



# Les noyaux stables et instables

Un noyau radioactif est un noyau instable. Il se transforme en noyau stable en émettant un **rayonnement électromagnétique** ou **particules (électrons, positrons, neutrinos....)**

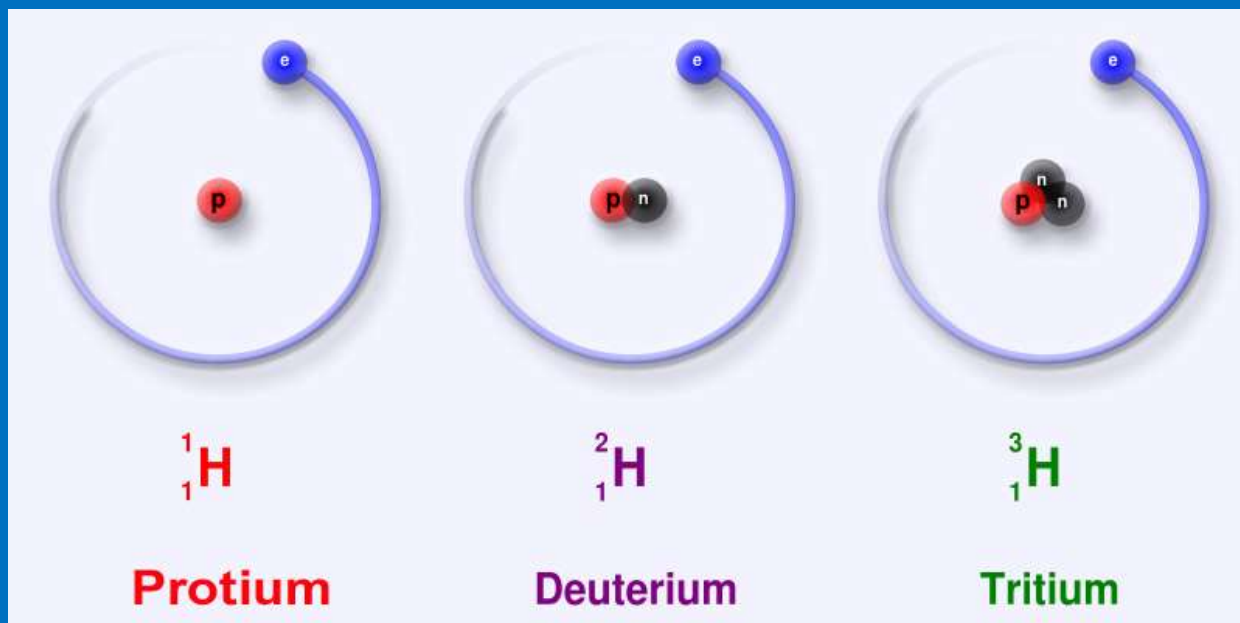
La radioactivité est dite naturelle lorsque les noyaux instables existent dans la nature et artificielle lorsqu'ils sont créés en laboratoire.

**Tous les noyaux artificielles fabriqués par l'homme sont instables!!!**



# Isotopes

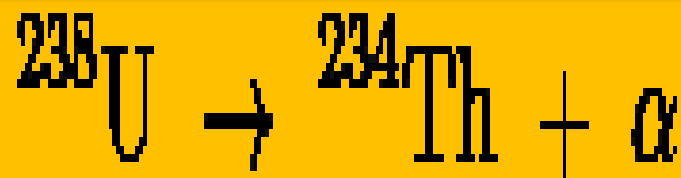
*Des noyaux isotopes ont le même numéro atomique  $Z$  mais des nombres de masse  $A$  différents. Ils diffèrent par leur nombre de neutrons.*





# Désintégration $\alpha$

C'est l'émission d'un noyau d'hélium par un noyau radioactif  
un noyau atomique éjecte une particule alpha et se transforme en un noyau  
de nombre de masse diminué de 4 et de numéro atomique diminué de 2





# Désintégration $\beta$

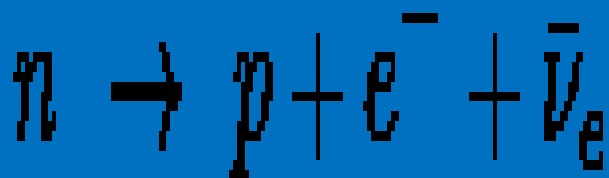
La **radioactivité bêta** ( $\beta$ ) est, c'est une désintégration radioactive dans laquelle une particule bêta (un électron ou un positron) est émise.

Un positron est une particule identique à un electron sauf qu'elle a une charge  $+e$  au lieu de  $-e$

On parle de désintégration ( $\beta^-$ ) ou ( $\beta^+$ ) selon que ce soit un électron ou un positron qui est émis.

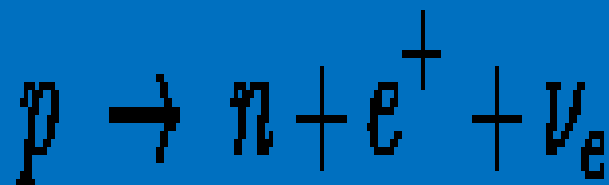


## Désintégration $\beta^-$



Un [neutron](#) est converti en [proton](#) par l'intermédiaire de la force nucléaire faible et une particule  $\beta^-$  (un électron) et un [anti-neutrino](#) sont émis :

## Désintégration $\beta^+$



Un [proton](#) est converti en [neutron](#) par l'intermédiaire de la force nucléaire faible et une particule  $\beta^+$  (un positron) et un [neutrino](#) sont émis



# Désexcitation $\gamma$

Les **désintégrations  $\gamma$**  sont produites en même temps que d'autres formes de radiations comme les désintégrations  $\alpha$  et  $\beta$ .

Quand un noyau émet une particule alpha ou bêta, il se retrouve souvent dans un état excité.

Il peut alors redescendre vers un niveau de moindre énergie en émettant un rayon gamma de la même façon qu'un électron atomique peut descendre de niveau d'énergie en émettant un photon ultraviolet.

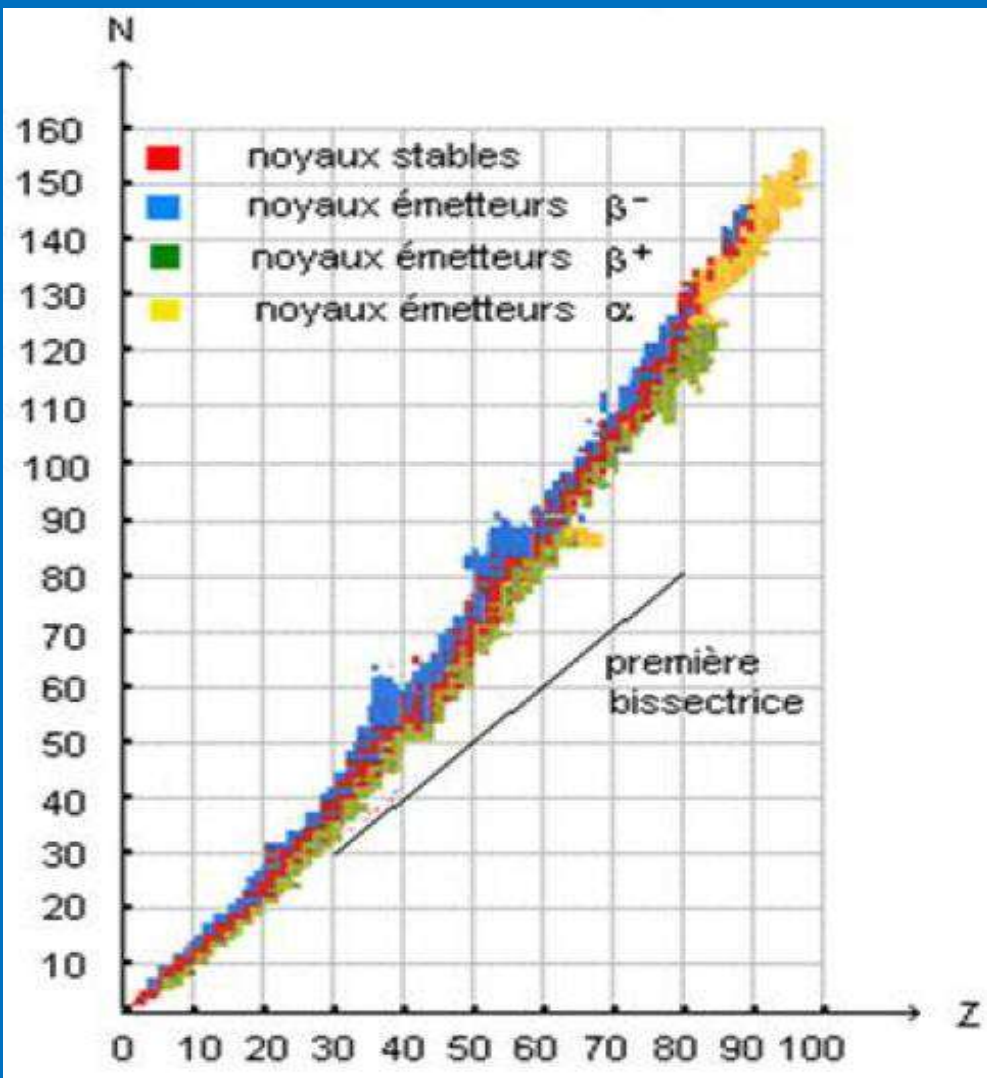


Quand le cobalt 60 se transforme en Ni 60 par une désintégration beta +, le noyau fils est dans un état excité .... Il se désexcite en émettant deux rayons gamma





# Diagramme de Segré



On peut classer tous les noyaux connus dans un graphique appelé diagramme de Segré, représentant le nombre de neutrons N en fonction du nombre de protons Z des noyaux stables et instables





*Sous l'action des différentes forces en présence, certains noyaux sont stables (ils ont une grande durée de vie) et d'autres sont instables.  
Parmi les 1500 noyaux connus, seuls 260 sont stables*

Une zone centrale rouge appelée vallée de stabilité est constituée des noyaux stables. On note que pour  $Z < 30$  les noyaux stables sont situés près de la première bissectrice, où  $N = Z$ .

alors que les noyaux lourds ont une stabilité avec  $N > Z$  ceci pour compenser la répulsion électrostatique entre protons.

Une zone jaune où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type alpha  
Ce sont des noyaux lourds (  $A$  est grand)



Une zone **bleue** où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type **beta -**.

Ce sont des noyaux qui présentent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse  $A$ .

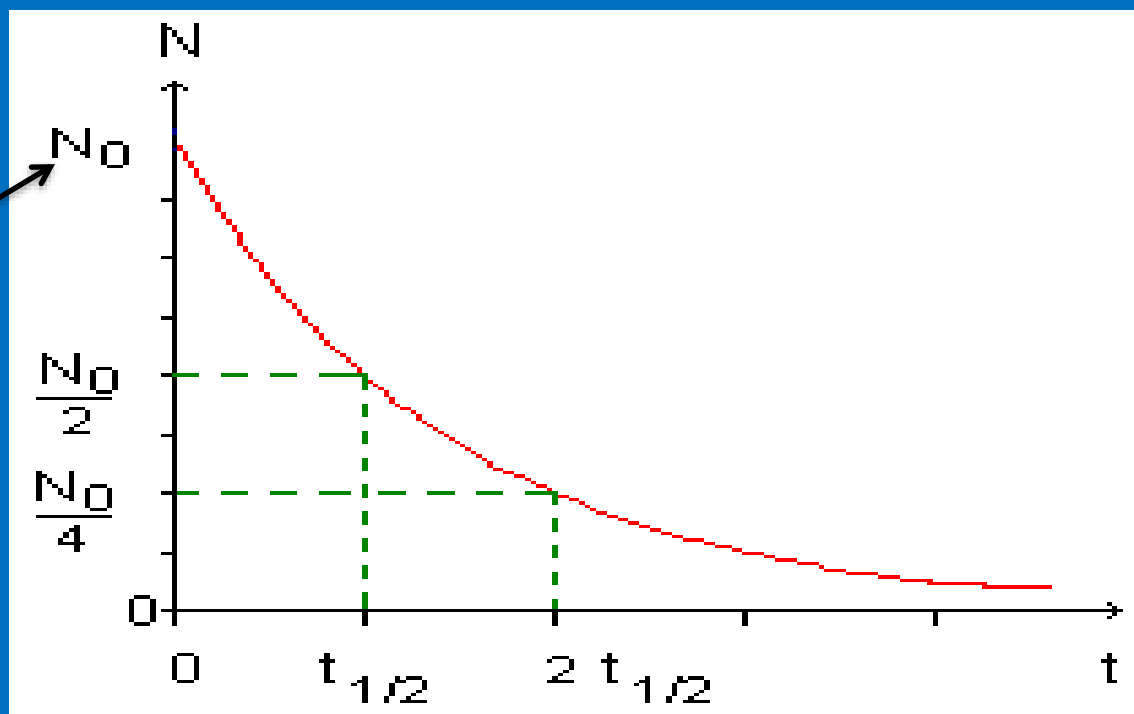
Une zone **verte** où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité **beta +**.

Ce sont des noyaux qui présentent un excès de protons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse  $A$ . Les forces électrostatiques entre protons sont plus fortes que les forces nucléaires entre nucléons.



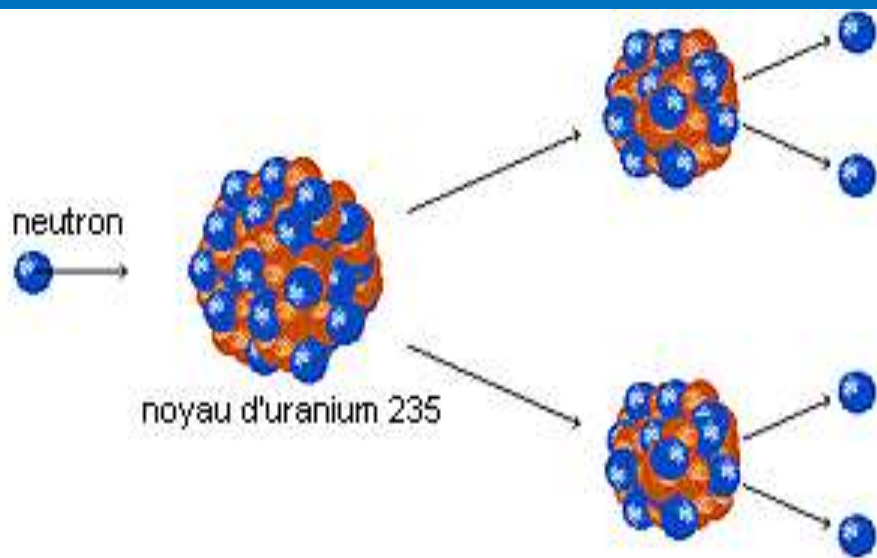
# Loi de désintégration et activité nucléaire

Nombre de  
noyau initial



La demi-vie radioactive, notée  $t_{1/2}$ , d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale à la durée nécessaire pour que, la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

# Fission nucléaire



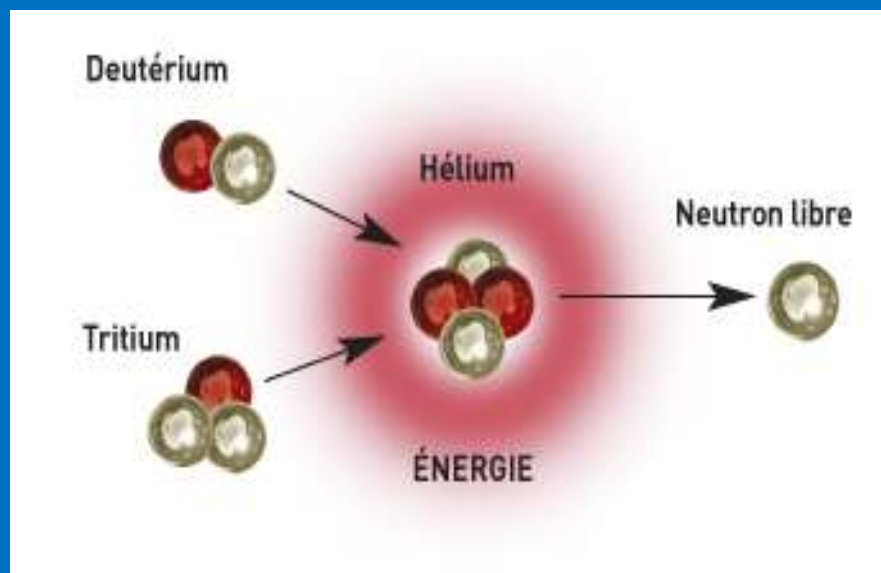
La fission est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle un noyau lourd "fissile" donne naissance à deux noyaux plus légers.

Les neutrons émis lors de la fission peuvent à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux. On parle de **réaction en chaîne** incontrôlable



# Fusion nucléaire

La fusion nucléaire est une réaction au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd

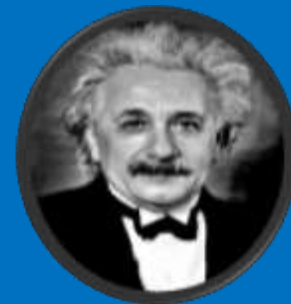


Pour que la fusion soit possible, les deux noyaux doivent posséder une grande énergie cinétique de façon à vaincre les forces de répulsion électriques. Pour cela le milieu doit être porté à très haute température et se trouve alors sous forme de **plasma**



# Equivalence masse - énergie

Un système de masse "m" au repos  
Possède une énergie qui vaut  $E=mc^2$



Energie en joule

Masse en Kg

Vitesse de la lumière

Le joule est une unité d'énergie inadaptée à l'échelle microscopique.  
On utilise plutôt à cette échelle l'électron volt (eV)  $1\text{eV}=1.6 \cdot 10^{-19}\text{j}$



# Energie de liaison du noyau

Expérimentalement, on a constaté que la masse du noyau atomique est inférieure à la somme des masses des nucléons qui le constituent.

On appelle défaut de masse du noyau la quantité

$$\Delta m = [Z.m_p + (A - Z).m_n] - m_X$$

Masse de tous les  
protons

Masse de tous les  
neutrons

Masse du noyau



On appelle énergie de liaison d'un noyau l'énergie qui correspond au défaut de masse de ce noyau

$$E = \Delta mc^2$$

↑  
Energie de liaison du  
noyau

↖  
Défaut de masse du  
noyau

*C'est l'énergie libérée lors d'une réaction nucléaire*

$$E_l(\text{finale}) - E_l(\text{initiale})$$





# Application 1

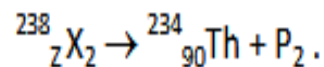
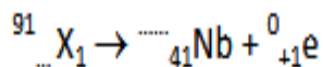
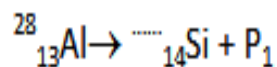
## « Réactions nucléaires » ( 10 pts )

### Données :

- ${}^4_2\text{He}$  ;  ${}_{40}\text{Zr}$  ;  ${}_{41}\text{Nb}$  ;  ${}_{42}\text{Mo}$  ;  ${}_{88}\text{Ra}$  ;  ${}_{90}\text{Th}$  ;  ${}_{92}\text{U}$  ;
- Masse des noyaux (en kg) :  ${}^4_2\text{He} = 6,6446 \times 10^{-27}$  ;  ${}^8_4\text{Be} = 1,32931 \times 10^{-26}$  ;  ${}^{12}_6\text{C} = 1,99210 \times 10^{-26}$
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- 1 électronVolt (eV) =  $1,60 \times 10^{-19}$  Joules
- 1 mégaélectronVolt (MeV) =  $1,60 \times 10^{-13}$  Joules

### Radioactivité naturelle :

Les réactions, dont les équations sont les suivantes, sont des désintégrations radioactives naturelles :



- 1) Recopier ces équations sur votre feuille et les compléter en appliquant les lois de conservation. Identifier les particules  $P_1$  et  $P_2$  émises (et leurs nombres A et Z) ainsi que les éléments  $X_1$  et  $X_2$ .
- 2) Préciser le type de radioactivité pour chaque équation (vous rédigerez dans les termes suivants : la première réaction est une radioactivité de type .....).
- 3) Expliquer l'émission de rayonnement gamma  $\gamma$  lors d'une désintégration nucléaire.
- 4) A quel niveau se situent les rayons gamma  $\gamma$  dans l'échelle énergétique des ondes électromagnétiques ?

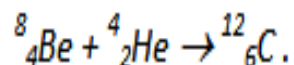


## Application 1

### Réactions nucléaires provoquées :

Dans les étoiles appelées « géantes rouges », la température est voisine de 100 millions de degrés. Ces étoiles ont épuisé leur hydrogène initial ; c'est au tour de l'hélium de se transformer en carbone, oxygène, néon, magnésium... .

La nucléosynthèse du carbone peut être simplifiée par la réaction d'équation :



- 5) Calculer la perte de masse associée à cette réaction.
- 6) Calculer en Joules (J) puis en mégaélectron-Volts (Mev) l'énergie libérée lors de cette réaction.
- 7) Cette énergie est libérée lors de la fusion d'un noyau de béryllium et d'un noyau d'hélium En déduire l'énergie  $E_{\text{GR}}$  libérée par un kilogramme de matière contenant autant d'atomes de béryllium que d'hélium dans une géante rouge (exprimer le résultat en Joules (J)).
- 8) L'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme d'essence est d'environ  $E_{\text{ess}} \approx 4,7 \cdot 10^7 \text{ J}$ . Calculer le rapport  $E_{\text{GR}} / E_{\text{ess}}$  et l'exprimer dans le langage courant en utilisant des termes comme milliers, milliards, ... .
- 9) En examinant le nombre de nucléons et le nombre de charge du béryllium, proposer une réaction de fusion qui forme des noyaux de béryllium et écrire son équation.

En réalité le noyau de béryllium 8 est peu stable ; il se décompose facilement en deux particules  $\alpha$ .

Solution

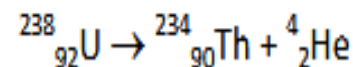
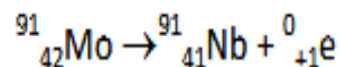
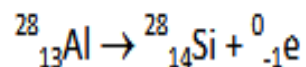
- 10) La formation du carbone dans les géantes rouges est appelée « processus triple-alpha ». Expliquer ce terme.



## Application 1

Radioactivité naturelle :

1.  $P_1$  est un électron :  ${}^0_{-1}e$  , et  $P_2$  une particule  $\alpha$  :  ${}^4_2\text{He}$ . Les nombres A et Z inconnus se déterminent facilement et on en déduit que  $X_1 = \text{Mo}$  et  $X_2 = \text{U}$ .



2. La première réaction est une radioactivité de type  $\beta^-$ , la seconde est de type  $\beta^+$  et la dernière de type  $\alpha$ .

3. L'émission de rayonnement gamma  $\gamma$  lors d'une désintégration nucléaire provient de l'énergie libérée par la réaction et correspond à la perte de masse.



## Application 1

4. Les rayons gamma  $\gamma$  sont les plus énergétiques des ondes électromagnétiques.

Réaction nucléaire provoquée :  ${}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$

$$\Delta m = m({}^{12}_6\text{C}) - [m({}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He})] = 1,99210 \cdot 10^{-26} - (1,32931 \cdot 10^{-26} + 6,6446 \cdot 10^{-27}) = -1,67 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$\text{Donc : } |\Delta m| = 1,67 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$6. E = |\Delta m| \cdot c^2 = 1,67 \cdot 10^{-29} \times (3,00 \cdot 10^8)^2 = 1,50 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 1,50 \cdot 10^{-12} / 1,60 \cdot 10^{-13} = 9,39 \text{ MeV.}$$



## Application 1

7.  $m({}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He}) = 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ , ce qui libère  $1,50 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ , on procède par proportions :

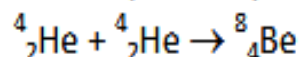
$1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  de  $({}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He})$  libère une énergie égale à :  $1,50 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

1 kg de  $({}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He})$  libère une énergie égale à :  $E_{\text{GR}}$

$$\text{donc } E_{\text{GR}} = 1 \times 1,50 \cdot 10^{-12} / 1,99 \cdot 10^{-26} = 7,53 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

8.  $E_{\text{GR}} / E_{\text{ess}} = 7,53 \cdot 10^{13} / 4,7 \cdot 10^7 = 1,6 \cdot 10^6$  c'est-à-dire que l'énergie libérée par 1 kg de matière dans l'étoile est environ 2 millions de fois plus importante que celle libérée par 1 kg d'essence.

9. La réaction la plus simple consiste à faire fusionner 2 noyaux d'hélium pour obtenir un noyau de béryllium :



10. L'appellation triple  $\alpha$  vient de ce qu'un noyau de béryllium n'est pas stable et peut se casser en 2 noyaux d'hélium. Donc la synthèse du carbone peut aussi s'écrire :  $3 \times ({}^4_2\text{He}) \rightarrow {}^{12}_6\text{C}$ .

La synthèse du carbone se réalise donc à partir de 3 noyaux d'hélium, d'où l'appellation.



## Application 2

### Données :

Informations sur certains noyaux :  $_{53}\text{I}$  (iode),  $_{52}\text{Te}$  (tellure),  $_{90}\text{Th}$  (thorium),  $_{81}\text{Tl}$  (thallium),  $_{77}\text{Ir}$  (iridium),  $_{56}\text{Ba}$  (baryum),  $_{82}\text{Pb}$  (plomb),  $_{76}\text{Os}$  (osmium),  $_{80}\text{Hg}$  (mercure),  $_{78}\text{Pt}$  (platine),  $_{89}\text{Ac}$  (actinium),  $_{91}\text{Pr}$  (protactinium)

Célérité de la lumière dans le vide :  $c \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Masses en kg :

uranium 235	krypton 92	« noyau inconnu X »	neutron
$3,90217 \times 10^{-25}$	$1,56614 \times 10^{-25}$	$2,30143 \times 10^{-25}$	$1,67493 \times 10^{-27}$



## *Application 2*

La radioactivité est très présente en médecine. En effet, la scintigraphie est une technique d'imagerie médicale qui utilise des composés radioactifs appelés « traceurs ». Ces composés émettent, entre autres, des rayonnements gamma ; leur détection permet d'obtenir l'image.

Les traceurs les plus utilisés sont l'iode 123 qui se désintègre en tellure 123 et le thallium 201, radioactif  $\beta^+$ , d'activité  $A = 7,8 \times 10^7$  Bq.

Autre exemple, la curiethérapie. Il s'agit d'une technique d'irradiation, souvent utilisée pour traiter les cancers du col de l'utérus, consistant à introduire des sources radioactives au contact ou à l'intérieur même de la tumeur.

Elle permet par exemple de réduire la taille de la tumeur avant son retrait par chirurgie ou de compléter la destruction de celle-ci lors du traitement par radiochimiothérapie.

Elle utilise l'élément radioactif iridium 192 qui se désintègre en émettant un électron. L'iridium 192 n'existe pas à l'état naturel ; il est produit artificiellement par l'homme





## *Application 2*

1. Qui a découvert la radioactivité naturelle en 1896 ?
2. A l'aide du texte introductif, écrire, en les justifiant, les équations de désintégration de l'iode 123, du thallium 201 et de l'iridium 192.
3. Définir l'activité d'un échantillon radioactif.
4. En déduire le nombre de désintégrations subies en une heure par un patient traité au thallium 201 (*l'activité sera supposée constante*).



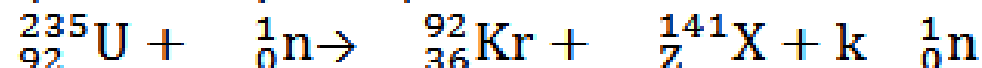
## Application 2

### Partie B : La radioactivité ... pour produire de l'électricité !

Les deux isotopes de l'uranium,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  et  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , ont des propriétés nucléaires différentes :

- L'**uranium 238** est radioactif alpha

- L'**uranium 235** est fissile ; une des réactions possibles a pour équation :



5. Définir le terme « isotope ».

6. Écrire, en justifiant, l'équation de désintégration de l'uranium 238.

7. Définir une réaction de fission en justifiant le terme *réaction nucléaire provoquée*.

8. Quelle autre réaction nucléaire provoquée existe-t-il ? Expliquer en quoi elle consiste.

9. Déterminer le nombre stœchiométrique  $k$  (nombre de neutrons libérés lors de la réaction de fission de l'uranium 235) et le numéro atomique  $Z$  de l'élément inconnu  $X$  qui devra être identifié.

10. Calculer la perte de masse  $\Delta m$ , puis l'énergie libérée  $E_{\text{lib}}$ , lors de la fission d'un noyau d'uranium 235.

11. Sous quelle forme cette énergie est-elle libérée ?

Solution

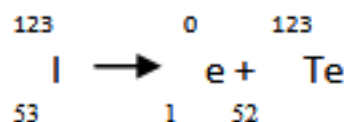


## Application 2

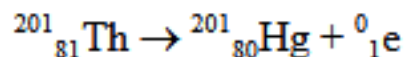
1. Henri Becquerel – Pierre et Marie Curie.

0,5pt

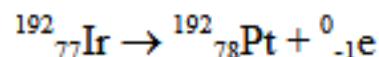
2. En respectant les lois de Soddy 0,5pt (conservation de la charge et du nombre de nucléons), cela donne :



0,5pt



0,5pt



0,5pt

3. Activité A : Le nombre de désintégrations par seconde.

0.5pt

4.  $1,5 \times 10^8$  désintégrations par s =  $1,5 \times 10^8 \times 3600 = 5,4 \times 10^{11}$  désintégrations par h.

0.5pt



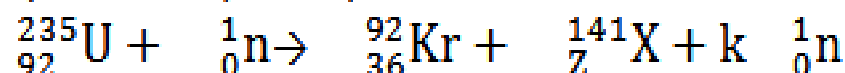
## Application 2

### Partie B : La radioactivité ... pour produire de l'électricité !

Les deux isotopes de l'uranium,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  et  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , ont des propriétés nucléaires différentes :

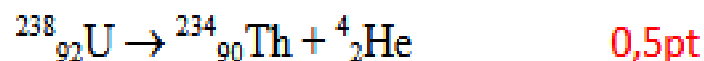
- L'**uranium 238** est radioactif alpha

- L'**uranium 235** est fissile ; une des réactions possibles a pour équation :



5. « isotope » : Des atomes (ions) ayant le même nbre de protons  $Z$  mais des nombres de neutron différents

6. Equation de désintégration de l'uranium 238 :





## Application 2

7. Réaction de fission : un noyau lourd éclate sous l'impact d'un neutron ; réaction provoquée car il y a intervention de l'homme qui bombarde le noyau d'uranium avec un neutron. 0,5pt

8. Autre réaction nucléaire provoquée : fusion : deux noyaux légers s'associent pour donner un noyau plus lourd. 0,5pt

9. Fission de l'uranium 235 :



Avec  $k = 3$  ;  $Z = 56$  donc  $X = \text{Ba}$  1pt

10. Perte de masse  $\Delta m = [m(\text{Kr}) + m(\text{Ba}) + 3m(\text{n})] - [m(\text{U}) + m(\text{n})] = |-1.1014.10^{-28}| \text{ kg} = 1.1014.10^{-28} \text{ kg}$   
1,5pt

Energie libérée  $E_{\text{lib}} = \Delta m \times c^2 = 9,922.10^{-12} \text{ J}$

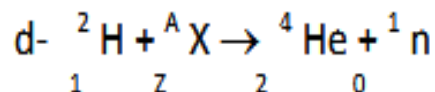
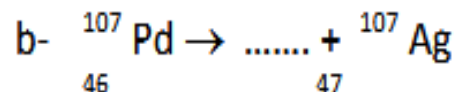
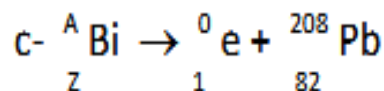
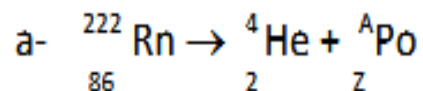
1,5pt

11. Onde électromagnétique : rayonnement  $\gamma$  0,5pt



## Application 3

1. Énoncer les lois de conservation de Soddy.
2. Recopier puis compléter les équations suivantes en appliquant ces lois de conservation et en précisant le type de radioactivité.



Solution



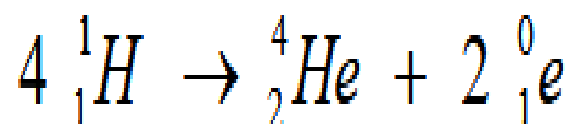
## Application 3

1. Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons et du nombre de charge électrique. **1pt**
2. 
$$\begin{array}{c} {}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{218}_{84}\text{Po} \text{ radioactivité alpha} \end{array}$$
$$\begin{array}{c} {}^{208}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^0_1\text{e} + {}^{208}_{82}\text{Pb} \text{ radioactivité beta+} \end{array}$$
$$\begin{array}{c} {}^{107}_{46}\text{Pd} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{107}_{47}\text{Ag} \text{ radioactivité beta-} \end{array}$$
$$\begin{array}{c} {}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} \text{ fusion} \end{array}$$



## Application 4

La fusion thermonucléaire des protons dans le Soleil produit des noyaux d'hélium suivant la réaction globale d'équation :



### A. Etude de la réaction de fusion :

1. A quoi correspond la particule notée  ${}^0_1\text{e}$  dans l'équation ?
2. Calculer la perte de masse notée  $|\Delta m|$  correspondant à cette réaction, exprimée en kg.
3. Rappeler la relation d'Einstein et calculer l'énergie libérée lors de cette fusion.

*On suppose que toute l'énergie produite par les réactions de fusion est rayonnée par le Soleil. La puissance rayonnée, supposée constante, vaut alors  $3,9 \cdot 10^{26}$  W. On rappelle qu'une puissance correspond à une énergie par unité de temps ( $1\text{W} = 1\text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ ).*

4. Montrer que la perte de masse du Soleil par seconde est de 4,3 milliards de kg.

*La masse du Soleil est de l'ordre de  $1,99 \cdot 10^{30}$  kg et son âge est évalué à 4,6 milliards d'années.*

5. Quelle masse a-t-il perdue depuis qu'il rayonne ?
6. Quel pourcentage de sa masse actuelle cela représente-t-il ?

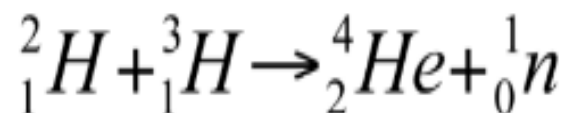


## Application 4

### **B. Quelques précisions sur le tritium :**

*Le concept solaire de production d'énergie est basé sur une réaction dont la probabilité de se réaliser est extrêmement faible sur notre planète. Mais l'idée reste bonne ! Il « suffit » de remplacer l'hydrogène par des noyaux qui ont un maximum de chance de fusionner sur Terre, en l'occurrence, ceux de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène [...] en les chauffant à des températures très élevées, de l'ordre de 100 millions de degrés. »*

C'est donc sur cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée.







## Application 4

Le deutérium est naturellement présent sur Terre alors que le tritium lui, est très rare. Il est donc obtenu à partir du lithium  ${}^6_3\text{Li}$  très abondant dans la croûte terrestre et les océans. Pour ce faire, un échantillon de lithium  ${}^6_3\text{Li}$  est bombardé par des neutrons, il se forme de l'hélium  ${}^4_2\text{He}$  et du tritium  ${}^3_1\text{H}$ .

7. Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire.
8. Le tritium est radioactif bêta moins. Écrire l'équation de la désintégration envisagée sachant qu'il se forme un isotope de l'hélium.

Données : Unité de masse atomique :  $1u = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$  ; Célérité de la lumière :  $c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ; Masse du noyau d'hydrogène :  $m_{\text{H}} = 1,00728 \text{ u}$  ; Masse du noyau d'hélium :  $m_{\text{He}} = 4,00260 \text{ u}$  ; Masse de la particule « e » :  $m_e = 0,00055 \text{ u}$ .

Solution



## Application 4

### A. Etude de la réaction de fusion :

1. La particule notée  ${}^0_1e$  est un positon, antiparticule de l'électron. **0,5pt**

2. Perte de masse durant la fusion :

$$|\Delta m| = |m(\text{He}) + 2m(e) - 4m(\text{H})| = |4,00260 + 2 \times 0,00055 - 4 \times 1,00728| = 0,02542 \text{ u} = 4,22 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

**1,5pt**

3. Energie libérée :

$$E = |\Delta m| \cdot c^2 \quad \text{A.N. : } E = 4,2 \cdot 10^{-29} \times 9,0 \cdot 10^{16} = 3,80 \cdot 10^{-12} \text{ J} \quad \text{2pts}$$

4. Perte de masse du Soleil par seconde :

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{et } E = |\Delta m| \cdot c^2 \quad \text{donc } P = \frac{\Delta m \cdot c^2}{\Delta t}$$

$$\text{A.N. : } \Delta m = \frac{1 \times 3,9 \cdot 10^{26}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} = 4,3 \cdot 10^9 \text{ kg.s}^{-1}$$

Le soleil a donc perdu 4,3 milliards de kg par seconde à cause des réactions nucléaires de fusion.



## Application 4

5. Perte de masse totale perdue depuis que le Soleil rayonne :

Il rayonne depuis 4,6 milliards d'années :  $\Delta t = 4,6 \cdot 10^9 \times 365,25 \times 24 \times 3600 = 1,5 \cdot 10^{17} \text{ s}$

$$\Delta m_{\text{totale}} = \Delta m \times \Delta t = 4,3 \cdot 10^9 \times 1,5 \cdot 10^{17} = 6,3 \cdot 10^{26} \text{ kg}$$

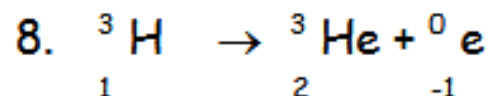
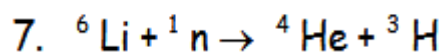
Le soleil, depuis qu'il brille, a perdu environ  $6,3 \cdot 10^{26} \text{ kg}$  par réaction de fusion. **1pt**

6. Comparaison :

La masse actuelle du Soleil est :  $m_{\text{SOLEIL}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

$$\frac{6,3 \cdot 10^{26}}{1,99 \cdot 10^{30}} \times 100 = 0,03\% \quad \Rightarrow \quad \text{le Soleil n'a perdu que } 0,03\% \text{ de sa propre masse !}$$

B. Quelques précisions sur le tritium





## Application 5

Un réacteur d'une centrale nucléaire fonctionne à l'uranium enrichi, constitué de 3% d'uranium 235, fissile, et de 97 % d'uranium 238, non fissile.

Par choc avec un neutron, le noyau  ${}_{92}^{235}\text{U}$  subit la fission suivante :  ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{54}^{139}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr} + \gamma {}_0^1\text{n}$

### Partie 1 : type de réaction.

- 1) La réaction nucléaire de fission est-elle une réaction spontanée ou provoquée ? Justifier la réponse.
- 2) a) Qui est à l'origine de la découverte de la radioactivité naturelle ? Citer 3 types de radioactivité naturelle.  
b) Le nom de ces 3 types de radioactivité naturelle est associé à l'une des particules émises lors de ces désintégrations : quelles sont précisément ces particules ?



## Application 5

### Partie 2 : étude de la réaction de fission nucléaire.

- 1) Déterminer  $x$  et  $y$  pour compléter cette réaction.
- 2) Calculer la différence de masse  $\Delta m$  de cette réaction en unité de masse atomique « u », puis en kilogramme. Montrer qu'il s'agit d'une perte de masse.
- 3) En déduire l'énergie  $E$ , exprimée en Joule, libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.
- 4) En déduire l'énergie libérée  $E'$ , exprimée en Joule, par la fission d'une mole de noyaux.
- 5) On appelle tonne équivalent pétrole (tep), l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole. Exprimer  $E'$  en tep. Conclure.

Données :

$$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}, 1 \text{ tep} = 41,9 \times 10^9 \text{ J}, c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1},$$

Masse de quelques entités (en unité de masse atomique : u)

Entités	${}_0^1n$	${}_{x}^{94}\text{Sr}$	${}_{54}^{139}\text{Xe}$	${}_{92}^{235}\text{U}$
Masse (u)	1,0087	93,8946	138,8882	235,0134

Solution



## Application 5

### Partie 1 : type de réaction. / 3

- 1) La réaction nucléaire de fission est une réaction provoquée : choc initié d'un neutron sur le noyau lourd d'uranium. **1 point.**
- 2) a) Becquerel est à l'origine de la découverte de la radioactivité naturelle. **0,5 point.**  
3 types de radioactivité naturelle : alpha, bêta- et bêta +. **0,75 point.**  
b) Le nom de ces 3 types de radioactivité naturelle est associé à l'une des particules émises lors de ces désintégrations :  
alpha est le noyau d'hélium, bêta - : l'électron, bêta + : le positon (ou positron) **0,75 point.**



## Application 5

### Partie 2 : étude de la réaction de fission nucléaire. / 6

1) Il y a conservation :

- du nombre de nucléons A, d'où l'égalité :  $1 + 235 = 139 + 94 + y$  soit  **$y = 3$  0,5 point.**
- du nombre de charges Z, d'où l'égalité :  $0 + 92 = 54 + x$  soit  **$x = 38$  (cela correspond bien à l'élément Strontium Sr) 0,5 point.**

2)  $\Delta m = m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})$

$$\Delta m = (138,8882 + 93,8946 + 3 \times 1,0087) - (235,0134 + 1,0087)$$

$$\Delta m = - 0,21320 \text{ u ; 0,5 point.}$$

Expression en kilogramme :

$$\Delta m = - 0,21320 \times 1,66 \times 10^{-27} = - 3,539 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

$$\Delta m = - 3,54 \times 10^{-28} \text{ kg. 0,5 point.}$$

**$\Delta m < 0$ , il s'agit bien d'une perte de masse. 0,5 point.**





## Application 5

3) En Joule :  $E = |\Delta m| \times c^2$ , soit  $E = 3,54 \times 10^{-28} \times (3,00 \times 10^8)^2 = 3,18 \times 10^{-11}$  ;  **$E = 3,19 \times 10^{-11}$  J. 1 point.**

4) Pour  $N_A$  noyaux l'énergie libérée est multipliée par  $N_A$ , soit  
 $E' = 3,18 \times 10^{-11} \times 6,02 \times 10^{23}$  ;  **$E' = 1,92 \times 10^{13}$  J 1 point.**

5) (On utilise la règle de proportionnalité) En tep :  $E' = 1,92 \times 10^{13} / 41,9 \times 10^9$  ;  **$E' = 458$  tep 1 point.**

**La fission d'une mole de noyaux d'uranium 235, soit 235 g, libère autant d'énergie que la combustion de 458 tonnes de pétrole ! 0,5 point.**





## Application 6

L'élément chimique iode  $_{53}\text{I}$  possède un seul isotope stable, l'iode 127. L'iode 131, radioactif  $\beta^-$ , est utilisé lors des traitements des cancers de la thyroïde : certaines métastases fixent l'iode et sont mises en évidence par scintigraphie après ingestion d'iode 131, d'activité voisine de  $1,5 \times 10^8 \text{ Bq}$ .

- 1) Qui a découvert la radioactivité naturelle en 1896 à partir de sels d'uranium ? Qui a découvert d'autres éléments radioactifs en 1898 et à qui on doit le mot *radioactivité* ?
- 2) Qu'appelle-t-on des isotopes ?
- 3) Définir l'activité d'un échantillon radioactif.
- 4) Déterminer le nombre de désintégrations subies en une heure par un patient traité à l'iode 131 (l'activité sera supposée constante pendant l'heure écoulée).
- 5) a) Ecrire l'équation de désintégration  $\beta^-$  de l'iode 131. Identifier le noyau formé.  
b) Quel rayonnement accompagne cette désintégration ?

Solution



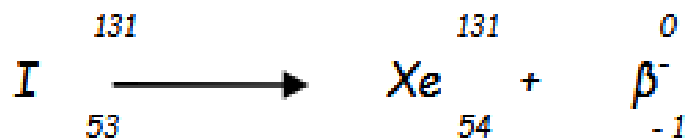
## Application 6

L'élément chimique iode  $_{53}\text{I}$  possède un seul isotope stable, l'iode 127. L'iode 131, radioactif  $\beta^-$ , est utilisé lors des traitements des cancers de la thyroïde : certaines métastases fixent l'iode et sont mises en évidence par scintigraphie après ingestion d'iode 131, d'activité voisine de  $1,5 \times 10^8 \text{ Bq}$ .

- 1) Becquerel a découvert la radioactivité naturelle en 1896 à partir de sels d'uranium. Pierre et Marie Curie ont découvert d'autres éléments radioactifs en 1898. Marie Curie inventa le terme de radioactivité.  
**2 pts**
- 2) Isotopes : atomes ou noyaux ayant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons.  
**1 pt**
- 3) Activité d'un échantillon radioactif : nombre de désintégrations subi par l'élément en 1 seconde. **1 pt**
- 4) Nombre de désintégrations subies en une heure par un patient traité à l'iode 131 (l'activité sera supposée constante pendant l'heure écoulée soit 3600 s) :  
 $1,5 \times 10^8 \times 3600 = 5400 \times 10^8 = 5,400 \times 10^{11} \text{ désintégrations/heure}$  **1 pt**
- 5) a) Ecrire l'équation de désintégration  $\beta^-$  de l'iode 131. **1,5 pts**



## Application 6



b) Un rayonnement électromagnétique  $\gamma$  (gamma) accompagne cette désintégration.



## Application 7

- Classification périodique
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$

Masses en kg :

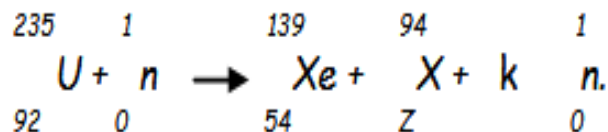
uranium 235 ( $3,9021711 \times 10^{-25}$ )

xénon 139 ( $2,3063121 \times 10^{-25}$ )

X 94 ( $1,5591564 \times 10^{-25}$ )

neutron ( $1,67493 \times 10^{-27}$ )

La transformation nucléaire produisant l'énergie des centrales est la fission d'un noyau d'uranium 235. Une des réactions possibles à pour équation :



- 1) Pourquoi qualifie-t-on la fission de réaction provoquée ?
- 2) Déterminer k, le nombre de neutrons libérés lors de la réaction et Z, le numéro atomique de l'élément X qui sera identifié.
- 3) Calculer la valeur absolue du défaut de masse accompagnant cette réaction.
- 4) En déduire l'énergie libérée lors de la réaction. Qui est à l'origine de la formule utilisée ?
- 5) Quelle est l'origine de l'énergie libérée ?

Solution



## Application 7

- 1) La fission est une réaction provoquée et non une désintégration spontanée étant donné que l'on bombarde le noyau d'uranium 235 par neutron. **1 pt**
- 2) Les lois de conservation de Soddy impliquent : **2 pts**  
\*  $92 + 0 = 54 + Z + k \times 0$  d'où  $Z = 92 - 54 = 38$ . X est le strontium Sr.  
\*  $235 + 1 = 139 + 94 + k \times 1$  d'où  $k = 3$  neutrons produits.
- 3) Valeur absolue du défaut de masse accompagnant cette réaction : **2 pts**  
$$\Delta m = [m({}^{139}_{54}\text{Xe}) + m({}^{94}_{38}\text{Sr}) + 3 \times m({}^1_0\text{n})] - [m({}^{235}_{92}\text{U}) + m({}^1_0\text{n})]$$
  
L'application numérique conduit à  $|\Delta m| = 3,204 \times 10^{-28} \text{ kg}$ .
- 4) En déduire l'énergie libérée lors de la réaction. Einstein est à l'origine de la formule utilisée. **1,5 pts**  
$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \cdot c^2 = 3,204 \times 10^{-28} \times 299\,792\,458^2 = 2,880 \times 10^{-11} \text{ J}$$
- 5) Cette réaction libère l'énergie : transformation du défaut de masse en énergie. **1 pt**



## Application 8

A l'intérieur de la chambre d'expérimentation du Laser Megajoule (LMJ) du CEA, les scientifiques espèrent réaliser une réaction de fusion à l'aide de puissants lasers. Une réaction de fusion envisagée a pour équation



Données :  $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$

$N_A = 6,02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$  ;  $M(\text{C}) = 12,0\text{ g.mol}^{-1}$

Masses des différents noyaux et du neutron :

Noyau ou particule	Masse (kg)
Deutérium ${}^2_1\text{H}$	$3,34358 \times 10^{-27}$
Tritium ${}^3_1\text{H}$	$5,00736 \times 10^{-27}$
Hélium ${}^4_2\text{He}$	$6,64466 \times 10^{-27}$
Neutron ${}^1_0\text{n}$	$1,67493 \times 10^{-27}$





## *Application 8*

Le pouvoir calorifique moyen du charbon est de  $240 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .  
Cela signifie que la combustion complète d'une mole de carbone fournit en moyenne une énergie égale à  $240 \text{ kJ}$ .

- 1) a) Calculer la perte de masse correspondant à la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium.  
b) Calculer l'énergie libérée au cours de cette réaction.
  
- 2) Calculer l'énergie libérée par la fusion d'une mole de deutérium avec une mole de tritium.
  
- 3) Calculer la masse de charbon nécessaire pour fournir la même énergie.

Solution



## Application 8

1.  $\mathcal{E}_{\text{libérée}} = |\Delta m| \cdot c^2$   
 $= 3,135 \times 10^{-29} \times 299792458^2 = 2,818 \times 10^{-12} \text{ J}$

2.  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{libérée}} \times N_A = 1,70 \times 10^{12} \text{ J}$  pour une mole de deutérium et une mole de tritium.

3. Quantité de carbone :

$$\frac{1,70 \times 10^{12}}{240 \times 10^3} = 7,1 \times 10^6 \text{ mol}$$

Masse de carbone :

$$m(\text{C}) = 7,1 \times 10^6 \times 12 = 85 \times 10^6 \text{ g,}$$

soit 85 tonnes!