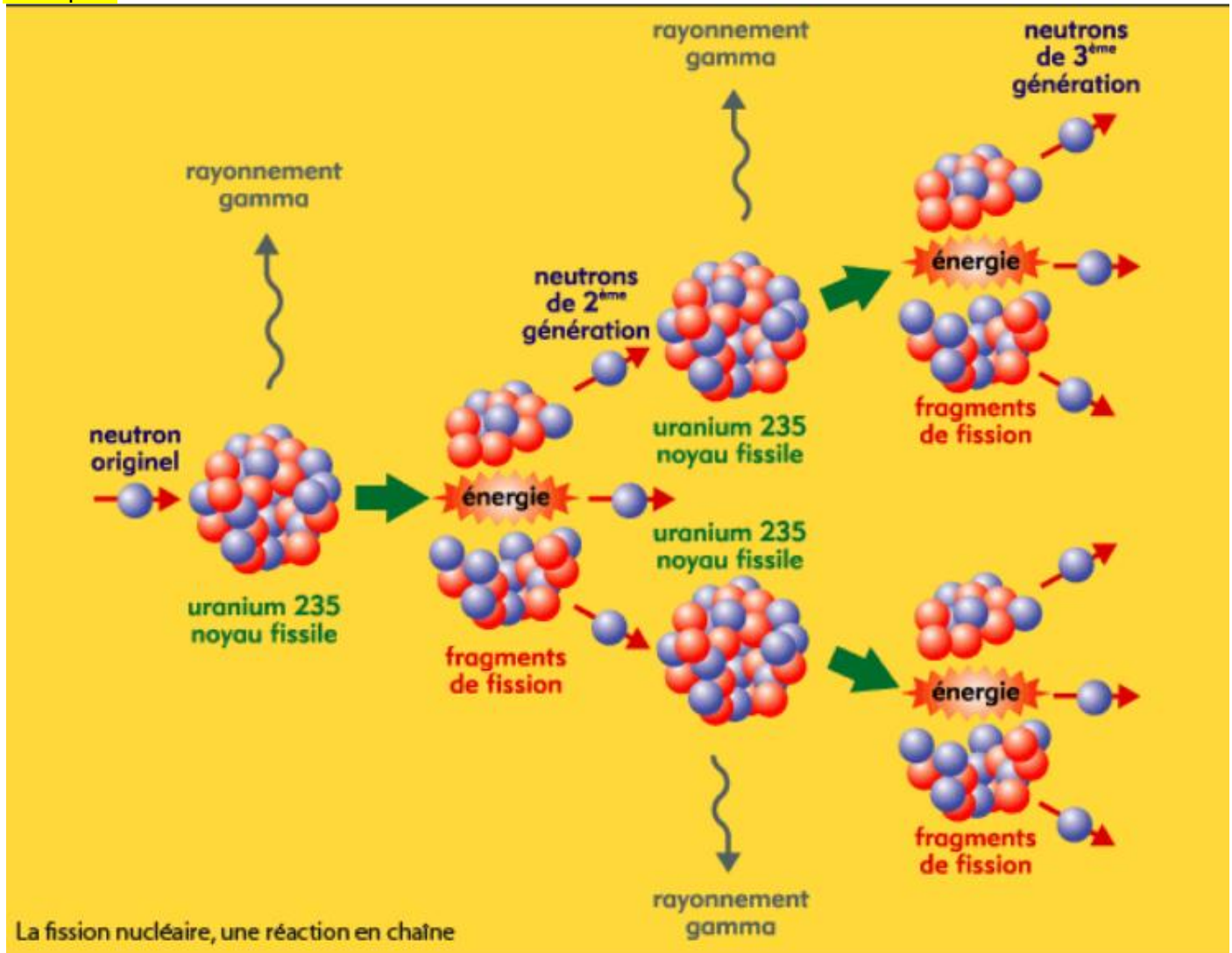
1.3) Fission nucléaire:

Une **fission nucléaire (doc. 1)** est une transformation dans laquelle, sous l'action d'un neutron, un noyau dit lourd est séparé en deux noyaux plus légers et quelques neutrons.

Exemple : ${}_0^1\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3{}_0^1\text{n}$.

Lors de cette réaction, de l'énergie est libérée sous forme de rayonnement et elle est exploitée pour produire de l'électricité.

Exemple :

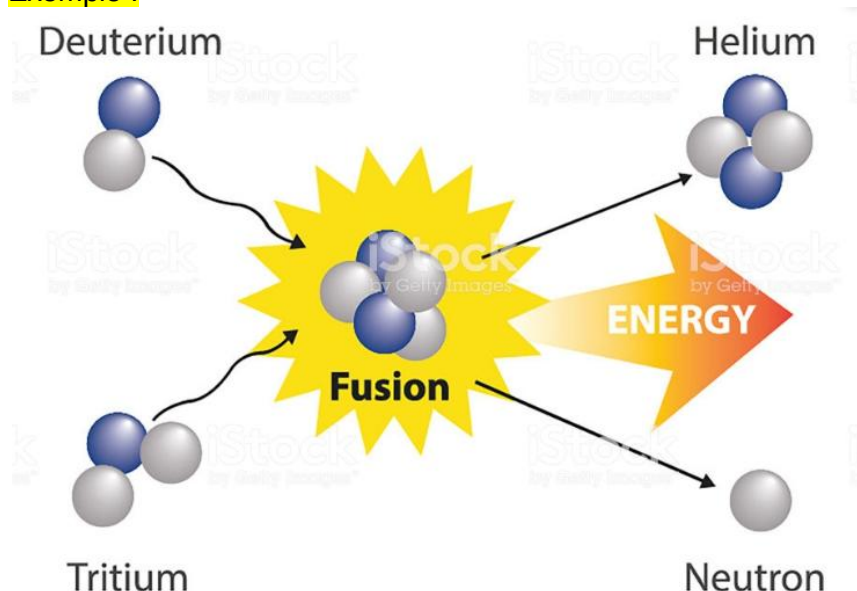


1.4) Fusion nucléaire:

Il y a **fusion nucléaire** (doc. 2) lorsque deux noyaux légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.

Exemple : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

Cette réaction nécessite une température de plusieurs millions de degrés pour être initiée. Cette condition est réalisée dans les étoiles. Sur Terre, des laboratoires de recherche étudient la possibilité de contrôler la fusion nucléaire (projet international ITER et Mégajoule en France).

Exemple :

Exercice 1 : N° 5-10 p 189
5 Composition des noyaux

Le magnésium 24 de symbole $^{24}_{12}\text{Mg}$ et le magnésium 25 de symbole $^{25}_{12}\text{Mg}$ sont stables.

- Donner la composition de ces deux noyaux.

6 Radioactivité α

Le béryllium 8 de symbole ^8_4Be est un isotope radioactif qui se désintègre selon un processus de type α (noyau d'hélium ^4_2He).

- Identifier l'autre noyau produit et écrire l'équation de la transformation.

7 Radioactivité β^-

L'arsenic 77 de symbole $^{77}_{33}\text{As}$ est un isotope radioactif qui se désintègre selon un processus de type β^- .

- Identifier le noyau et la particule produite puis écrire l'équation de la transformation.

8 Radioactivité β^+

Le zirconium 86 de symbole $^{86}_{40}\text{Zr}$ est un isotope radioactif qui se désintègre selon un processus de type β^+ .

- Identifier le noyau et la particule produite puis écrire l'équation de la transformation.

9 Fusion

- Donner une définition de la fusion thermonucléaire et rappeler les conditions pour que le processus se déclenche.

10 Fission

- Écrire l'équation de la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 $^{235}_{92}\text{U}$ par un neutron ^1_0n qui donne un noyau de tellure 137 $^{137}_{52}\text{Te}$, un noyau de zirconium 97 $^{97}_{40}\text{Zr}$ et deux neutrons.

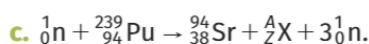
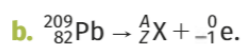
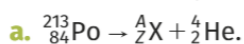


Retrouver une vidéo sur l'écriture des équations de réaction nucléaire. [LLS.fr/PC2P189](https://lls.fr/PC2P189)

Exercice 2 : N° 11 p 189
11 Utiliser les lois de conservation

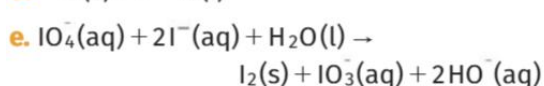
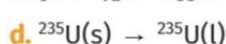
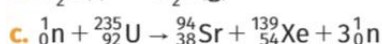
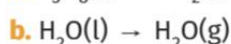
✓ MOD : Modéliser une transformation par une équation

- Quelles sont les deux grandeurs physiques qui se conservent lors d'une transformation nucléaire ?
- En utilisant les lois de conservation et la classification périodique des éléments, identifier le noyau ^A_ZX dans chacune des équations de réaction ci-dessous :


Exercice 3 : N° 19 p 190
19 Nature d'une transformation

✓ MOD : Interpréter une équation de transformation

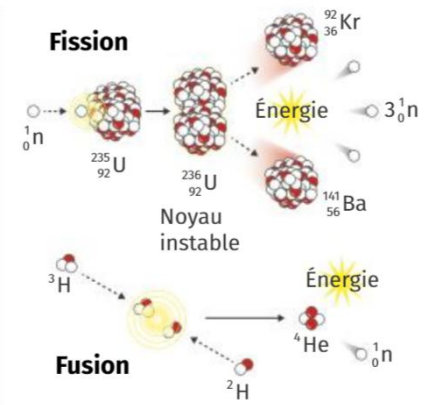
- Pour chaque équation de réaction écrite ci-dessous, identifier et justifier la nature physique, chimique ou nucléaire de la transformation.



Transformations nucléaires

Les transformations nucléaires mettent en jeu les noyaux des atomes. Les noyaux qui réagissent se transforment en d'autres noyaux avec un dégagement d'énergie.

	Noyau avant transformation	Noyau après transformation	Particule émise		Variation
					A Z N
α			$+ \text{}^4_2\text{He}$	(+ Énergie)	-4 -2 -2
β^-			$+ \text{}^0_{-1}\text{e}$	(+ Énergie)	0 +1 -1
β^+			$+ \text{}^0_0\text{e}$	(+ Énergie)	0 -1 +1



2) Conversion d'énergie nucléaire

2.1) Radioactivité:

Lors des transformations nucléaires α , β^- et β^+ de l'énergie est libérée sous forme de rayonnement.

Ces transformations nucléaires ne libèrent pas suffisamment d'énergie afin que celle-ci soit convertie en énergie thermique pour une production électrique. Cependant, l'énergie dégagée lors de ce type de réaction est utilisée en médecine pour, par exemple, irradier (détruire) des cellules cancéreuses de façon locale (**doc. 3**). C'est le principe de fonctionnement des techniques de radiothérapie.

2.2) Fusion dans le soleil:

Dans le cœur du Soleil, les noyaux d'hydrogène sont suffisamment comprimés par les forces gravitationnelles pour déclencher **des réactions de fusion thermonucléaire**. Lors de ces transformations, de grandes quantités d'énergie sont libérées sous la forme de rayonnements électromagnétiques (voir chapitre 15).

Cette énergie libérée lors de réactions de fusion thermonucléaire est utilisée par l'Homme à des fins militaires dans les bombes H (bombe à hydrogène) et à des fins civiles dans les réacteurs expérimentaux tels que le Laser Mégajoule ou le projet ITER.

Exercice 4 : N° 22 p 192 :

22 Radioactivité naturelle

✓ MATH : Pratiquer le calcul numérique

Rayan effectue des recherches sur internet pour la présentation du projet qu'il doit faire en Physique-Chimie sur la radioactivité. Il lit l'article suivant :

« À travers notre alimentation ou en respirant nous assimilons des éléments radioactifs qui ont été produits par les rayonnements cosmiques ou qui sont contemporains de la formation du système solaire. Nous sommes nous-mêmes radioactifs ! Huit mille atomes [...] se désintègrent par seconde dans notre corps. » La moitié de ces atomes est du potassium 40.

D'après laradioactivite.com

1. Le potassium 40 a la particularité de se désintégrer selon un processus β^- dans 90 % des cas et selon un processus β^+ dans 10 % des cas. Donner les noyaux produits dans chaque situation.

Un compteur Geiger-Müller mesure le nombre de désintégrations par seconde c'est-à-dire l'activité en becquerel.

2. Quelle serait l'activité moyenne d'un humain en becquerel ?

3. L'énergie dégagée lors d'une transformation β^- est de $2,1 \times 10^{-13}$ J et de $2,4 \times 10^{-13}$ J lors d'une β^+ . Pour un humain, calculer l'énergie par seconde dégagée due aux réactions de désintégration du potassium 40.

4. On considère que pour une personne de 70 kg une exposition à une dose radioactive équivalente à une énergie inférieure à 0,7 J n'entraîne pas de risque notable pour la santé. Comparer cette énergie avec celle calculée à la question précédente.

INFO : Des unités pour la mesure de la radioactivité

Becquerel : unité pour mesurer l'activité radioactive d'un échantillon. 1 Bq est égal à une désintégration

Exercice 5 : N° 27 p 157

27 La nucléosynthèse stellaire (I) : fusion de l'hélium

✓ MOD : Modéliser une transformation par une équation

Sans l'énergie libérée par la fusion de l'hydrogène, le Soleil s'effondrerait sous son propre poids à cause des forces de gravitation.

C'est ce qui se produit lorsqu'une étoile a fusionné suffisamment d'hydrogène. Le cœur de l'étoile se contracte alors, sa température augmente et les couches extérieures de l'étoile se dilatent fortement : l'étoile devient une géante rouge. Lorsque la température autour du cœur de l'étoile atteint quelque 10^8 K, la fusion de l'hélium ^4He peut s'amorcer. La fusion de l'hélium 4 permet de former deux éléments plus lourds : le béryllium ^8Be et le carbone ^{12}C .



L'étoile Camelopardalis expulse une couche de carbone et amorce la fusion d'une nouvelle couche d'hélium autour de son cœur.

1. Écrire l'équation de la réaction de fusion de deux noyaux d'hélium 4 en béryllium 8.

2. En fusionnant avec un autre noyau ^4_2X , l'hélium 4 forme du carbone 12. Identifier le noyau ^4_2X .

3. Dans certaines conditions une réaction de fusion entre l'hélium 4 et le carbone 12 peut avoir lieu. Identifier le noyau alors formé.

Exercice 6 : N° 20 p 192 :

20 Laissez-moi manger ma banane !

✓ MATH : Effectuer un calcul numérique



La dose équivalente banane (DEB) est une unité de mesure non officielle qui a été mise au point à des fins pédagogiques pour comparer les doses radioactives à la

dose ingérée due au potassium 40 lorsque l'on mange une banane. Elle permet aux autorités de communiquer sur les risques encourus lors d'une exposition à un rayonnement radioactif en comparant la mesure de l'impact d'une dose radioactive sur l'homme en Sievert (unité officielle) à la dose générée par l'ingestion d'une banane.

La dose radioactive létale est de l'ordre de 4500 mSv. Une banane moyenne correspond à une dose de 0,1 nSv.

• Combien de bananes faut-il ingérer pour atteindre la dose létale ?

Exercice 7 : N° 28 p 194 :

28 La nucléosynthèse stellaire (II) : fusion du carbone

✓ MOD : Modéliser une transformation par une équation

Pour les étoiles les plus massives, à la fin de la phase de la fusion de l'hélium, des réactions de fusion des noyaux carbone 12 peuvent s'effectuer.

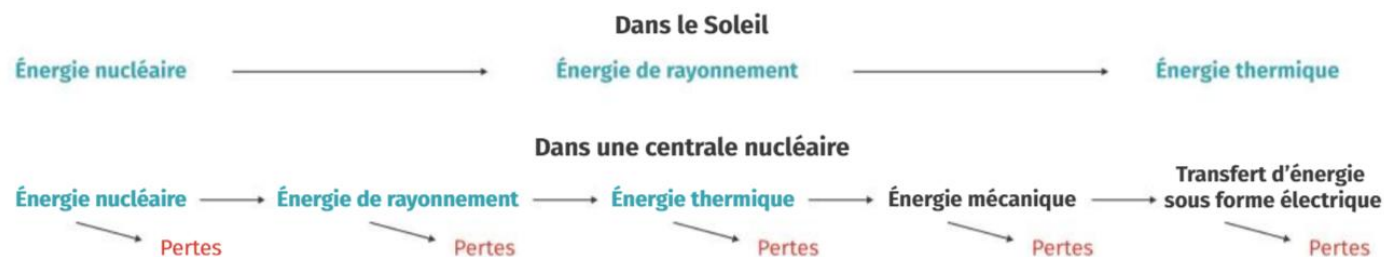
Ces réactions amènent principalement à la création de trois nouveaux noyaux :

- la première fusion de deux noyaux de carbone ^{12}C crée un noyau de néon ^{20}Ne et une autre particule ;
- la seconde réaction de fusion de deux noyaux de ^{12}C a pour sous-produit un proton ;
- la troisième réaction de fusion de deux ^{12}C produit un noyau de 23 nucléons ainsi qu'un neutron.

1. Rappeler les règles de conservation pour les transformations nucléaires.

2. Écrire alors l'équation des trois fusions principales du carbone 12.

Conversion de l'énergie nucléaire



3) QCM

1 Isotopie

	A	B	C
1. Les isotopes d'un élément chimique ont :	un nombre de protons différent.	un nombre de protons identique.	un nombre de neutrons identique.
2. Lors d'une transformation nucléaire, un noyau se transforme spontanément :	pour former une molécule.	en un autre noyau.	en un ion.
3. La notation symbolique d'un positon est :	1_0e .	1_1e .	0_1e .

2 Transformations nucléaires

1. Lors d'une transformation nucléaire, il y a conservation :	de la masse.	du nombre de charge et du nombre de masse.	de l'élément chimique.
2. Lors d'une réaction de fusion :	deux noyaux lourds forment un noyau plus lourd.	un noyau lourd donne deux noyaux plus légers.	deux noyaux légers donnent un noyau plus lourd.
3. Lors d'une réaction de fission :	deux noyaux lourds forment un noyau plus lourd.	deux noyaux légers donnent un noyau plus lourd.	un noyau lourd donne deux noyaux plus légers.

3 Conversion d'énergie

1. Lors d'une réaction nucléaire :	de l'énergie thermique est immédiatement libérée.	de l'énergie contenue dans les noyaux est convertie.	de l'énergie chimique est convertie.
2. L'origine de l'énergie solaire provient essentiellement de :	réactions chimiques.	réactions de fusion.	réactions de fission.
3. Les noyaux produits lors de la fission nucléaire sont :	facilement transformables.	hautement dangereux.	inoffensifs.