

### Exercice 1 :

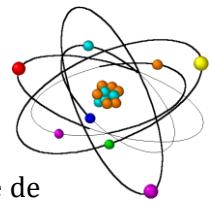
1-Préciser la composition d'un noyau de l'isotope 235 de l'uranium ayant pour symbole  $^{235}_{92}U$ .

2-Calculer le défaut de masse de ce noyau, en unité de masse atomique puis en kilogramme.

3-Calculer, en joule puis en MeV, l'énergie de liaison de ce noyau.

3- Calculer l'énergie de liaison par nucléon de ce noyau.

4- Comparer la stabilité du noyau d'uranium 235 à celle du noyau de radium 226 dont l'énergie de liaison est de 7,66 MeV par nucléon.



**Données :** Masse d'un neutron : 1,00866 u

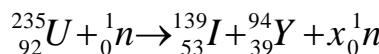
Constante d'Avogadro  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 2,997925 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$1 \text{ eV} = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ J}$

### Exercice 2 :

Dans une centrale nucléaire, on utilise l'uranium 235 comme combustible. l'une des réactions de **fission** de l'uranium 235 est :



1-Quelle est la composition du noyau d'uranium 235?

2-Trouver la valeur de x en justifiant.

3-Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

4-Sur **la courbe d'Aston**, l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon -  $E_l/A$  est portée sur l'axe des ordonnées et le nombre de nucléons A est porté sur l'axe des abscisses.

Quelle est l'énergie de liaison par nucléon du noyau le plus stable ?

5-Placer les noyaux cités ci-dessus sur la courbe d'Aston et comparer leur stabilité.

7-À partir de la courbe, justifier la réaction de fission. Sous quelle forme apparaît cette énergie libérée par la fission ?

### Exercice 3 :

La désintégration du noyau de cobalt  $^{60}_{27}Co$  donne un noyau de nickel  $^{60}_{28}Ni$  et une particule X.

1- Identifier la particule X, puis déterminer le type de désintégration du cobalt 60.

2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  au cours de cette désintégration.

3- Déterminer, en MeV/nucléon, l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  du noyau  $^{60}_{28}Ni$ , puis déduire parmi les deux noyaux  $^{60}_{28}Ni$  et  $^{56}_{28}Ni$ , lequel est le plus stable.

**Données :** La masse du noyau  $^{60}_{27}Co$  : 59,91901 u

La masse du noyau  $^{60}_{28}Ni$  : 59,91543 u

La masse de l'électron : 0,00055 u

La masse du proton : 1,00728 u

La masse du neutron : 1,00866 u

$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2}$

l'énergie de liaison par nucléon du noyau  $^{60}_{28}Ni$  : 8,64 MeV/nucléon

### Exercice 4 :

Les eaux naturelles contiennent du chlore 36 radioactif qui se renouvelle en permanence dans les eaux de surface, donc sa concentration y reste constante. Par contre dans les eaux profondes stagnantes sa concentration décroît progressivement au cours du temps. L'objectif de cet exercice est de déterminer l'âge d'une couche d'eau stagnante à l'aide du chlore 36.

Données :

Noyau ou particule	Neutron	Proton	Chlore 36	Proton
Symbole	${}_0^1n$	${}^{36}_{17}Cl$	${}^{36}_{18}Ar$	${}_1^1p$
Masse(u)	1,0087		35,9590	1,0073

La demi-vie du chlore 36 :  $t_{1/2} = 3,01 \cdot 10^5 \text{ ans}$

$1 \text{ u} = 931,5 \text{ Mev.c}^{-2}$

**Désintégration du nucléide chlore 36 :**

La désintégration du nucléide  ${}^{36}_{17}Cl$  donne naissance au nucléide  ${}^{36}_{18}Ar$

1.1- Donner la composition du noyau 36

1.2- Calculer en MeV l'énergie de liaison du noyau du chlore 36.

1.3- Ecrire l'équation de cette désintégration en précisant le type de radioactivité

## Datation d'une nappe d'eau stagnante

La mesure de l'activité, à l'instant  $t$ , d'un échantillon d'eau de surface a donné la valeur  $a_1 = 11,7 \cdot 10^{-6}$  Bq, et d'un échantillon de même volume des eaux profondes a donné la valeur  $a_2 = 1,19 \cdot 10^{-6}$  Bq.

On suppose que le chlore 36 est le seul responsable de la radioactivité dans les eaux, et que son activité dans les eaux de surface est égale à son activité dans les eaux profondes lors de la formation de la nappe.

**1-4-Déterminer (en ans) l'âge de la nappe étudiée.**

## Exercice 5 :

Pour dater ou suivre l'évolution de quelques phénomènes naturels, les scientifiques font recours aux méthodes et techniques diverses se basant essentiellement sur la loi de décroissance radioactive. Parmi ces techniques : la technique de datation par l'Uranium-Plomb.

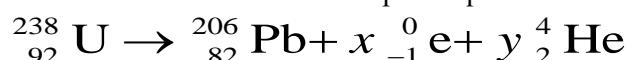
**Données :** Masse du noyau d'Uranium 238     $238,00031\text{ }u$  ;    Masse du noyau du Plomb 206     $205,92949\text{ }u$   
 Masse du proton     $1,00728\text{ }u$  ;    Masse du neutron     $1,00866\text{ }u$

L'unité de masse atomique     $1u = 931,5\text{ MeV}\cdot c^2$  ;    Masse molaire de l'Uranium 238     $M(^{238}U) = 238\text{ g.mol}^{-1}$

Energie de liaison par nucléon du Plomb 206     $\xi(Pb) = 7,87\text{ MeV / nucléon}$

Demi-vie de l'Uranium 238     $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9\text{ ans}$  ;    Masse molaire du Plomb 206     $M(^{206}Pb) = 206\text{ g.mol}^{-1}$

Le nucléide Uranium 238 est radioactif, il se transforme en nucléide de Plomb par une succession d'émissions de type  $\alpha$  et  $\beta^-$ . On modélise ces transformations nucléaires par l'équation bilan suivante :



**1-** Etude du noyau d'Uranium  $^{238}_{92}\text{U}$

**1-1-** Par application des lois de conservation, déterminer les valeurs de  $x$  et  $y$  signalés dans l'équation bilan.

**1-2-** Donner la composition du noyau d'Uranium 238.

**1-3-** Calculer l'énergie de liaison par nucléon de l'Uranium 238, et vérifier que le noyau  $^{206}_{82}\text{Pb}$  est plus stable que le noyau  $^{238}_{92}\text{U}$

**2-** Datation d'une roche métallique par la méthode d'Uranium-Plomb.

Le Plomb et l'Uranium se trouvent, avec des proportions différentes, dans les roches métalliques selon leur date de formation.

On considère que la présence du plomb dans certaines roches métalliques est due seulement à la désintégration spontanée de l'Uranium 238 au cours du temps. On dispose d'un échantillon d'une roche métallique contenant à la date de sa formation, considérée comme origine des dates ( $t = 0$ ), un certain nombre de noyaux d'Uranium  $^{238}_{92}\text{U}$ . Cet échantillon métallique contient à une date  $t$ , une masse  $m_U(t)=10\text{ g}$  d'Uranium 238 et une masse  $m_{Pb}(t)=0,01\text{ g}$  de Plomb 206.

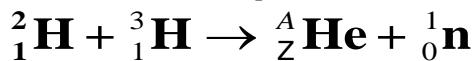
**2-1-** Montrer que l'expression de l'âge de la roche métallique est :  $t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(1 + \frac{m_{Pb}(t) \cdot M(^{238}\text{U})}{m_U(t) \cdot M(^{206}\text{Pb})}\right)$

**2-2-** Calculer  $t$  en années.

## Exercice 6 :

### Etude d'une réaction de fusion nucléaire

La formation de l'hélium à partir du deutérium et du tritium, qui sont deux isotopes de l'hydrogène, est une réaction de fusion nucléaire spontanée qui se produit continuellement au cœur des étoiles. L'homme essaie sans cesse de reproduire cette réaction au laboratoire afin d'utiliser de façon contrôlée son énorme énergie libérée. Le chemin est encore long pour surmonter les différents obstacles techniques. On modélise cette réaction nucléaire par l'équation suivante :



Particule	hélium	tritium	deutérium	neutron
masse (u)	4,0015	3,01550	2,01355	1,00866

- vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3 \cdot 10^8\text{ m.s}^{-1}$

- constante de Planck :  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}\text{ J.s}$

-  $1u = 931,5\text{ MeV}\cdot c^2$

-  $1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13}\text{ J.}$

**1-** Déterminer les nombres A et Z du noyau d'hélium.

**2-** Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  lors de cette réaction nucléaire.

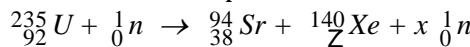
**3-** On suppose que toute l'énergie libérée s'est transformée en rayonnement électromagnétique. Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  associée à ce rayonnement.

**4-** Un échantillon de sol contient du tritium radioactif. A la date  $t = 0$ , l'activité de cet échantillon est  $a_0 = 2,0 \cdot 10^6\text{ Bq}$ . A l'instant de date  $t_1 = 4\text{ ans}$ , cette activité devient égale à  $a_1 = 1,6 \cdot 10^6\text{ Bq}$ .

Déterminer l'activité  $a_2$  de cet échantillon à l'instant de date  $t_2 = 12,4\text{ ans}$ .

## Exercice 7 :

Dans une **pile atomique**, une des réactions la plus courante est la suivante :



1. Nommer cette réaction nucléaire.
2. Déterminer, en les justifiant, les valeurs de Z et x .
3. Calculer la perte de masse.
4. Calculer, en joule, puis en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235.
5. Un réacteur utilise par jour en moyenne 3,0 kg d'uranium 235.

Calculer l'ordre de grandeur de l'énergie libérée par la fission de 3,0 kg d'uranium 235.  
**Données :** Masses des noyaux :  ${}^{235}U = 234,993\ 32\ u$ ;  ${}^{94}Sr = 93,894\ 46\ u$ ;  ${}^{140}Xe = 139,889\ 09\ u$

## Exercice 8 :

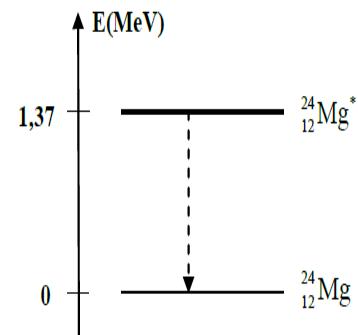
Le noyau de sodium  ${}_{11}^{22}Na$  se désintègre en noyau de magnésium  ${}_{12}^{24}Mg$  avec production d'une particule X.

1. Identifier la particule X et préciser le type de radioactivité du sodium 24.
2. Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  lors de cette désintégration.
3. Déterminer en J / nucléon, l'énergie de liaison par nucléon  $\xi$  du noyau  ${}_{12}^{24}Mg$
4. Lorsque le noyau de magnésium 24 est dans l'état excité, sa transition vers l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électromagnétique.  
(voir diagramme d'énergie ci - dessous)

Calculer la fréquence  $\nu$  du rayonnement émis.

**Données:**

- Constante de Planck :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}\ J.s$  ; - Masse de  ${}_{11}^{24}Mg$  :  $23,97846\ u$
- Masse de  ${}_{11}^{22}Na$  :  $23,98493\ u$ ; - Masse de l'électron :  $0,00055\ u$
- Masse du proton :  $1,00728\ u$ ; - Masse du neutron :  $1,00866\ u$
- $1u = 931,5\ MeV.c^{-2}$ ;  $1MeV = 1,6 \cdot 10^{-13}\ J$ .

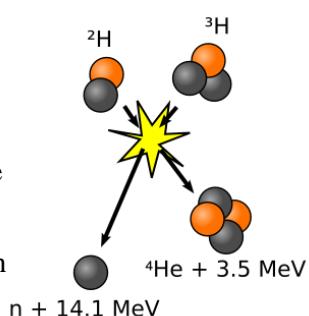


## Exercice 9:

L'équation d'une réaction deutérium-tritium est :  ${}^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$

1-Exprimer l'énergie  $\Delta E$  qui peut être libérée par cette réaction en fonction des énergies de masse  $E_m({}^A_ZX)$  des particules (ou des noyaux) qui interviennent.

2-Exprimer la masse  $m({}^A_ZX)$  du noyau  ${}^A_ZX$  en fonction de  $m_p$ ,  $m_n$ , Z, A et de l'énergie de liaison  $E_L({}^A_ZX)$ .



Pour la réaction de fusion envisagée, en déduire l'expression de  $\Delta E$  en fonction des énergies de liaison.

3-Calculer numériquement la valeur de  $\Delta E$ .

On donne les valeurs des énergies de liaison des noyaux suivants :

$$E_L({}^2_1H) = 2,224\ MeV \quad ; \quad E_L({}^3_1H) = 8,481\ MeV \quad ; \quad E_L({}^4_2He) = 28,29\ MeV.$$

## Exercice 10:

On considère l'équation suivante :  ${}^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + 2 {}^1_1P$

1-De quel type de réaction s'agit-il ?

2-Calculer la perte de masse observée lors de cette réaction.

3-Calculer l'énergie libérée lors de cette réaction en joule puis en MeV.

Particule ou Noyau	Neutron	Hydrogène 1 ou proton	Hydrogène 2 ou Deutérium	Hydrogène 3 ou Tritium	Hélium 3	Hélium 4	Uranium 235	Xénon	Strontium
Symbol	${}^1_0n$	${}^1_1H$	${}^2_1H$	${}^3_1H$	${}^3_2He$	${}^4_2He$	${}^{235}_{92}U$	${}^A_{54}Xe$	${}^{94}_ZSr$
Masse en u	1,00866	1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150	234,9942	138,8892	93,8945

## Exercice 11:

Le plutonium 241 est un élément radioactif qui n'existe pas dans la nature, il résulte des transformations nucléaires de l'uranium 238.

Le noyau de plutonium  ${}^{241}_{94}Pu$  se désintègre en un noyau d'américium  ${}^{241}_{95}Am$  avec production d'une particule X.

1. Ecrire l'équation de cette désintégration et préciser le type de radioactivité du plutonium 241.

2. Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{lib}$  lorsqu'un seul noyau  ${}^{241}_{94}Pu$  se désintègre.

3. L'activité initiale d'un échantillon radioactif du plutonium 241 est  $a_0=3.10^8\ Bq$ . Trouver l'activité  $a_1$  de cet échantillon à la date  $t=28,7\ ans$ .

**Données:**  $1u = 931,5\ MeV.c^{-2}$ ; Masse de la particule X:  $m(X) = 0,00055\ u$ ;  $t_{1/2} = 14,35\ ans$  de Am

- Masse du noyau  $^{241}_{95}Am : m(^{241}_{95}Am) = 241,00471u$

- Masse du noyau  $^{241}_{94}Pu : m(^{241}_{94}Pu) = 241,00529u$

## **Exercice 12:**

### **I- Fission nucléaire**

Une centrale nucléaire est une usine de production d'électricité. Actuellement ces centrales utilisent la chaleur libérée par des réactions de fission de l'uranium 235 qui constitue le "combustible nucléaire". Cette chaleur transforme de l'eau en vapeur. La pression de la vapeur permet de faire tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne un alternateur produisant l'électricité.

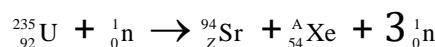
*Certains produits de fission sont des noyaux radioactifs à forte activité et dont la demi-vie peut être très longue.*

**1-Définir le terme demi-vie.**

**2-Définir l'activité d'une source radioactive.**

**3-Préciser son unité dans le Système International.**

**4-Le bombardement d'un noyau d'uranium 235 par un neutron peut produire un noyau de strontium et un noyau de xénon selon l'équation suivante :**



**3.1. Déterminer les valeurs des nombres A et Z.**

**3.2. Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.**

**3.3. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?**

### **II - Fusion nucléaire :**

Le projet ITER s'installera prochainement sur le site de Cadarache en France.

L'objectif de ce projet est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes.

La fusion est la source d'énergie du soleil et des autres étoiles.

Pour obtenir une réaction de fusion, il faut rapprocher suffisamment deux noyaux qui se repoussent, puisqu'ils sont tous deux chargés positivement. Une certaine énergie est donc indispensable pour franchir cette barrière et arriver dans la zone, très proche du noyau, où se manifestent les forces nucléaires capables de l'emporter sur la répulsion électrostatique.

La réaction de fusion la plus accessible est la réaction impliquant le deutérium et le tritium. C'est sur cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée.

La demi-vie du tritium consommé au cours de cette réaction n'est que de 15 ans.

De plus il y a très peu de déchets radioactifs générés par la fusion et l'essentiel est retenu dans les structures de l'installation ; 90 % d'entre eux sont de faible ou moyenne activité.

#### **Tableaux de données:**

Particule ou Noyau	Neutron	Hydrogène 1 ou proton	Hydrogène 2 ou Deutérium	Hydrogène 3 ou Tritium	Hélium 3	Hélium 4	Uranium 235	Xénon	Strontium
Symbol	$^1_0n$	$^1_1H$	$^2_1H$	$^3_1H$	$^3_2He$	$^4_2He$	$^{235}_{92}U$	$^A_{54}Xe$	$^{94}_Z Sr$
Masse en u	1,00866	1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150	234,9942	138,8892	93,8945

Unité de masse atomique	$u = 1,66054 \times 10^{-27} kg$
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931,5 MeV$
Électronvolt	$1 eV = 1,60 \times 10^{-19} J$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 m.s^{-1}$

**1-Le deutérium de symbole  $^2_1H$  et le tritium de symbole  $^3_1H$  sont deux isotopes de l'hydrogène.**

**1-1-. Définir le terme de noyaux isotopes.**

**1-2-Donner la composition de ces deux noyaux.**

**2-Qu'appelle-t-on réaction de fusion ?**

**3-Sur la courbe d'Aston (que celle de l'exercice 2) indiquer clairement dans quel domaine se trouvent les noyaux susceptibles de donner une réaction de fusion.**

**4-Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un noyau de Deutérium et un noyau de Tritium sachant que cette réaction libère un neutron et un noyau noté  $^A_Z X$ .**

**5-Préciser la nature du noyau  $^A_Z X$ .**

**7-Montrer que l'énergie libérée au cours de cette réaction de fusion est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?**

**8-Conclure sur l'intérêt du projet ITER en indiquant les avantages que présenterait l'utilisation de la fusion par rapport à la fission pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires.**

## Exercice 12:

En 1999, la France a produit une énergie électrique de  $486 \cdot 10^9 \text{ kWh}$ . Plus de trois quart sont d'origine nucléaire. Le but de cet exercice est de montrer l'intérêt énergétique de ce choix.

La production d'énergie dans ces réacteurs repose sur la fission de l'uranium 235.

Lorsqu'un neutron heurte un noyau d'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$ , une des fissions possibles conduit à la formation d'un noyau de cérium  $^{146}_{58}\text{Ce}$ , d'un noyau de sélénium  $^{85}_{36}\text{Se}$ , ainsi qu'à un nombre a de neutrons.

1- Écrire l'équation complète de cette réaction nucléaire ; en déduire la valeur de a et celle de X. Justifier en exprimant les lois appliquées.

2- Calculer la variation de masse  $\Delta m$  qui accompagne la fission d'un noyau d'uranium 235

3- Calculer, en joule et en MeV, l'énergie E libérée par cette réaction.

On considère que les énergies cinétiques initiales du neutron  ${}_0^1n$  et de l'uranium  $^{235}_{92}\text{U}$  sont négligeables devant leur énergie de masse

4- Trouver l'expression de l'énergie libérée  $\Gamma_n$  à instant t au cours de la fission un l'échantillon de  $^{235}_{92}\text{U}$  de masse  $m_0$  en fonction de  $\lambda$  la constante de radioactivité,  $m_0$ , E , t ,  $N_A$  et la masse molaire  $M(^{235}_{92}\text{U})$

5- Monter que à l'instant  $t = n \cdot t_{1/2}$  de l'énergie libérée  $\Gamma_n$  est exprimée par :

$$\Gamma_n (nt_{1/2}) = \frac{m_0 \times N_A}{M} (1 - \frac{1}{2^n}) \times E \quad \star$$

6- Les centrales nucléaires françaises utilisant de l'uranium 235 **fournissent au maximum une puissance** électrique **P = 1455 MW**.

La combustion d'un kilogramme de pétrole libère une énergie  $E = 45 \cdot 10^6 \text{ J}$  sous forme de chaleur. Le rendement de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique est de 34,2 %. En déduire la masse du pétrole qui serait nécessaire pour produire pendant une année la même énergie électrique que les centrales nucléaires françaises.

Données :

$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  uranium 235 :  $234,9935 \text{ u}$   $1 \text{ u} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
cérium 146 :  $145,8782 \text{ u}$   $m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  sélénium 85 :  $84,9033 \text{ u}$   $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$   $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

## Exercice 12:

" Les neurobiologistes disposent d'une panoplie de techniques d'imagerie dont chacune révèle des aspects particuliers de l'architecture et du fonctionnement du cerveau. [...] La tomographie par émissions de positons, TEP, [...] donne accès aux variations du flux sanguin, lesquels reflètent l'activité métabolique cérébrale, [...]. De cette découverte a germé l'idée que l'on [...] pourrait observer de l'extérieur l'activité siégeant à l'intérieur du crâne. En TEP, on détecte les molécules d'eau [présentes en grande quantité dans le cerveau] en utilisant de l'eau radioactive que l'on injecte au sujet par voie intraveineuse. [...]. Dans ces molécules d'eau radioactives, le noyau d'oxygène qui comprend normalement huit protons et huit neutrons est remplacé par un noyau d'oxygène qui ne comporte que huit protons et sept neutrons : c'est l'oxygène 15. L'oxygène 15 est un émetteur  $b^+$  : un de ses protons se transforme rapidement en neutron, en émettant un positon(1) et un neutrino(2). "

D'après un article de la revue Pour la Science, N° 302, décembre 2002.

(1) Le positon est aussi appelé positron.

(2) Le neutrino est une particule de symbole

Données numériques :

Noyaux et particules	$^{16}_6\text{C}$	$^{15}_7\text{N}$	$^{15}_8\text{O}$	$^{15}_5\text{F}$	Électron	Positon	Neutron	Proton
Énergie de liaison par nucléon ( $\text{MeV.nucléon}^{-1}$ )	6,676	7,699	7,463	6,483				
Masse (kg)					$9,0910^{-31}$	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$1,674 \cdot 92 \cdot 10^{-27}$	$1,672 \cdot 62 \cdot 10^{-27}$

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

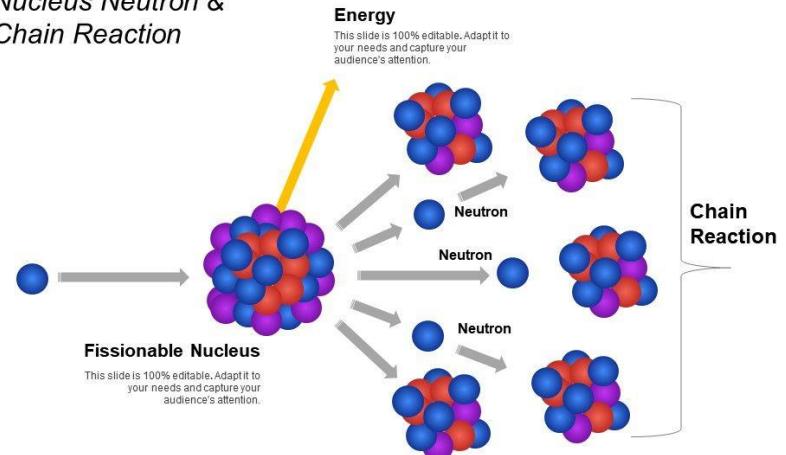
$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

1-La désintégration de l'oxygène 15

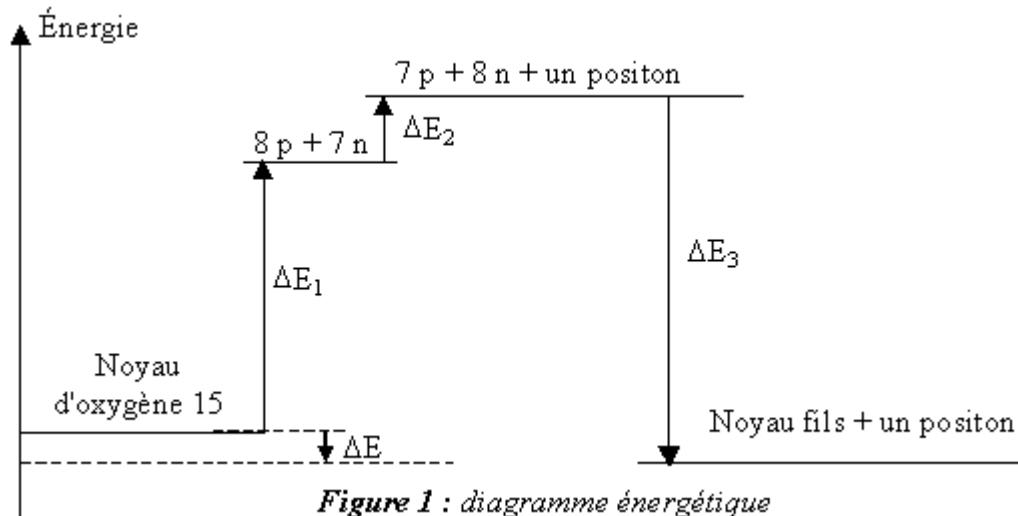
-Donner, en la justifiant, l'écriture symbolique X du noyau d'oxygène 15.

2- Écrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau d'oxygène 15, sans énoncer les lois de conservation et sans tenir compte de l'émission du neutrino mentionné dans le texte. Le noyau fils n'est pas produit dans un état excité.

## *Nuclear Fission Showcasing Fissionable Nucleus Neutron & Chain Reaction*



3-La variation d'énergie  $\Delta E$  du système lors de la désintégration d'un noyau d'oxygène 15 est indiquée sur la figure 1. Elle peut être calculée en utilisant le diagramme énergétique de cette figure.



**3-1-**Définir l'énergie de liaison  $E_l$  du noyau.

On rappelle que l'énergie de liaison par nucléon est notée  $E_l/A$ .

**3-2-**Calculer, en MeV, la variation d'énergie  $\Delta E_1$  indiquée sur la figure 1. Par un calcul identique on trouve  
 $\Delta E_1 = 111,9 \text{ MeV}$ .

**3-3-**En utilisant les masses des particules, calculer, en MeV, la variation d'énergie  $\Delta E_2$  indiquée sur la figure 1 (on donnera le résultat final avec deux chiffres significatifs).

**3-4-**Déduire des résultats précédents la valeur, exprimée en MeV, de la variation d'énergie  $\Delta E$  du système lors de la désintégration d'un noyau d'oxygène 15.