

# Série nucléaire

## Exercice 1

I - Un noyau radioactif a une demie-vie de 1 s.

1. Calculer sa constante de désintégration radioactive  $\lambda$ .
2. À un instant donné, un échantillon de cette substance radioactive a une activité de  $11,1 \cdot 10^7$  désintégrations par seconde. Calculer le nombre moyen de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à cet instant.

II - Une substance radioactive dont la demie-vie est de 10 s émet initialement  $2 \cdot 10^7$  particules  $\alpha$  par seconde.

1. Calculer la constante de désintégration de la substance.
2. Quelle est l'activité de cette substance?
3. Initialement, combien y a-t-il en moyenne de noyaux radioactifs ?
4. Combien restera-t-il en moyenne de noyaux radioactifs après 30 s?
5. Quelle sera alors l'activité de la substance?

III - Lors de la catastrophe de Tchernobyl, du césium 134 et du césium 137 ont été libérés dans l'atmosphère.

1. Le césium 137 est radioactif  $\beta^-$ . Écrire les lois de conservation intervenant dans cette réaction et l'équation bilan de désintégration, en précisant les produits formés.
2. La période du césium 134 est  $T = 2$  ans. En déduire la constante radioactive  $\lambda$ . Au bout de combien de temps 99 % du césium 134 libéré auront-ils disparu ?
3. Répondre à la question précédente en considérant le césium 137 dont la période est 30 ans.

IV - Un noyau d'astate  $^{211}\text{At}_{85}$  se désintègre en émettant une particule  $\alpha$ . Calculer la période de ce nucléide, sachant que  $2,7 \cdot 10^{15}$  particules  $\alpha$  sont émises lors de la première heure de désintégration d'une masse  $m = 10^{-5}$  g d'astate  $^{211}\text{At}_{85}$ .

V - On utilise du phosphore  $^{32}\text{P}$  comme traceur radioactif dans la détection de certaines tumeurs. Cet élément est un émetteur  $\beta^-$  de période 14,2 j. Des préparations cellulaires marquées au  $^{32}\text{P}$  ont une activité de 1,6 mCi. Calculer la durée d'utilisation de ces préparations, sachant qu'elles sont jetées lorsque leur activité n'est plus que de 10  $\mu\text{Ci}$ . (On rappelle que  $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$ .)

VI - Une ampoule contient  $0,2 \text{ cm}^3$  de radon  $^{222}\text{Rn}$  sous 0,1 bar et à la température de  $30^\circ\text{C}$ . Ce gaz monoatomique est considéré comme parfait; sa période est de 3,8 j. *Données : constante des gaz parfaits  $R = 8,32 \text{ S.I.}$  ;  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .*

1. Quelle est l'activité initiale de cette ampoule ?
2. Que devient cette activité six mois plus tard ?

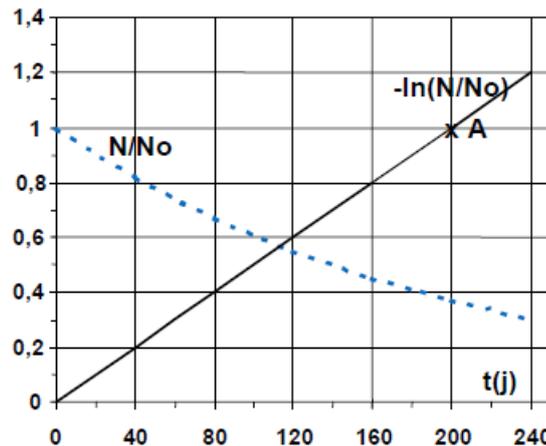
VII - À une date origine  $t = 0$ , on dispose d'un échantillon contenant en moyenne  $N_0$  noyaux de polonium  $^{210}\text{Po}_{84}$  radioactif.

À une date  $t$ , on détermine le nombre moyen  $N$  de noyaux non désintégrés. Les mesures sont inscrites dans le tableau.

1. À l'aide d'une représentation graphique, déduire de ces mesures les valeurs de la constante radioactive  $\lambda$  et de la période  $T$  de  $^{210}\text{Po}_{84}$ .

On portera  $t$  en abscisse (1 cm pour 20 jours et  $-\ln(N/N_0)$  en ordonnée (1 cm pour 0,1).

t (jours)	0	40	80	120	160	200	240
$\frac{N}{N_0}$	1	0,82	0,67	0,55	0,45	0,37	0,30



2. Au bout de combien de temps la masse restante de  $^{210}\text{Po}_{84}$  devient-elle le dixième de la masse initiale ?

1. Le radium  $^{226}_{88}\text{Ra}$  est un nucléide de cette famille qui, à la suite de désintégrations  $\alpha$  ou  $\beta^-$ , conduit au plomb  $^{206}_{82}\text{Pb}$ .

1.1. Donner l'équation générale de la radioactivité  $\alpha$ . En utilisant des éléments de cette famille notés dans le tableau ci-contre, écrire l'équation d'une désintégration de ce type.

$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^{210}_{84}\text{Po}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

1.2. Donner l'équation générale de la radioactivité  $\beta^-$ .

1.3. Quels sont les nombres de désintégrations de type  $\alpha$  et de type  $\beta^-$  permettant de passer du noyau  $^{226}_{88}\text{Ra}$  au noyau  $^{206}_{82}\text{Pb}$  ?

2. On considère une masse  $m_0$  de radon à la date  $t = 0$ . La période du radon est de 3,825 j.

2.1. Déterminer la masse de radon restant au bout de 1, 2, ..., n périodes. En déduire la masse de radon désintégrée au bout de n périodes.

2.2. Calculer les durées nécessaires pour désintégrer les 4/9 et les 9/10 de la masse  $m_0$  de radon

### Exercice 2

On donne:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$

1 - Un radioélément a un nombre de masse égal à 90 et une période  $T = 138 \text{ s}$ . Un échantillon de ce radioélément a une activité  $A = 1 \text{ mCi}$  : Calculer la masse de l'échantillon.

2 - Le radium, de masse atomique  $A = 226$ , a pour constante radioactive,  $\lambda = 1,38 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ . Quel est le nombre de désintégrations subies en 1 seconde par 1 gramme de radium ?

3 - a) Sachant qu'il s'agit d'une réaction (n,p) (c'est-à-dire produite par un neutron et donnant un proton), quel est l'élément de l'atmosphère terrestre à partir duquel est engendré le radiocarbone

14

$^{14}\text{C}$ ? Écrire la réaction nucléaire.

b) Sachant que les isotopes stables du carbone sont  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ , par quel processus le carbone 14 est-il radioactif ? Écrire la réaction de désintégration.

c) Dans une fouille archéologique on a trouvé des restes de bois. L'analyse isotopique a montré qu'ils contenaient 16 fois moins de carbone 14 que la teneur actuelle du bois. Quel est l'âge approximatif de la couche, sachant que la période de  $^{14}\text{C}$  est 5700 ans?

4 - L'iode  $^{131}\text{I}$  est extrait des barreaux d'uranium ayant servi dans les réacteurs nucléaires dont il est un produit de fission. Sa période est de 8 jours.

a) Quelle est l'activité d'un milligramme de  $^{131}\text{I}$  au moment de son extraction ?

b) Au bout de combien de jours environ, cette activité sera-t-elle égale à 0,1% de l'activité initiale ?

5-Le radium est en **équilibre radioactif** avec deux de ses descendants. Quelle est la masse d'une source de radium d'activité globale 6 mCi ? On rappelle que l'activité de 1g de radium est très voisine de 1 Ci.

6- La période ou demi-vie de l'uranium 238 est  $T_1 = 4,56 \times 10^9$  ans, celle du radium 226, qui appartient à la famille radioactive de l'uranium, est  $T_2 = 1620$  ans. Étant donnée la grande ancienneté des minerais d'uranium, le radium qu'ils renferment a atteint la concentration correspondant à l'équilibre radioactif. En déduire cette concentration (en gramme de radium par gramme d'uranium). *Rappel: La masse atomique (en  $\text{g.mol}^{-1}$ ) d'un élément est voisine de son nombre de masse*

### Exercice3

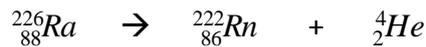
Unité de masse atomique	$u = 1,660\,54 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931,5 \text{ MeV}$
Électron volt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Megaélectron volt	$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \text{ eV}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Nom du noyau ou de la particule	Radon	Radium	Hélium	Neutron	Proton	Électron
Symbole	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^4_2\text{He}$	$^1_0n$	$^1_1p$	$^0_{-1}e$
Masse (en u)	221,970	225,977	4,001	1,009	1,007	$5,49 \times 10^{-4}$

### 1. Désintégration du radium

L'air contient du radon 222 en quantité plus ou moins importante.

Ce gaz radioactif naturel est issu des roches contenant de l'uranium et du radium. Le radon se forme par désintégration du radium (lui-même issu de la famille radioactive de l'uranium 238), selon l'équation de réaction nucléaire suivante :



**1.1.** Quel est le type de radioactivité correspondant à cette réaction de désintégration?

Justifier votre réponse.

**1.2. Défaut de masse**

Donner l'expression littérale du défaut de masse  $\Delta m$  du noyau de symbole  ${}^A_Z\text{X}$  et de masse  $m_X$

Calculer le défaut de masse du noyau de radium Ra. L'exprimer en unité de masse atomique u.

**1.3.** Écrire la relation d'équivalence masse-énergie.

**1.4.** Le défaut de masse  $\Delta m(\text{Rn})$  du noyau de radon Rn vaut  $3,04 \times 10^{-27}$  kg

Définir l'énergie de liaison  $E_l$  d'un noyau.

Calculer, en joule, l'énergie de liaison  $E_l(\text{Rn})$  du noyau de radon.

Vérifier que cette énergie de liaison vaut  $1,71 \times 10^3$  MeV.

En déduire l'énergie de liaison par nucléon  $E_l/A$  du noyau de radon.

Exprimer ce résultat en  $\text{MeV.nucléon}^{-1}$ .

**1.5. Bilan énergétique.**

Établir littéralement la variation d'énergie  $\Delta E$  de la réaction (1) en fonction de  $m_{\text{Ra}}$ ,  $m_{\text{Rn}}$  et  $m_{\text{He}}$ , masses respectives des noyaux de radium, de radon et d'hélium.

Exprimer  $\Delta E$  en joule.

**2. Fission de l'uranium 235.**

À l'état naturel, l'élément uranium comporte principalement les isotopes  ${}_{92}^{238}\text{U}$  et  ${}_{92}^{235}\text{U}$ .

Dans une centrale nucléaire "à neutrons lents", le combustible est de l'uranium « enrichi ».

Lors de la fission d'un noyau d'uranium 235, un grand nombre de réactions sont possibles.

Parmi celles-ci, il y en a une qui donne les noyaux de zirconium et de tellure, dont les symboles des noyaux sont  ${}_{40}^{99}\text{Zr}$  et  ${}_{52}^{134}\text{Te}$ .

**2.1.** Définir le terme "isotope"

**2.2.** Intérêt énergétique de la fission

Donner la définition de la fission.

Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron, conduisant à la formations de Zr et de Te.

Les noyaux U, Zr et Te sont placés sur la courbe d'Aston (**Annexe à rendre avec la copie**).

À partir de cette courbe, dégager l'intérêt énergétique de cette réaction de fission

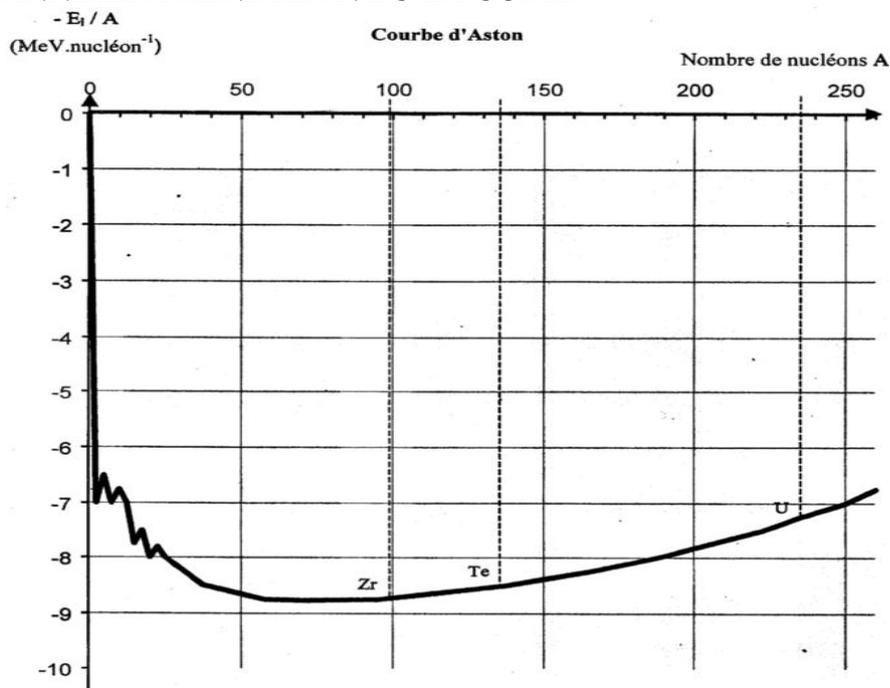
### 3. Désintégration du noyau Zr.

Le noyau Zr issu de la fission du noyau d'uranium est instable. Il se désintègre au cours d'une désintégration  $\beta^-$  en donnant le noyau de niobium Nb.

3.1. Donner la définition de la radioactivité  $\beta^-$ .

3.2. Écrire l'équation de désintégration du noyau Zr.

### ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE



### Exercice4

#### 1. Du chlore dans les eaux souterraines

*Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de 35,5 g.mol<sup>-1</sup>.*

*Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le Cl-35 stable (75,77 %), le Cl-37 stable (24,23 %) et le Cl-36 radioactif. Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de  $7,0 \times 10^{-13}$  actuellement.*

Le «chlore 36» (Cl-36) se désintègre essentiellement en « argon 36 » (Ar-36). La demi-vie du Cl-36 est de  $301 \times 10^3$  ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

*D'après un article d'encyclopédie*

**Données :**

- Relation entre le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  et la constante radioactive  $\lambda$  :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

- Relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyaux N présent dans cet échantillon, à une date t donnée :  $A(t) = \lambda \cdot N(t)$

-  $1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$

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

- Masse molaire atomique du chlore :  $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$

- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

- Masse et numéro atomique (ou nombre de charge) de quelques particules et noyaux:

Particule ou noyau	proton	neutron	chlore 36	argon 36
Masse ( $10^{-27} \text{ kg}$ )	1,672 62	1,674 92	59,711 28	
Z	1	0	17	18

**1.1.** Dans l'article, l'auteur indique des valeurs 35 et 37 pour les isotopes stables du chlore.

Que désignent plus précisément ces valeurs pour un noyau de chlore ?

**1.2.** Définir le terme « isotopes ».

**1.3.** Donner le symbole complet du noyau de « chlore 36 » et sa composition.

**1.4.** Calculer, en MeV, l'énergie de liaison  $E_{L1}$  d'un noyau de « chlore 36 ». Exprimer le résultat **final** avec quatre chiffres significatifs.

*On rappelle que  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .*

**1.5.** Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de « chlore 36 ».

Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant :

- les lois utilisées ;

- le type de radioactivité mise en jeu.

1.6. Donner la définition du temps de « demi-vie »  $t_{1/2}$  du « chlore 36 ».

### 1.7. Constante radioactive

1.7.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité de la constante radioactive  $\lambda$  dans le système international.

1.7.2. Calculer la constante radioactive de l'isotope de « chlore 36 » en respectant l'unité de base du système international.

1.8. Une bouteille contient un volume  $V = 1,5 \text{ L}$  d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure est indiquée sur l'étiquette et vaut  $c_m = 13,5 \text{ mg.L}^{-1}$ .

1.8.1. Calculer la quantité d'ions chlorure, en mol, dans l'eau de cette bouteille.

1.8.2. On suppose que le rapport du nombre de noyaux de « chlore 36 » au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans l'article.

Montrer que le nombre  $N$  de noyaux de « chlore 36 » présents dans cette bouteille est  $N = 2,4 \times 10^8$ .

1.8.3. En déduire la valeur de l'activité en « chlore 36 » de l'eau que contient cette bouteille.

1.8.4. En déduire la valeur du nombre de désintégrations de noyaux de « chlore 36 » par jour.

### 1.9. Datation d'une eau souterraine

L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorure  $\text{Cl}^- (\text{aq})$  sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux - rochers. **Dans les eaux de surface, le « chlore 36 » est renouvelé et la teneur en « chlore 36 » peut être supposée constante**, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le « chlore 36 », de demi vie  $3,01 \times 10^5$  ans, est donc un traceur particulièrement adapté à l'étude des eaux souterraines anciennes.

Pour dater des eaux plus récentes, on peut utiliser le « carbone 14 », de demi-vie  $5,73 \times 10^3$  ans, présent dans les ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-} (\text{aq})$  dissous par exemple.

1.9.1. Loi de décroissance radioactive.

On considère un échantillon, de volume  $V$  donné, d'eau issue d'une nappe phréatique.

On note :

-  $N_0$  le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans cet échantillon à l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$  de la constitution de la nappe.

-  $N(t)$  le nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelée en « chlore 36 ».

Écrire la loi de décroissance radioactive liant  $N(t)$ ,  $N_0$  et  $t_{1/2}$ .

### 1.9.2. Datation d'une eau souterraine.

On admet que  $N_0$  est égal au nombre moyen de noyaux de « chlore 36 » présents dans un échantillon de même volume  $V$  d'eau de surface.

Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38 % du nombre de noyaux de « chlore 36 » trouvée dans les eaux de surface.

Pourquoi ne pas avoir utilisé le « carbone 14 » pour dater cette nappe phréatique ?

### **Exercice 5** Fission nucléaire

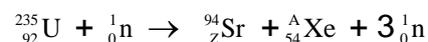
Une centrale nucléaire est une usine de production d'électricité. Actuellement ces centrales utilisent la chaleur libérée par des réactions de fission de l'uranium 235 qui constitue le "combustible nucléaire". Cette chaleur transforme de l'eau en vapeur. La pression de la vapeur permet de faire tourner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

Préciser son unité dans le Système International.

3. 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
Symbole	${}_0^1n$	${}_1^1H$	${}_1^2H$	${}_1^3H$	${}_2^3He$	${}_2^4He$	${}_{92}^{235}U$	${}_{54}^AXe$	${}_{38}^{94}Sr$
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	$u = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931,5 \text{ MeV}$
Électronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1. Le deutérium de symbole  ${}_1^2H$  et le tritium de symbole  ${}_1^3H$  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 (**annexe à rendre avec la copie**) 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  ${}_Z^AX$ .

Préciser la nature du noyau  ${}_Z^AX$ .

5. 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 ?

6. 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 6**

*La médecine nucléaire consiste à introduire des substances radioactives à l'intérieur d'un organisme vivant à des fins de diagnostic et de thérapeutique. L'histoire de la médecine nucléaire est étroitement liée à celle de la physique nucléaire. Dès 1903 fut reconnue l'action bénéfique des rayons du radium pour le traitement des tumeurs cancéreuses : c'était la naissance de la radiothérapie. Mais c'est principalement la découverte de la radioactivité artificielle en 1934 par Irène et Frédéric Joliot-Curie qui a mis à la disposition des médecins et des biologistes une grande variété d'isotopes radioactifs conduisant à l'établissement de diagnostics précis.*

*Actuellement, le technétium 99 est très utilisé en médecine nucléaire car il présente les avantages suivants :*

- *sa durée de vie est courte et réduit l'irradiation du patient tout en étant compatible avec la durée de l'examen ;*
- *il peut être associé à de nombreuses molécules, ce qui permet l'étude de nombreux organes ;*
- *il est moins coûteux que d'autres isotopes radioactifs ;*
- *et enfin il peut être facilement mis à la disposition des médecins.*

### **Données :**

<b>Noyau</b>	<i>technétium 97</i>	<i>technétium 99</i>	<i>molybdène 96</i>	<i>molybdène 99</i>	<i>deutérium</i>
<b>Symbole</b>	${}^{97}_{43}\text{Tc}$	${}^{99}_{43}\text{Tc}$	${}^{96}_{42}\text{Mo}$	${}^{99}_{42}\text{Mo}$	${}^2_1\text{H}$

<b>Particule ou noyau</b>	<i>molybdène 99</i>	<i>technétium 99</i>	<i>proton</i>	<i>neutron</i>	<i>électron</i>
<b>Masse en u</b>	98,88437	98,88235	1,00728	1,00866	0,00055

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

## 1. Découverte du technétium.

*Le technétium est un élément chimique de numéro atomique 43. Son nom vient du grec « technetos » qui signifie « artificiel ». C'est en effet le premier élément chimique produit sans avoir été découvert dans la nature. Tous les isotopes connus du technétium sont radioactifs. En 1937, Carlo Perrier et Emilio Segré ont synthétisé l'isotope 97 du technétium en bombardant du molybdène 96 avec du deutérium.*

1.1. À quelles conditions dit-on que deux noyaux sont isotopes ?

1.2.1. Énoncer les lois de conservation qui régissent les réactions nucléaires.

1.2.2. Écrire l'équation de la réaction nucléaire de synthèse du technétium 97 sachant qu'une particule  ${}^A_ZX$  est émise. Nommer cette particule.

## 2. Production actuelle du technétium 99

*Actuellement pour fabriquer du technétium 99, il existe des générateurs molybdène / technétium à l'intérieur desquels le molybdène 99 se désintègre en technétium 99.*

2.1. Écrire l'équation de la désintégration du molybdène 99. De quel type de radioactivité s'agit-il ?

2.2. Calculer en joules et en MeV l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de molybdène 99.

## 3. Scintigraphie osseuse à l'aide du technétium 99.

*Un patient va subir une scintigraphie osseuse. Cet examen se déroule en deux temps :*

*- l'injection intraveineuse d'un produit appelé diphosphonate marqué au technétium 99, ce produit se fixe préférentiellement sur les lésions osseuses du squelette (sa captation est maximale au bout de trois heures).*

*- Le technétium 99 produit est ensuite détecté par une gamma-caméra. Celle-ci fournit une image du squelette appelée scintigraphie où peuvent apparaître des zones fortement colorées indiquant une inflammation, un abcès ou une métastase.*

*Un mardi à 14h, une infirmière injecte au patient une dose de technétium 99*

d'activité  $A = 555 \text{ MBq}$ . Le temps de demi-vie du technétium 99 est  $t_{1/2} = 6,0$  heures.

**3.1.** Définir le terme « temps de demi-vie ».

Le nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs de technétium 99 présents dans la dose injectée au patient suit une loi de décroissance exponentielle :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ . La relation entre la constante radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  est :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ .

**3.2.** Montrer que l'expression de l'activité peut se mettre sous la forme  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ .

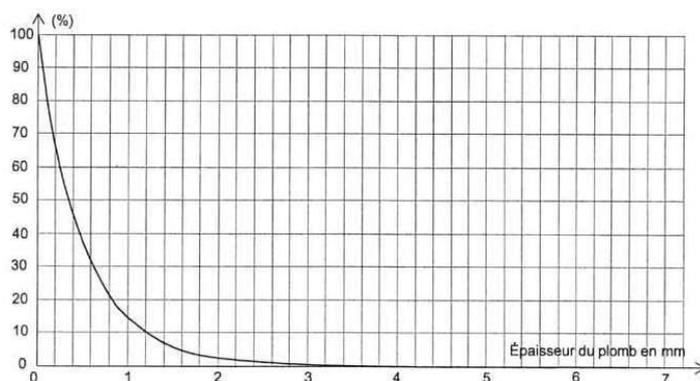
**3.3.** Calculer le nombre de noyaux de technétium 99 reçus par le patient lors de l'injection.

À la fin de l'examen, l'activité du patient est égale à 63% de sa valeur mesurée à 14h, juste après l'injection.

**3.4.** À quelle heure se termine l'examen ?

La dose injectée au patient le mardi à 14h a été préparée par l'infirmière le mardi matin à 8h.

Pour se protéger du rayonnement  $\gamma$  produit par le technétium 99, l'infirmière a utilisé, lors de l'injection de la dose au patient, un protège-seringue d'une épaisseur de 5 mm de plomb. La couche de demi-atténuation d'un matériau est l'épaisseur de ce matériau capable d'arrêter 50% du rayonnement ionisant. Le graphe ci-dessous représente le pourcentage de rayonnement  $\gamma$  produit par le technétium 99 transmis à l'extérieur en fonction de l'épaisseur de plomb.



**3.5.** À l'aide du graphe, déterminer la valeur de la couche de demi-atténuation du plomb pour le rayonnement gamma produit par le technétium 99.